> "Si hay en el espíritu humano como en la materia cierta especie de inercia que resiste a toda novedad y si para destruir sus efectos es necesaria la ilusión de la celebridad o la prevención favorable que inspira el nombre de un profesor ilustre nada será más inútil que esta pequeña obra pero el zelo de los Gefes y Oficiales de la Armada por el honor de las armas del Rey y su amor a la gloria suplirán la falta de tales prestigios y el deseo del acierto hará olvidar las prácticas erróneas que se han seguido hasta ahora adoptando estos principios hasta que otros talentos superiores a los míos puedan darles mayor perfección." (Churruca, 1805)

6. Progreso extranjero: 1794-1846

Con el cambio de siglo, la gallardía de la Marina Española se enfrenta a la dura realidad de una inferioridad numérica y tecnológica tras la Batalla de Trafalgar que reduce a la Armada a una sombra de su antiguo esplendor. España pierde a marinos como **Cosme Damián de Churruca** (1761-1805) cuyas palabras adornan este capítulo y simboliza su nativo deseo de progreso y búsqueda de la gloria. La marina de guerra se enfrenta a un periodo de declive durante la primera mitad del siglo con tímidas acciones para revitalizar la flota desde el segundo cuarto.

6.1. España y su Armada

Los albores de la centuria del XIX se caracterizaron por una profunda convulsión y desafíos para la economía y el poder militar de España. Esta época estuvo marcada por una serie de conflictos armados que tuvieron repercusiones devastadoras en múltiples aspectos, incluida la guerra de la Independencia Española (1808-1814), la cual desempeñó un papel fundamental en la transformación política y social de España.

Un hito que acentuó[204] esta serie de desafíos fue la batalla de Trafalgar en 1805, donde la flota española y la francesa fueron derrotadas por la Armada Británica, lo que redujo aún más el poderío naval de España y permitió a la Gran Bretaña establecer su hegemonía en los mares. El ministro **Manuel Godoy** (1767-1851), quien había ejercido una influencia significativa en el gobierno, fue manipulado por **Napoleón Bonaparte** (1769-1821), lo que llevó a la invasión francesa de España. Esta invasión resultó en la destitución de la monarquía española y el ascenso al poder de **José Bonaparte** (1768-1844), hermano de **Napoleón**.

El Motín de Aranjuez, en 1808, marcó un punto de inflexión. La insatisfacción generalizada con el gobierno de **José Bonaparte** condujo al levantamiento popular

[204] Existe una derrota previa que sirve de antesala: la Batalla del Cabo de San Vicente en 1797.

y al regreso al poder de **Fernando VII** en 1814. Aunque la guerra de la Independencia Española tuvo impactos económicos devastadores, también catalizó cambios profundos en la sociedad y en la política españolas. Durante este período, debido a la naturaleza de este conflicto, la Armada quedó considerablemente perjudicada, al recibir una mayor atención el Ejército y al ser empleados sus mermados arsenales y pertrechos en el esfuerzo bélico en tierra (Juan y Ferragut, 2008).

Sin embargo, el regreso de **Fernando VII** al trono no significó una mejora significativa en la situación de la Armada. Esta etapa es conocida por el célebre axioma "marina, poca y mal pagada", que señala las dificultades persistentes en la flota naval española. En 1833, la Armada contaba con un número limitado de unidades: 8 embarcaciones ligeras, 8 bergantines, 7 goletas, 5 fragatas, 4 corbetas y 3 navíos de línea. Las cuales, en su totalidad, operaban en condiciones precarias.

La independencia de las colonias americanas durante este tiempo también desempeñó un papel crucial en la pérdida de influencia y de territorio por parte de España. Entre 1810 y 1825, la mayoría de los territorios americanos heredados por **Fernando VII** declararon su independencia. A pesar de algunos intentos posteriores, la Corona Española no pudo llevar a cabo campañas exitosas de reconquista en América, agravados por acontecimientos como el levantamiento de Riego en 1820[205]; lo que resultó en la pérdida irreversible de gran parte de los territorios de Ultramar.

El declive de la Armada Española en el siglo XIX fue resultado de una combinación de factores, incluyendo derrotas militares, escasez de recursos, una estrategia naval deficiente, y problemas en la gestión de la marinería y el personal. La relación entre comercio y marina continuó y se reforzó, incluso cambiando la denominación del Ministerio de Marina, que se transformó en el Ministerio de Marina, Comercio y Gobernación de Ultramar. Esto demuestra el vínculo inquebrantable de los asuntos marítimos y comerciales.

En los siguientes años, las tensiones navales entre España, los emergentes estados sudamericanos independientes, y otras potencias marítimas generaron un ambiente de inseguridad y hostilidad en aguas atlánticas. Esta intrincada red de conflictos navales y diplomáticos, sumada a la incapacidad financiera de España para restaurar o expandir su marina, marcaría una época de turbulencia y declive en el poderío naval español. Los destellos ocasionales de fuerza y eficacia eran

[205] Sublevación de Rafael Riego en 1820 en Cabezas de San Juan, Cádiz.

insuficientes para reestablecer la dominancia que España alguna vez tuvo sobre los mares, mientras que sus colonias americanas se deslizaban inexorablemente hacia la independencia.

6.1.1. La escuadra del Báltico y la madera de pino

La escuadra del Báltico encierra en su historia un ejemplo de la complejidad y el desafío marítimo al que España se enfrentó en el siglo XIX. Con el propósito de sofocar revueltas independentistas americanas, España, bajo el liderazgo de **Enrique O'Donnell** (1776-1834) y el respaldo secreto de **Fernando VII**, adquirió una escuadra rusa, que incluía cinco navíos de línea y tres fragatas. Sin embargo, esta adquisición, realizada al margen de la administración regular y a espaldas del ministro de Marina, resultó ser menos provechosa de lo esperado, ya que los barcos, construidos con madera de pino, portaban cualidades insuficientes para las exigencias de las travesías atlánticas.

La Marina Española ya arrastraba desafíos significativos antes de esta adquisición, con derrotas notables como las de Cabo San Vicente y la de Trafalgar, que resultaron en pérdidas devastadoras tanto para la flota española como para la francesa[206]. El deterioro progresivo de la Marina, tanto en términos de capacidades navales como de competencia de la tripulación, limitó severamente su desempeño en conflictos internacionales y, por ende, su dominio en el Atlántico.

En el contexto de la guerra de la Independencia, los barcos españoles, en muchos casos desarmados para proveer a las fuerzas terrestres de cañones, yacían anclados y deteriorándose, mientras la Marina Británica, entonces aliada de España, acometía las acciones marítimas contra el invasor francés. En la Península, se palpaba la dualidad entre una marina otrora heroica y su presente estado lamentable, caracterizado por buques en condiciones precarias y marinos insuficientemente entrenados o directamente relegados a acciones terrestres.

Tras la guerra de Independencia, el esfuerzo de 1820 para enviar refuerzos a América se ve truncado por la sublevación de **Rafael del Riego** (1784-1823) y los 17 buques reunidos en Cádiz —cuatro de ellos parte de la cuestionable adquisición de la Escuadra del Báltico— nunca realizaron la travesía. Dicha escuadra, pagada sólo parcialmente de los 68 millones de reales acordados y notoriamente ineficaz

[206] El preludio francés lo podemos considerar en la batalla de Nilo (1798).

debido a su pobre construcción, se torna un símbolo de la diplomacia fallida y las decisiones erráticas de **Fernando VII** y de sus consejeros.

6.1.1.1. Ingeniería de Montes y la continuación de la silvicultura

Este apartado retomará la aplicación científica en la gestión de montes desarrollada en el capítulo anterior, en la que se destaca la evolución desde una práctica principalmente empírica a un campo científico robusto entre los siglos XVIII y XIX, particularmente en Europa. En el continente europeo, especialmente en Alemania, esta transformación se consolida aunando aplicaciones matemáticas y estadísticas con conocimientos prácticos y respondiendo a la creciente preocupación por la escasez de madera y la necesidad de preservar reservas locales. La fundación de escuelas y de revistas forestales especializadas y la aplicación de principios científicos y de gestión en la silvicultura se convirtió en un patrón.

En España, el cambio científico y metodológico en la gestión forestal desemboca, entre otras iniciativas, en las sociedades económicas de amigos del país promovidas por **Pedro Rodríguez de Campomanes** (1723-1802), quien priorizaba la difusión del conocimiento agronómico, inspirándose en el trabajo titulado *Obra de agricultura compilada de diversos auctores* (1513), más conocida como Agricultura general, de **Gabriel Alonso de Herrera** (1470-1539). En 1811, una nueva edición crítica de esta obra ve la luz gracias a la Sociedad Económica Matritense; esta incorpora conocimientos contemporáneos y **Antonio Sandalio de Arias** (1773-1839) desempeña un rol crucial en el volumen sobre arboricultura, encontrando una referencia fundamental en **Duhamel du Monceau** para la silvicultura.

Arias no sólo destacaba por su labor editora, sino también por ser un ferviente defensor de la conservación de los montes, alegando una responsabilidad generacional y señalando que esta conservación debería ser una tarea compartida entre la propiedad privada y el gobierno. Además, **Arias** reconoció y aplaudió la influencia de **Simón de Rojas Clemente** (1777-1827) en el campo botánico, subrayando sus meticulosas investigaciones en *Historia Natural del Reino de Granada* (1804-1809).

El siglo XVIII, con una legislación forestal limitada y en ocasiones restrictiva, es testigo de una transformación en la percepción de los montes: dejan de ser considerados meramente como fuentes de madera y son reconocidos como componentes vitales para el equilibrio del medio natural. Este cambio de perspectiva se debió, en parte, gracias a las traducciones de trabajos europeos sobre

botánica y forestación: **Casimiro Gómez Ortega** (1741-1818) ejerció con sus versiones en castellano una influencia notable. Se consolida así la enseñanza de la agricultura y temas forestales en el marco institucional y **Antonio Sandalio de Arias** desempeña un cometido crucial en la entrada de los estudios forestales en España. Este abogó por la expansión de la enseñanza agrícola y el año de 1809 propuso un *Plan de Escuelas de Agricultura* y estableció seis cátedras de Agricultura en diversas regiones de España en 1815. Transcurridos veinte años, se planteó la idea de una Escuela de Bosques, y tras múltiples esfuerzos y viajes formativos a Alemania, se estableció la Escuela de Montes en 1846, comenzando sus operaciones dos años después, con **Bernardo de la Torre Rojas** (1792-1875) y **Agustín Pascual González** (1818-1884) como artífices de su organización y de su establecimiento.

Así, el fomento ilustrado de esta actividad culmina en 1846 con la fundación de la Escuela de Ingenieros de Montes, inicialmente ubicada en el castillo de Villaviciosa de Odón, creación en la que **Agustín Pascual González**, llevando consigo las influencias de la Escuela de *Thrarandt* y de su mentor **Johann Heinrich Cotta** (1763-1844), considerado uno de los pilares en el inicio de la silvicultura como disciplina científica (Puettmann & al., 2016), desempeña un papel esencial.

En América, el siglo XIX fue testigo de una expansión masiva del uso de la madera para edificios, traviesas de ferrocarril, líneas telegráficas, barcos y acerías alimentadas con carbón vegetal. El consumo de madera se estabilizó hacia 1850, unos 200 años después del máximo alcanzado en Europa, y empezó a ser sustituido por el carbón.

La silvicultura en el contexto de la construcción naval continúa siendo un tema de interés, como el tratado *On Naval Timber and Arboriculture* (1831) de **Patrick Matthew** en la que incide falta de prácticas arborícolas en Reino Unido en relación con el suministro de madera apta para la construcción naval (Matthew, 1831). También abre el debate sobre el uso exclusivo de madera de alta calidad al igual que políticas comerciales restrictivas de madera y cáñamo.

6.1.2. Importancia de Cuba para financiar la campaña de reconquista

Durante el siglo XIX, Cuba emergió como un pilar colonial importantísimo para España, particularmente tras la pérdida de su Imperio en América continental. No solo constituyó un mercado esencial para los productos peninsulares, gracias a una política arancelaria altamente proteccionista, sino también una fuente vital de

recursos financieros que aliviaban el déficit del Tesoro español a través de remesas provenientes de ultramar. Las intrincadas interacciones financieras entre la isla y la metrópoli estructuraban la Hacienda colonial y las configuraciones presupuestarias, las cuales se erigieron como el núcleo de estas relaciones transatlánticas. A pesar de la autonomía administrativa parcial de Cuba, con su propio Tesoro y presupuesto, España mantenía un control estricto sobre sus finanzas e intervenía en su administración fiscal.

Entre 1836 y 1840, las remesas cubanas a España experimentaron un auge, constituyendo, en algunos casos, hasta el 40% de los ingresos coloniales (Roldán de Montaud, 1997). Este flujo de recursos, transferido directamente o mediante letras de cambio, subraya la fortaleza de la economía cubana, que conservaba un superávit presupuestario pese a las crecientes presiones financieras. El papel de la intendencia, especialmente de **Claudio Martínez de Pinillos y Ceballos**[207] (1782-1852), Conde de Villanueva, era esencial para asegurar la financiación de operaciones que el Tesoro español no podía cubrir. Esta práctica no era innovadora sino que estaba firmemente arraigada en las reformas del sistema colonial desde la etapa imperial y, sobre todo, desde el siglo XVIII.

El liberalismo, emergente tras la muerte de **Fernando VII**, generó cambios significativos en la relación colonial, integrando a Cuba más intensamente en los intereses metropolitanos y limitando la autonomía previamente ejercida por la sacarocracia[208]. La legislación aduanera proteccionista perseguía un doble objetivo: favorecer a los productores y exportadores metropolitanos y extraer recursos de la colonia. Pese a que las remesas ultramarinas no se convirtieron en una fuente principal para la Hacienda peninsular, estas afectaban significativamente al Tesoro cubano y evidenciaban el ineludible vínculo financiero, destacando la vital importancia de Cuba para España en esa centuria (Roldán de Montaud, 2008).

6.2. La armada norteamericana tras la independencia

Antes de la guerra de la Independencia, el comercio estadounidense estaba protegido por la Marina Real Británica. Sin embargo, tras alcanzar la independencia, el país se encontró vulnerable en el mar. Con solo dos barcos de la Armada Continental y un gobierno débil bajo los Artículos de la Confederación, Estados Unidos carecía de protección marítima. Sin embargo, el comercio

[207] Superintendente general subdelegado de la Real Hacienda de Cuba (1825-1851).
[208] Término empleado para nombrar a la aristocracia azucarera cubana.

internacional era realmente necesario para aliviar la deuda de posguerra y se precisaba de una armada fuerte para protegerse de la piratería, especialmente de los estados berberiscos del norte de África, los cuales exigían tributos. En 1784, los argelinos capturaron dos barcos estadounidenses, acontecimiento que provocó una gran indignación entre la opinión pública.

A pesar de las dudas iniciales, la necesidad de una fuerza naval se hizo patente. En 1794, el Congreso aprobó la *Ley de Armamento Naval*[209], que autorizaba al presidente **George Washington** (1732-1799) la construcción o adquisición de seis nuevos navíos. Estas fragatas, que portaban de 38 a 44 cañones, se popularizaron en los Estados Unidos, y llegaron a considerarse una innovación en la construcción naval norteamericana. A principios del siglo XIX, los expertos navales británicos consideraban que las fragatas de 44 cañones de 24 libras no daban buenos resultados, a juzgar por las experiencias adquiridas en los enfrentamientos con buques franceses. A pesar de las pérdidas de los barcos franceses, los británicos siguieron dando prioridad a las fragatas más ágiles de 18 libras, que requerían de tripulaciones más reducidas. No obstante, reequiparon tres buques de 64 cañones a 44 por precaución. En Estados Unidos, la opinión sobre las fragatas de 44 cañones estaba dividida. Estas fragatas, diseñadas por **Joshua Humphreys**, eran superiores en tamaño y peso a las británicas. **Humphreys** creía que estos barcos podían desafiar incluso a un navío de 74 cañones. Eran de construcción robusta y estaban fuertemente armadas, sobre todo después de las remodelaciones que las equiparon con potentes cañones *smasher*. Aunque el diseño estadounidense recibió críticas iniciales, su eficacia quedó demostrada al principio de la Guerra de 1812, lo que llevó a los británicos a evitar enfrentarse directamente a ellos e incluso a imitar su diseño. Las victorias navales estadounidenses con estos buques elevaron la moral nacional e influyeron en las futuras decisiones sobre la construcción naval.

El diseñador **Joshua Humphreys** hizo hincapié en el uso de materiales de alta calidad, principalmente del roble, como madera densa y duradera. Esta madera, de la especie *Quercus virginiana*, se encontraba principalmente en Georgia, lo que requería un elaborado proceso de identificación, recolección, transporte y utilización de la madera[210]. Esta especie de árbol, pueden medir hasta 65 pies de altura y tener una circunferencia de 25 pies cuando alcanza su madurez, y se caracteriza por sus intrincadas ramas y raíces superficiales pero expansivas. Gracias a su forma ramificada naturalmente curva era óptima para los elementos

[209] *An Act To Provide A Naval Armament*, firmado el 27 de marzo de 1794.
[210] Ver: Wood, Virginia Steele (1995). *Live Oaking: Southern Timber for Tall Ships*. Boston: Northeastern University Press.

estructurales, lo que proveía de resistencia y forma deseada sin necesidad de emplear múltiples piezas ensambladas. No obstante, debido a su tronco más corto y ramificado, no se empleó para las tablas. La operación de tala se enfrentó a varios retos. La madera se encontraba en zonas remotas y pantanosas, y el clima y la fauna locales resultaban duros para los trabajadores del norte. Debido a las dificultades, gran parte del trabajo duro se trasladó a la población esclava (Norton, 2013). Además, los problemas logísticos, como el transporte de la madera y la llegada de las piezas correctas a los astilleros previstos, planteaban importantes desafíos. Tras un tratado de paz con Argel en 1796, el Congreso redujo el alcance de la construcción naval, centrándose en completar las tres fragatas que ya estaban prácticamente terminadas.

Una de estas tres primeras fragatas fue el **USS Constitution** (1797)[211], construida en Boston con maderas provenientes de casi todos los estados de la recién formada nación estadounidense. Gracias a su robusta estructura, se ganó el sobrenombre de *Old Ironsides* después de enfrentarse al **HMS Guerriere** (1806)[212]. Entre las maderas empleadas para su construcción estaba el roble blanco (*Quercus alba*) destinado al revestimiento y a la quilla; la falsa acacia (*Robina seudoacacia*), resistente pero limitada en tamaño, asignada a las uniones; el pino blanco del este, un árbol masivo, para mástiles y acabados, el pino canadiense (*Pinus strobus*), originario de Carolina del Sur, para baos y cubiertas, y el Guayacán (*Lignum vitae*), de las islas del Caribe, conocido por su densidad y resistencia, utilizado en componentes de aparejo.

6.3. Influencia de las guerras napoleónicas

Las guerras napoleónicas (1793-1815) marcaron un periodo de conflicto extenso entre Gran Bretaña y Francia, implicando también a otras potencias mundiales. Estas guerras generaron cambios económicos significativos, destacando el Bloqueo Continental de Napoleón y el Embargo de Jefferson en Estados Unidos. Mientras Gran Bretaña, gracias a su dominio marítimo, soportó mejor el impacto económico, otras naciones como Francia y Estados Unidos enfrentaron mayores dificultades.

La guerra transformó los mercados de productos básicos globalmente, evidenciando una economía internacional interconectada. El comercio entre Gran

[211] Sirvió activamente hasta 1934 y aún permanece en servicio en el astillero naval de Charlestown, Boston, como el buque de guerra más antiguo a flote.

[212] Originalmente era una fragata francesa de 38 cañones capturada en 1806 por los ingleses. Conocida por su enfrentamiento con el USS Constitution en 1812.

Bretaña y Francia sufrió drásticamente, con ambos países implementando medidas severas contra el comercio del otro, incluyendo bloqueos navales y prohibiciones de importación. En Francia, las exportaciones y las importaciones se redujeron significativamente, afectando especialmente el comercio con sus colonias americanas. Por el contrario, el comercio británico mostró mayor resiliencia, con fluctuaciones menores en sus volúmenes de importación y exportación.

El bloqueo afectó severamente al sector Atlántico de las economías europeas, que había estado orientado hacia los mercados oceánicos y americanos. Esto causó una importante recesión en industrias dependientes del comercio ultramarino, como la construcción de barcos, la fabricación de velas y cuerdas, la refinación de azúcar y las fábricas de tabaco. Las guerras interrumpieron el comercio internacional, llevando a la decadencia a las industrias tradicionales. Por ejemplo, el comercio colonial francés colapsó al inicio de la guerra, afectando gravemente a puertos como Burdeos y Marsella. La industria del lino, extendida por toda Europa, fue duramente golpeada debido a la pérdida de mercados ultramarinos. En Francia, regiones como Normandía, Bretaña y Maine vieron declives significativos en la producción de lino. La industria lanera también enfrentó desafíos, aunque hubo algunas regiones como Verviers donde los avances técnicos llevaron a una rápida expansión. Por ejemplo, en Francia, los volúmenes de exportación en 1797 fueron solo el 36% de su nivel previo a la Revolución, y las importaciones disminuyeron en un 55%, en gran parte debido al colapso del comercio con sus colonias americanas, especialmente de Santo Domingo.

La madera, un recurso vital para la construcción naval, también se vio afectada. Durante la guerra, el precio relativo de la madera en Gran Bretaña aumentó significativamente, reflejando tanto la interrupción del comercio como la creciente demanda naval. Por ejemplo, los precios de la madera americana amarilla, utilizada en lugar del abeto de Memel tras el cierre del Báltico en 1808, se dispararon. Los precios relativos medios durante la guerra fueron un 61% más altos que los precios de 1816-20; el precio relativo de la madera durante 1807-12 fue un 121% superior al de 1816-20 (O'Rourke, 2006).

El bloqueo y los cambios inducidos por la guerra resultaron en transformaciones económicas significativas. Causaron un cambio de una economía basada en el mar a una más enfocada en industrias terrestres (Crouzet, 1964). Hubo una tendencia general hacia la desindustrialización en algunas áreas, particularmente aquellas muy dependientes del comercio marítimo e industrias. Sin embargo, en regiones como Bélgica, el Rin y partes de Francia, surgieron nuevos sectores industriales,

beneficiándose de políticas proteccionistas y nuevas oportunidades de mercado. Por ejemplo, mientras que la industria del lino decae en Francia, la industria del algodón experimentó crecimiento debido al impulso proteccionista del bloqueo[213], llevando a avances técnicos y al declive del hilado manual.

6.3.1. La batalla de Lyngør y el bloqueo de la madera

La batalla de *Lyngør*, acontecida en 1812, marcó el final de la era de la supremacía naval danesa-noruega en aguas escandinavas. La batalla tuvo lugar durante las guerras napoleónicas, cuando la Marina Real Británica impuso un bloqueo marítimo a Francia y a sus aliados, el cual afectó al eje Dinamarca-Noruega que trataba de mantenerse neutral. En un contexto de máxima tensión, una escuadra británica persiguió y se enfrentó al último buque de relevancia de la armada danesa-noruega, la fragata **Najaden** (1811), cerca de *Lyngør*, Noruega. El intenso enfrentamiento culminó con el hundimiento de dicha fragata. Como consecuencia directa de la batalla, las exportaciones de madera, cruciales para la economía de la región, se vieron aún más obstaculizadas por el reforzado bloqueo naval británico.

Estas acciones se suman a las anteriores, que reforzaron la animosidad a los británicos, fruto de la dependencia a los recursos navales extranjeros. Por ejemplo, la batalla de Copenhague en 1801 y el bombardeo de Copenhague en 1807. Estas acciones generaron desconfianza y animosidad hacia Gran Bretaña, particularmente de Dinamarca y otros países neutrales.

6.4. La Revolución Industrial y la dependencia extranjera

Durante el crecimiento industrial de Inglaterra a finales del siglo XVIII, se produjo un cambio fundamental al pasar las industrias de las fuentes orgánicas a las materias primas inorgánicas. Esta transición resulta fundamental para una expansión sostenida, ya que permitió hacer frente a las limitaciones impuestas por la escasez de recursos. En particular, la industria del hierro, en el sudeste de Inglaterra, se enfrentó a limitaciones debidas a la disponibilidad de madera, expandiéndose solo dentro de los límites del crecimiento anual (Wrigley, 1962). La competencia entre la tierra para materias primas industriales, como la madera, y la tierra para la producción de alimentos hizo subir los precios, impidiendo el crecimiento. Además, el crecimiento de la industria contribuyó al aumento de la población, intensificando la demanda de recursos tanto agrícolas como

[213] El bloqueo británico de exportaciones a Francia permite la protección de la industria del algodón en Francia.

industriales. La perspectiva de **Adam Smith** (1723-1790) en *La riqueza de las naciones* (Smith A. , 1977) reconocía la conexión entre la manufactura urbana y la agricultura rural, pero no anticipaba plenamente la importancia del cambio de los recursos orgánicos a los inorgánicos en la determinación del crecimiento industrial. Mientras que los recursos minerales plantean un reto insuperable a largo plazo debido a su carácter finito, su rápida escalada de producción, como se ha podido comprobar en centurias posteriores, es más factible que en el caso de los materiales orgánicos. El agotamiento de las minas individuales eleva los costes de extracción, pero, mientras las nuevas explotaciones aprovechen yacimientos ricos, los precios no tienen por qué subir e incluso podrían bajar con la mayor eficiencia de la producción o de las fluctuaciones del mercado. En particular, la elevación de la producción de materias primas minerales no compromete el suministro de alimentos u otras materias primas, como ocurre con la producción orgánica.

Además, surge una distinción geográfica trascendental entre la producción mineral y la orgánica. Mientras que la extracción de minerales está localizada, la producción orgánica se basa en áreas extensas de superficie, por ello, su transporte exige unos retos diferentes debido a la densidad de tráfico[214]. Por tanto, la concentración de los minerales permitió una propuesta de transporte económicamente más atractiva para superar los obstáculos físicos que en algunos países, como el Reino Unido, se materializó en los canales.

A nivel tecnológico, la sustitución de la madera por el carbón en el ámbito industrial se convierte en una indiscutible innovación. Esto respondía a los mayores precios de la madera debido a la escasez de la misma. Dicha innovación no vino sin retos, en especial para industrias, como la fundición, en las que el producto está en contacto directo con la fuente térmica (carbón) y cuyo desarrollo fue clave para la introducción generalizada del hierro y acero en la construcción naval. La abundancia de carbón no solo alimentó a las industrias, sino que también dio lugar a innovaciones como la máquina de vapor, la cual revolucionó los procesos de fabricación y los sistemas de transporte. La interacción entre los precios, la disponibilidad de recursos y la innovación tecnológica se convirtió así en la fuerza motriz de los profundos cambios económicos ocurridos durante la Revolución Industrial (Wrigley, 1962).

[214] Wrigley argumentaba que la extracción localizada de minerales significaba que existían pocas rutas con una gran densidad de producto, mientras que la producción orgánica requería de muchas rutas sobre un área significativa (poca densidad).

El auge del carbón en las industrias durante los primeros años de la Revolución Industrial no solo proporcionó un alivio crucial para los menguantes recursos madereros, sino que también superó desafíos, particularmente en el transporte, facilitando el uso extensivo del recurso en regiones como el *Tyne* mediante el transporte marítimo. Este cambio en la fuente de energía y las mejoras en el transporte, como la implementación de redes de canales, resultaron fundamentales para la industrialización, además de ser un catalizador para el desarrollo en la construcción naval y en otras infraestructuras, como puentes y ferrocarriles, puesto que popularizó el uso del hierro y del acero. Es posible que, sin la transición al carbón, las consecuencias medioambientales en los bosques europeos, derivadas de la necesidad térmica, hubiesen sido devastadoras al igual que el crecimiento industrial hubiese quedado profundamente entorpecido.

En otros casos, la introducción del carbón presentó efectos indirectos, por ejemplo en la construcción. La madera se utilizaba para la construcción de edificios, pero, con la energía obtenida del carbón, el uso del ladrillo se generalizó, quedando también sustituido. Otras industrias se favorecieron como la cerámica y el vidrio, aunque la industria del algodón es a la que generalmente se alude para ejemplificar el crecimiento de la producción industrial, pese a que se beneficiase de manera indirecta[215] de los avances en materias primas y transporte dada la escasez de material en otros sectores (Wrigley, 1962).

El comienzo de la Revolución Industrial se suele establecer en 1750 y, en ese momento, España junto a Portugal, Holanda, Francia y Reino Unido representan el poder colonial europeo. No obstante, esta última nación es la que ejemplifica el crecimiento industrial vivido. Establecer una relación directa entre la Revolución Industrial y el predominio imperialista británico del siglo XIX, resulta complejo; no obstante ha sido abordado, aunque con conclusiones limitadas en los que el ingreso tributario, especialmente de los territorios en India[216], tuvo más influencia que el desarrollo manufacturero (Ward J. , 1994). Hay que observar, de todos modos, que la fortaleza económica y comercial derivada de la industrialización, incluidos los cambios en la agricultura y en las finanzas, ciertamente proporcionó los medios para tal expansión. Además, las innovaciones tecnológicas, como el revestimiento de cobre de los cascos de los barcos, fueron fundamentales para

[215] No existía escasez de algodón y, debido al mayor coste por tonelada, el transporte no encarecía el coste final de manera significativa.

[216] Incluyendo la compra de Bengala por parte de la Compañía de las India Orientales en 1765, año en el que se convierte en diwan o administrador.

mantener la supremacía marítima británica en aguas tropicales, tanto atlánticas como asiáticas. La Compañía de las Indias Orientales (EIC) jugó un papel vital en este aspecto. Aunque la empresa tuvo que contrarrestar los altos costos administrativos[217] y de defensa, logró hacerlo mediante préstamos y a través del comercio, incluyendo el opio. Estas necesidades estuvieron cubiertas por la *City* de Londres que desempeña un papel crucial en el apoyo del comercio británico de Ultramar, en parte por el poder de su industria manufacturera y por su capacidad para ampliar las condiciones de crédito.

El complejo cambio industrial que se produjo en Gran Bretaña entre 1750 y 1850 conlleva implicaciones polifacéticas que, no infrecuentemente, se pasan por alto en los análisis del imperialismo británico, como se observa en las obras centradas en la India que asocian la Revolución Industrial únicamente con el algodón fabricado a máquina después de 1815. **Cain** y **Hopkins** también comparten una visión limitada, al señalar que las nuevas industrias no tuvieron pleno impacto hasta la década de 1820. Sin embargo, la Revolución Industrial no se limitó a las tecnologías de desarrollo tardío, sino que abarcó diversos oficios cultivados por las industrias tradicionales. Ciertas industrias, como las de la lana, la seda y los metales, ayudaron indirectamente al imperialismo británico entre 1750 y 1800. Aunque la presencia de *Lancashire* en la India era mínima en la década de 1790, sus ventas en América financiaron campañas a través de la plata mexicana. Tampoco pueden ignorarse los efectos incidentales de la industrialización temprana, que influyeron en la urbanización, la distribución de la renta y la demanda de bienes. El temor a los disturbios entre la mano de obra manufacturera provocó ajustes en el comercio colonial, como se vio en la renovación de la carta de la Compañía de las Indias Orientales en 1813. El amplio progreso industrial de finales del siglo XVIII reforzó significativamente la influencia global británica (Ward J. , 1994).

A pesar de las diferencias palpables, como la dependencia de materias primas, Bélgica emergió como un paralelismo notable a las zonas industriales inglesas, prosperando especialmente en la producción de carbón y adoptando avances como la maquinaria de vapor y la iluminación por gas. La minería del carbón belga, potenciada por desarrollos en la infraestructura de transporte como el canal *Mons-Condé* y siguiendo innovaciones británicas en tecnología y seguridad, coadyuvó al vertiginoso avance industrial del país, que, a veces, rivalizó con los logros de sus

[217] Estos costes llegan a ser altos tanto por las prácticas especulativas como por los elevados salarios necesarios para evitar la corrupción de los empleados de la EIC.

homólogos ingleses, demostrando una viva competencia y contribución al progreso industrial europeo.

Retornando a las materias primas, en el siglo XIX, España reconoció la importancia crucial del hierro en su camino hacia la modernización. Sin embargo, la explotación del carbón, vital para la siderurgia, enfrentó numerosos desafíos. Pionera en la industria del carbón, España se encontró con una resistencia cultural y desafíos logísticos, impidiendo que el carbón fomentara la Revolución Industrial en el país de la manera que lo había hecho en Inglaterra y Bélgica, afectando a varias industrias, incluida la Naval.

6.4.1. España: carbón y siderurgia

El siglo XIX marcó un punto de inflexión en la industrialización de España, destacando la interdependencia entre la minería del carbón y la siderurgia. Mientras que el hierro emergió como un catalizador muy relevante, símbolo del progreso y de la modernidad, el carbón se enfrentó a una serie de desafíos que limitaron su adopción y explotación. Esta dualidad no solo refleja las complejidades económicas y sociales de la época sino que también las oportunidades perdidas y las lecciones aprendidas en el camino hacia la industrialización.

Aunque Europa había estado utilizando carbón desde el siglo XIII, España no inició su explotación hasta mediados del siglo XVIII. Pioneros como **Juan Ledis** y **Antonio de Aguirre** se enfrentaron a la resistencia local y a los desafíos culturales, evidenciando la preferencia por la leña y una renuencia hacia nuevas fuentes de energía. Iniciativas legislativas, como la ley de 1780 y el decreto de 1789, intentaron liberalizar y regular la industria del carbón, pero se toparon con obstáculos que incluían la falta de demanda y la inestabilidad política, especialmente durante la ocupación francesa.

La emergencia del hierro en la construcción naval y otros sectores fue una señal de transformación industrial. Sin embargo, esta revolución demandaba una materia prima que España no estaba explotando a su máximo potencial: el carbón. Mientras que la siderurgia avanzaba, impulsada por innovaciones y la creciente demanda de hierro, la industria carbonífera era insuficiente para esta industria. Este desequilibrio subrayó una desconexión entre las políticas de industrialización y las necesidades energéticas del país.

España también tuvo su propia "fiebre ferroviaria", un fenómeno que, paradójicamente, no logró impulsar la producción local de hierro ni de carbón

debido a políticas gubernamentales que favorecían las importaciones (Nadal, 1975). Además, pioneros en la industria del carbón, como **José Comes Bonells**, **Agustín de Bethencourt**[218] (1758-1824) y **Gregorio González Azaola** (1776-1840), asiduamente, se enfrentaron a una resistencia cultural arraigada y a una falta de infraestructura logística, que limitaban la distribución y el uso del carbón en la industria pesada. La *Ley Minera* de 1825 tampoco favoreció al carbón, por lo que quedó relegado a un segundo plano, aunque no impidió el establecimiento de empresas entre las que se encontraban la Real Compañía Asturiana de Minas (1853) y la Sociedad de Minas de Carbón de Siero y Langreo (1838).

Las disparidades regionales en la producción de hierro y de carbón, junto a la falta de una estrategia cohesiva, condujeron a oportunidades perdidas. A pesar de los esfuerzos de empresas como *Houillere et Metallurgique des Asturies* y figuras como el **Duque de Riansares**, la sinergia entre la minería del carbón y la siderurgia no se completó plenamente. Políticas como el *arancel de 1869*, la desamortización del subsuelo y la competencia con el carbón británico resaltaron la necesidad crítica de mejorar el transporte y la infraestructura logística para fortalecer la industria nacional. Los fletes marítimos fueron decisivos para determinar el origen del carbón, en España: una decisión económica entre el asturiano o el británico. Pero también lo era la direccionalidad o no del comercio, es decir, si los buques iban cargados o no en ambos trayectos, lo que facilita el establecimiento de rutas marítimas. La infraestructura portuaria requería aceptar buques de mayor porte, lo que limitaba el lugar de descarga.

Una primera reflexión sobre lo abordado nos invita a advertir que, a pesar de su potencial convergente, las trayectorias del hierro y el carbón en España siguieron caminos divergentes. Mientras que el hierro simbolizó la modernización y la innovación, el carbón, aunque esencial para la industria y el desarrollo económico, permaneció subyugado por desafíos culturales, políticos y logísticos. Estas dualidades ofrecen lecciones valiosas sobre la importancia de una visión integrada y adaptativa en el proceso de la industrialización y subrayan la necesidad de cohesión política, aceptación cultural y capacidad de adaptación a las realidades económicas y a los recursos del país.

[218] Científico, inventor e ingeniero civil. Funda la Escuela de Caminos y Canales en 1802. Sirvió como ingeniero en España y Rusia.

6.5. Construcción frente a diseño

Las innovaciones más notables en la construcción naval durante este periodo se centraron en las prácticas de construcción más que en el diseño (Rodger, 2006). Ante la escasez de madera para la construcción naval, los constructores adoptaron varias técnicas revolucionarias. En el caso de Inglaterra estas vinieron tanto de la mano de particulares trabajando para la East India Company, como fue el caso del maestro constructor **Gabriel Snodgrass** (1759-1796), como de la propia Marina Inglesa. **Snodgrass** introdujo entre otras innovaciones el uso de maderos diagonales atornillados en la bodega para reforzar las antiguas cuadernas de los barcos, que se convirtieron en un elemento esencial del sistema, años después, presentado por **Sir Robert Seppings** (1767-1840); dicho sistema permitió la construcción de buques de mayor eslora sin detrimento de la rigidez. Para ilustrar la importancia de las riostras empleadas por **Snodgrass** la Figura 6.1 muestra la cuaderna maestra de una fragata de 38 cañones, la izquierda con una estructura de finales del siglo XVIII y la derecha con ese arriostrado. Es evidente el mayor puntal y menor entrada de la obra muerta, con el consecuente mayor volumen bajo cubierta. **Snodgrass** defiende en 1792 en la **Cámara de los Comunes** estos refuerzos al conseguir unos buques "más ligeros, baratos y resistentes" (House of Commons, 1803).

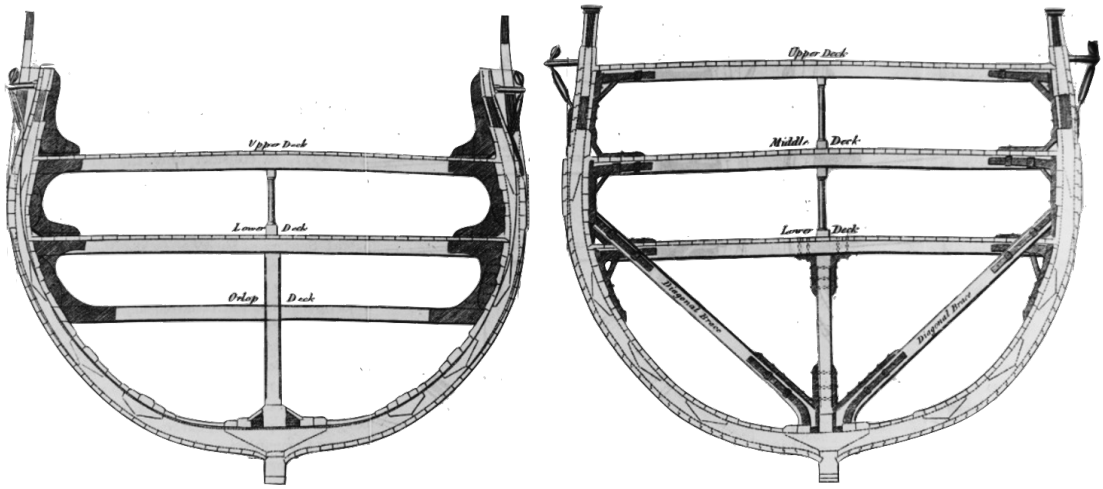


Figura 6.1: Comparación de cuaderna maestra de fragata de 38 cañones de Gabriel Snodgrass. Fuente: Extraída de House of Commons (1803)

Seppings descuella sobre los constructores navales de este periodo al ser un ejemplo de innovación para la *Royal Navy* y, consecuentemente, para la construcción naval. En 1800, tres años después de ser nombrado Maestro Constructor en el Astillero de *Plymouth*, introduce los denominados como *Bloques*

Seppings que redujeron el tiempo y la mano de obra requeridos para las reparaciones de cascos en dique seco. En el campo de las estructuras navales, aplicó los mismos principios de diseño que se encontraban en las cerchas de los puentes de su época, con el objetivo de aumentar la rigidez de los cascos, evitar la caída y el arqueo de la quilla, mejorar la resistencia a los vientos cruzados y su navegabilidad. Igualmente, introdujo vigas diagonales entre las portas, entre los baos y las cubiertas. En un artículo sobre la resistencia de los buques de guerra gracias a las riostras diagonales, leído ante la *Royal Society* el 27 de noviembre de 1817 titulado *On the great strength given to Ships the application of Diagonal Braces* Seppings incide en la ventaja de la aplicación de estos refuerzos al haberlos comprobado en 38 navíos de vela y 30 fragatas. Entre los ejemplos, comenta el lanzamiento de tres navíos de 120 cañones (**Nelson**, **St. Vincent** y **Howe**) que, habiéndose construidos con las mismas especificaciones, los dos primeros sufrieron un arrufo del orden de nueve pulgadas, mientras que el **Howe** uno de cuatro pulgadas[219] al haberse incorporado ese nuevo sistema de riostras. Añade los comentarios sobre la resistencia del navío de 74 cañones **Albion** (1802) durante el Bombardeo de Argel (1816) y el empleo más favorable de la disposición diagonal para los tablones de cubierta. La Figura 6.2 muestra la disposición de las riostras discutidas por **Seppings** (Seppings, 1818).

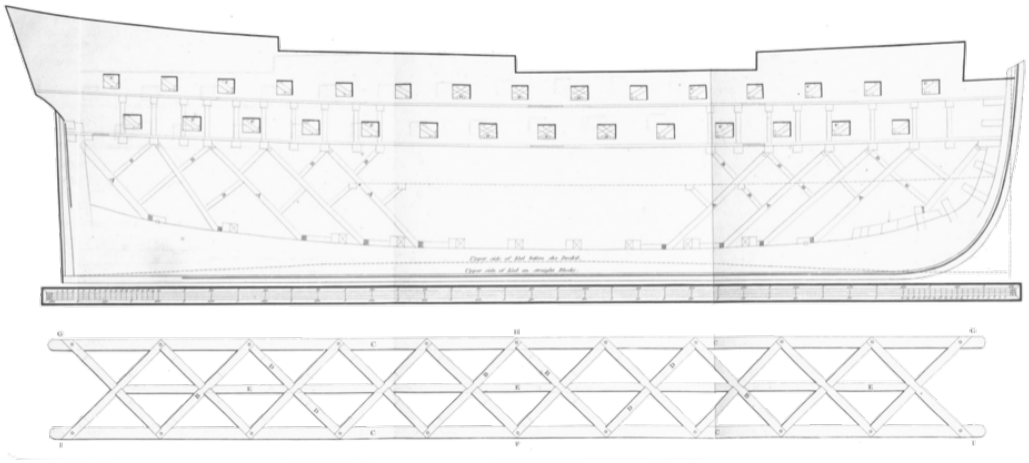


Figura 6.2: Disposición de las riostras en el navío danés de 74 cañones Justitia (1807)[220] ejemplificadas en Seppings (1818)

Otras innovaciones aportadas por **Seppings** incluyeron cambios en el diseño: así la proa y la popa redondas, fruto de la experiencia en la batalla de Trafalgar, donde

[219] El arrufo medido fue 9 pulgadas y media (Nelson), nueve pulgadas y un cuarto (St. Vincent) y tres pulgadas y cinco octavos (Howe).

[220] Capturada a los daneses en la batalla de Copenhague en 1807 y desguazada en 1814. Sirve a Sepping como plataforma para validar los refuerzos estructurales.

los proyectiles atravesaban el beque con gran facilidad[221]. En el caso de la popa, esta favorecía un mayor arco de tiro y podría haber encontrado inspiración en los diseños del holandés **William May** (1725-1807), también empleado por el danés **Frantz Christopher Henrik Hohlenberg** (1765-1804), aunque **Seppings** incluyese una justificación naútica: el mejor comportamiento al mar de popa, aparte de la táctica y la estética (Lemmers, 2013).

En 1815, diseñó el navío de dos cubiertas y 80 cañones de la clase **Canopus** y, un año más tarde, la fragata de 46 cañones de la clase **Leda**; el Almirantazgo encargó seis buques con su diseño modificado, ya que incorporaba una popa circular y una forma de construcción de *small-timber*. Estos nuevos "principios" estaban presentes en su trabajo *On a new principle of constructing His Majesty's ships of war* (1814).

Por sus trabajos sobre la construcción de buques de guerra, publicados en *Philosophical Transactions*, recibió, el más reconocido galardón de la *Royal Society*, la medalla Copley en 1818. Habiendo sido elegido miembro en 1814. Siguiendo los reconocimientos, **Robert Seppings** recibió el título de caballero el 17 de agosto del siguiente año.

En lectura pública, **Seppings** presenta *On a new principle of constructing ships in the mercantile navy* en marzo de 1820. En él aborda las deficiencias en la construcción de barcos mercantes ingleses: solo la mitad de las costillas están unidas, lo que debilita la estructura. Propone un enfoque diferente: utilizar maderas más cortas, menos curvas y conexiones más sólidas. Se destaca el informe comparativo entre un barco construido bajo este nuevo principio, el Talavera, y otro construido de manera convencional. La nueva construcción ofrecía ventajas prácticas y permitía usar maderas más pequeñas con igual resistencia; esto suponía un gran alivio para la crisis de suministro maderero que atravesaba Inglaterra, en las que grandes piezas curvas se habían vuelto prácticamente imposibles de obtener. Además, promovió la sustitución de piezas de madera por estructurales de hierro al igual que el uso de flejes de hierro, lo que favorecía el empleo de maderas pequeñas. Propuso utilizar hierro en lugar de roble para las nuevas curvas y piezas de geometría difícil lo cual paliaba la escasez de madera de roble y facilitaba la reparación de buques.

[221] Para penetración de los proyectiles ver: Fernández González, Francisco (2006). Ship structures under sail and under gunfire. *Proceedings International Congress on the Technology of the Ships of Trafalgar.* E.T.S.I. Navales (UPM), Madrid.

Un buque, que aúna las innovaciones de Seppings, es el **HMS Unicorn** (1824), este fue un barco construido expresamente para la exploración antártica. Según las características comentadas anteriormente, respondía al diseñó con la proa y la popa redondas, utilizaba curvas de hierro, y empleaba sólidas crucetas, puntales y amuradas. Por tanto, se convierte en uno de los primeros barcos en emplear el hierro con miras a aumentar su resistencia. Tan efectivo resultó este sistema de construcción que sentó las bases de construcción de los buques que tendrían que soportar la incorporación del vapor como modo propulsivo; dicha incorporación incluía las máquinas de vapor, las calderas y el carbón, además del incremento de espacio a bordo.

6.5.1. Quebranto

Durante el siglo XVIII y principios del XIX, el mundo naval experimentó un aumento de la demanda de barcos más grandes y largos, en un contexto de exigüidad de maderas largas, lo que provocó un agravamiento en el problema del quebranto.

Para contrarrestarlo, constructores y teóricos emplearon o propusieron diversas estrategias. Estas abarcaban desde el empleo de una quilla hueca hasta la adopción de cintones y entrecintas para aumentar la rigidez del casco, pasando por la estructura diagonal propuesta por el constructor francés **Alexandre Gobert**[222]. En particular, el entramado diagonal intentaba contrarrestar la flexión con tablas inclinadas *sloping ceiling boards* y sobrequillas (*riders*) en la bodega del barco. Sin embargo, muchas de estas estrategias no carecían de inconvenientes, como consumir un espacio valioso o complicar las reparaciones del barco. A pesar de la proliferación de estrategias para combatir el quebranto, ninguna fue ampliamente adoptada ni excepcionalmente eficaz hasta principios del siglo XIX. La *Académie des Sciences* de París patrocinó premios[223] para resolver los problemas de quebranto, aunque ninguno de los ganadores -como **Chaucôt**[224], **Bernoulli** y **Euler**-

[222] Ver: Ferreiro, L. (2020). *Bridging the Seas: The Rise of Naval Architecture in the Industrial Age, 1800-2000*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

[223] También la Academia de Ciencias danesa se sumó a esta búsqueda. Destaca la aportación del constructor naval Ernst Wilhelm Stibolt (1741-1796), cuyo trabajo, que le permite acceder a esta Sociedad en 1776, se publica como *Afhandling om Skibes Kiølbrækkelighed* (1784) con el título traducido de "Tratado sobre la rotura de la quilla de los buques, en el que se indican sus causas y los medios para evitarla, en la medida en que éstos pueden colocarse en buques de guerra en buenas condiciones de navegabilidad, a partir de cuyas creaciones es posible calcular si un buque está sujeto a la rotura de la quilla más que otro".

[224] Constructor naval francés que gana el premio de academia francesa en 1755. Ver: *The Quarterly Journal of Science, Literature and Art*, Volumen 23 (1827).

vio cómo sus soluciones, en su mayoría teóricas, se aplicaban en la construcción naval práctica.

No es hasta que **Robert Seppings** introdujese su entramado diagonal que llegó un avance significativo, con el método mencionado anteriormente el cual amalgamaba elementos de tracción y sustentación[225]. Es posible que **Seppings** conociese los intentos anteriores y hubiera tomado inspiración de ellos. La utilización de la estructura diagonal por **William May** en el **Leiden** (1786), un navío de 68 cañones, revela notables similitudes con los diseños posteriores de **Seppings**, lo que indica un posible intercambio o convergencia de ideas y soluciones entre los constructores navales de esta época (Lemmers, 2013).

6.5.2. La teca

Otra innovación de éxito fue la construcción de barcos con teca en el astillero de Bombay, perteneciente a la Compañía Británica de las Indias Orientales; esta madera resultaba difícil y cara, pero ofrecía una resistencia superior a la putrefacción y era adecuado para las fijaciones de hierro. Bajo la dirección de **Jamsetjee Bomanjee Wadia** (c.1754-1821), maestro constructor del astillero de Bombay de 1792 a 1821, se construye la fragata **Salsette** (1805) perteneciente a la clase **Perseverance**. Este buque se convierte en el primer barco de teca, encargado por la *Royal Navy*, al que le siguieron otros buques como el primer navío de línea construido fuera de Inglaterra el **HMS Minden** (1810) que consolida a **Bomanjee** como constructor naval de prestigio. Uno de sus buques, el **HMS Cornwallis** (1813) llegó a durar, como plataforma[226], 144 años tras pasar por modificaciones que incluyeron la propulsión mecánica. La construcción en este astillero fue vital para la armada inglesa durante las guerras napoleónicas, pero, bajo la dirección de **Bomanjee**, la gestión y la calidad de la mano de obra fue muy elevada, tras su muerte en 1821 el programa de construcción llegó a su fin, fundamentalmente por la mala gestión, la corrupción y el agotamiento de los bosques de teca de Malabar.

[225] Esta solución atrajo la atención de científicos de la talla de Thomas Young y Charles Dupin (1784-1873), los cuáles buscaron una justificación matemática del diseño de Seppings. Mientras que el primero criticó la originalidad de Seppings, Dupin emergió como defensor de su trabajo. Ver: Brown, D. K. (2015). *Before the Ironclad: Warship Design and Development, 1815-1860*. Barnsley: Seaforth Publishing. Otras: Wright, Thomas (1981). *Thomas Young and Robert Seppings: Science and Ship Construction in the Early Nineteenth Century*. Transactions of the Newcomen Society, 53:1, 55-72.

[226] El autor se refiere a, que tras las modificaciones, es el casco inferior lo único que quedaba del navío original. Fue desguazado en *Sheerness* en el año 1957.

6.5.3. Madera de calidad, reutilización y sustitución

La calidad y el tamaño de la madera para la construcción naval propiciaba su reutilización en la construcción de edificios. Por ejemplo, el taller *Wheelwright's Shop* en el astillero de *Chatham* empleó como vigas de suelo las maderas del **HMS Namur** (1756), siendo descubiertas en 1995 un total de 167 maderos. Al no ser todos los maderos de grandes dimensiones y, por ello, no tener un uso estructural, se ha especulado que podría deberse a una razón sentimental más que práctica[227], al coincidir el desguace del navío, 1833, con la comisión de superintendente del almirante Sir **James Alexander Gordon** (1782-1869) del astillero de *Chatham* (CA, 2012).

Un ejemplo de construcción con diferentes especies en el casco es patente en la fragata **USS Constitution** (1797) durante su restauración. En mayo de 1992, el *Naval Engineers Journal* publicó un artículo sobre la labor de restauración del **USS Constitution** titulado *Using Today's Technology to Help Preserve USS Constitution*. Este artículo destaca cómo la tecnología juega un papel crucial en la conservación de artefactos históricos, de edificios y de barcos de madera en todo el mundo. En el caso del **Constitution**, que se jacta de ser el "buque en comisión de servicio más antiguo del mundo", la sustitución de materiales supone un reto relativo a conservar su originalidad y no convertirse en otra réplica. La utilización de métodos de ensayo no destructivos, el diseño por ordenador y la consideración de una estructura de soporte de materiales compuestos, sirve de ayuda para preservar el carácter único de esta fragata y estimular el interés por su conservación, además de para reforzar la integridad estructural de estos buques no sólo realizando labores de mantenimiento cosmético.

Peter Marloy contribuyó a la resistencia de materiales, a través, de entre otras, de su obra *Essay on the strength and stress of timber* (1817), con sus posteriores revisiones llamadas *Treatise on the strength of materials* cuya sexta edición (1867) fue revisada por sus hijos e incluye otros materiales de construcción. Este trabajo, como indicó el autor en su prefacio, es resultado de la necesidad de actualizar y expandir la obra de 1817 debido a al avance en las nuevas aplicaciones para la madera, el hierro y otros materiales en diversos trabajos mecánicos (Barlow, 1867). Lo que demuestra la velocidad en la que se estaban adaptando estos

[227] El almirante Gordon, con una larga trayectoria en la Royal Navy, había participado en la batalla del cabo de San Vicente (1797) a bordo del Namur.

materiales a las construcciones, especialmente en la construcción civil, con los puentes, los ferrocarriles y los barcos.

La escasez de madera también trae la aparición de las conocidas como fragatas de abeto, que construidas con maderas blandas eran rápidas pero ofrecían una vida útil significativamente menor que las construidas en maderas duras como el roble.

Existe la discusión sobre los buques franceses que aunque rápidos, no duraban tanto en el mar. Mientras que los españoles e ingleses buscaban más robustez en sus navíos.

6.5.4. El hierro como refuerzo y sustituto

Peter Goodwin defiende que el uso del hierro como sustituto de la madera surgió hacia 1670, coincidiendo con la construcción del **HMS Royal James** (1671) llevada a cabo por el constructor **Sir Anthony Deane,** como respuesta a la ya existente escasez de madera[228]. Este metal se empleó, a pesar de las críticas de **Samuel Pepys** (1633-1703) que argumentaba que eran materiales no aprobados por la *Navy Board*, lo cual no lo incluye hasta el *Establishment* de 1719 (Goodwin, 1998). No se puede considerar que existiera un uso generalizado del hierro en la construcción naval tras la publicación de este *Establishment*, debido, tal vez, a la preferencia de los constructores, la calidad, coste u otros intereses. Es importante mencionar que la calidad del hierro de Inglaterra era menor que la que podía importar de Suecia, de España y de sus colonias americanas. Por tanto, existía una clara dependencia extranjera, a pesar de existir una industria de hierro en el sureste de Inglaterra debido a la mayor abundancia de madera para la fundición. La situación cambia hacia el año 1784, cuando el empresario metalúrgico **Henry Cort** (1740-1800) patenta su método para transformar el arrabio en hierro forjado maleable utilizando un horno de reverbero alimentado con carbón. Este se diferenciaba de otros métodos anteriores por mantener una separación entre el hierro y el combustible de carbón, y el aire descarbonizara el metal mientras se agitaba. Esta innovación resultó fundamental dado que mejoró la calidad del hierro empleado por la *Royal Navy*, la cual volvía a enfrentarse a sus rivales nuevamente en el campo naval, con un corte de suministro de hierro de las ya libres colonias americanas.

[228] Acentuado por otros eventos como el Gran incendio de Londres de septiembre de 1666.

A pesar de la creciente expansión industrial y de las restricciones a la importación debidas a las guerras, en particular con Suecia, la utilización del hierro inglés creció, en parte debido a la interrupción de los vínculos comerciales con el Báltico. La formación de la Liga de la Neutralidad Armada (1780), liderada por la monarca rusa **Catalina II** (1729-1796) y que congrega a los estados bálticos[229], amenazó los suministros comerciales británicos. Sin embargo, se disolvió tras la victoria inglesa en la batalla de Copenhague de 1801. Al reactivarse la guerra en 1803, los suministros del Báltico se vieron aún más limitados, al tiempo que el Bloqueo Continental de Napoleón (1806) y la destrucción de la flota danesa en 1807 agravaron la situación. Pese a todo, la diplomacia naval británica junto con la ampliación del escenario bélico al Báltico permitió mejorar las condiciones de importación y garantizar un suministro constante de materias primas para los astilleros, incluido el hierro. De este modo, aumentó el uso del hierro en la construcción naval. No obstante, las reticencias por parte de la *Navy Board* eran todavía palpables a comienzos del siglo XIX[230], a pesar de que durante los conflictos la escasez de madera se había convertido en un problema relativamente grave y la introducción de maderas alternativas, como la haya y el abeto, no cumplían con los requisitos.

En 1761 el profesor de matemáticas y navegación **William Mountaine** (c.1700-1779) también menciona el uso de refuerzos de hierro en *The Seaman's Vade-mecum and Defensive War by Sea*, no como sustituto en elementos como las curvas, sino para el refuerzo de tablones que permitan soportar la artillería enemiga, también como el refuerzo de los portillos para el uso de mosquetes y para almacenar provisiones, incluyendo las barricas de agua. El uso de hierro abordo estaba controlado como se infiere de la importancia del registro de los aros de hierro para carpintería y otros usos (Mountaine, 1761).

Durante las guerras napoleónicas muchas curvas son sustituidas por piezas equivalentes de hierro. También, el uso de planchas de hierro permitió la construcción de navíos con costados rectos frente a la común entrada de obras muertas de los navíos. Por lo tanto, el uso eficiente de madera curva permitió ahorros significativos, brindando más espacio y estabilidad, además de mejorar la distribución de los aparejos. Entre otras innovaciones, los aparejos jugaron un papel esencial. Los pescantes mejoraron el lanzamiento de embarcaciones, mientras que los nuevos diseños de anclas y cadenas aumentaron las

[229] Dinamarca, Prusia, Suecia y Rusia.
[230] En abril de 1804 pedían aún prudencia en la utilización del hierro.

probabilidades de supervivencia en tormentas costeras. Los tanques de agua de hierro instalados permanentemente en el fondo de la bodega, en lugar de los tradicionales barriles, representaron un ahorro de tiempo y esfuerzo para la tripulación, contribuyendo a la estabilidad del barco al llevar el peso más abajo en el casco y optimizando el espacio disponible en la bodega.

Usando el ejemplo francés, entre 1665 y 1815, los componentes metálicos, como la artillería de hierro fundido, inicialmente de bronce, y el lastre, así como el hierro forjado para anclas, clavos y pernos, y el cobre para revestir los cascos, desempeñaron un papel crucial y fueron cogiendo una mayor importancia. Hacia finales del siglo XVII estos metales constituían el 14-15% del peso total de un buque de guerra y casi la mitad de su costo. Para 1815, estos porcentajes aumentaron aproximadamente el 30% del peso mientras que el coste que representaban bajó hasta el mismo porcentaje (Gay, 1988).

6.5.5. El apoyo a la innovación inglesa

La construcción naval inglesa se benefició de diversos diseños experimentales que, aunque no siempre fueron éxitos, formaron parte del permanente progreso naval. Entre estos fracasados diseños se encontraba el sistema de raíles[231] de la balandra de 12 cañones **Wolverine** (1798), sujeta a la conversión del capitán **John Schank** (1746-1823). De sus innovaciones, la quilla móvil llegó antes de su tiempo debido a problemas de mantenimiento, pese a su valor en las maniobras en aguas poco profundas. Entre los barcos empleados para la prueba de este concepto se encontraba el **HMS Lady Nelson** (1798). Dados los problemas de estanqueidad y de trabazón, su uso no se extendió hasta que los hermanos **Swain** recibieron la patente norteamericana de la orza en 1811.

Digno de mención es el ingeniero naval **Samuel Bentham** (1757-1831), quien tras su servicio en la Marina Rusa en 1795, llevó a cabo la reorganización del astillero de *Portsmouth*: introdujo máquinas de vapor, maquinaria de carpintería mecánica, fraguas y laminadoras. Entre sus objetivos destacó el empleo de la mecánica para construcción de buques, puesto que, según **Bentham**, esa falta de aplicación los convertía en "costosos y débiles". Entre las balandras experimentales construidas

[231] Comprado por Schank como barco mercante, es convertida en un buque de guerra cuya modificación más notable se encontraba en la cubierta inferior, que incluía una suerte de ranuras sobre las cuales los carros de los cañones pudiesen correr de una banda a otra. De esta manera se quería poder duplicar la potencia de fuego. No obstante, la escora resultante sólo permitía poder abrir las portas en situación de calma.

por **Bentham** sobresale la **HMS Arrow** (1796). El "ambi-navigator"[232] diseñado por el prolífico inventor **Charles Stanhope** (1753-1816), podría haberse convertido en un primer ejemplo de propulsión mecánica a vapor en Reino Unido, para lo cual solicitó dos patentes en 1790 (Beatty, 1955). Su sistema de propulsión, llamado vibrador, no tuvo éxito teniendo que esperar al más exitoso **Charlotte Dundas** (1802). En esta época, otro célebre ingeniero **Robert Fulton** (1765-1815) ofreció sus servicios a las marinas de Francia, Reino Unido y Estados Unidos, con diferentes grados de éxito. Al igual que **Henry Bell** (1767-1830) marca un hito con el **Comet** (1812) que, con dos ruedas de paletas y un motor mono cilíndrico de 4 caballos construido por el escocés **John Robertson** (1782-1868), deviene en el primer barco de pasajeros a vapor.

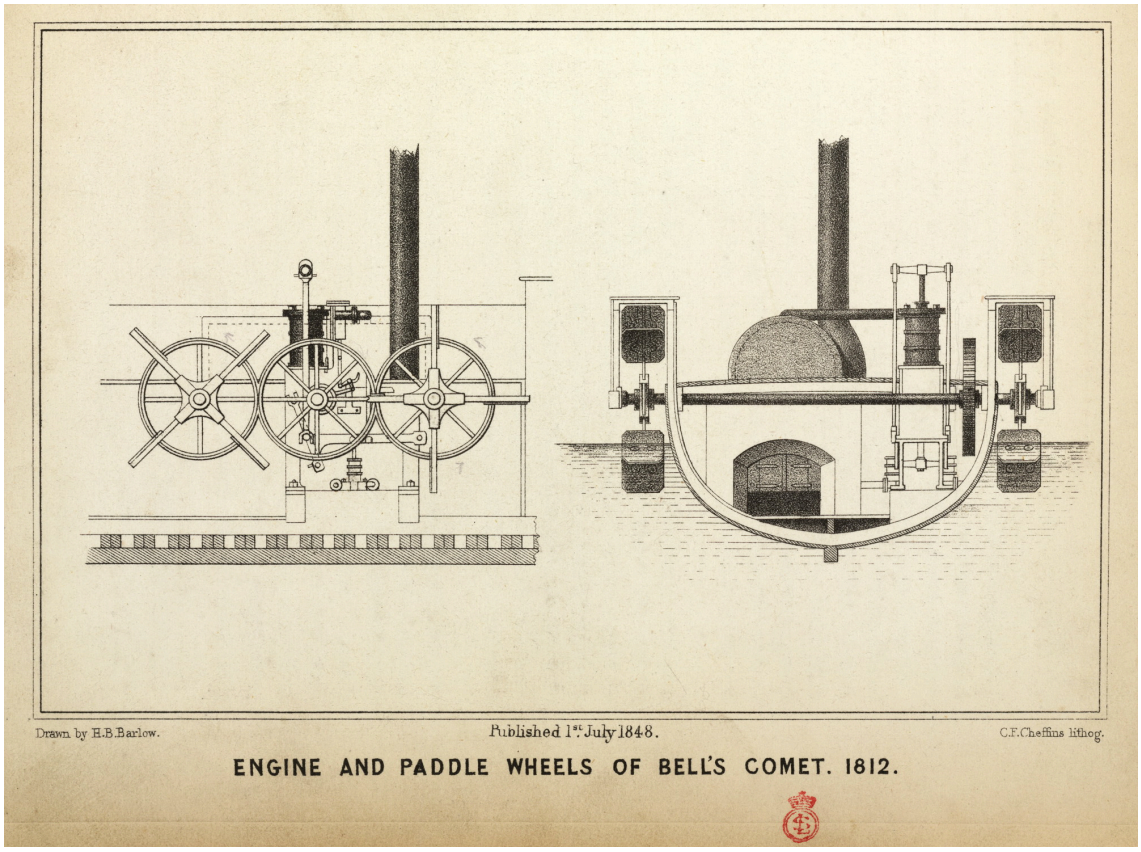


Figura 6.3: PS Comet. Fuente: Science & Society Picture Library

El anteriormente mencionado **Bentham** desempeñó un papel trascendental en la expansión de las capacidades navales rusas. Apoyó directamente los esfuerzos del estadista **Gregorio Potemkin** (1739-1791) y llegó a involucrarse en el reclutamiento de carpinteros de ribera, constructores de barcos y tejedores de lonas (Harris, 2000).

[232] El nombre deriva de su capacidad de navegar a favor y en contra del viento.

En Inglaterra, la fragata **Unicorn** (1824), representa una etapa de transición entre los barcos de vela de madera y los buques de vapor de hierro. Esta fragata, con propulsión a vela y métodos modernos de refuerzos de hierro, se construye tras las guerras napoleónicas y no vio servicio de combate; su buen mantenimiento permitió que fuera transformada en un buque museo, servicio que presta en *Dundee*, Escocia.

6.6. Propulsión, la artillería del Siglo XIX

A priori, la relación directa que tradicionalmente se hace son los binomios Vapor-Vela y Madera-Hierro, empero no se haría justicia a la influencia del vapor tanto en las capacidades operativas como en las necesidades estructurales. Al igual que la incorporación de la artillería en los buques entre los siglos XVII y XVIII ofrece una plataforma para el combate naval, este produce el crecimiento del tonelaje y el refuerzo de los buques.

La incorporación de buques de vapor a la Marina Real Británica se puede considerar que comienza en 1820 con la construcción del remolcador **Monkey** (1820), un buque de 210 toneladas, equipado por *Messrs. Boulton & Watt* con motores de 80 caballos de vapor, al que siguió el **HMS Comet** (1822). Existía un precedente al otro lado del Atlántico con la batería flotante **Demologos** (1815), de 46,7 metros de eslora y 1.450 toneladas de desplazamiento, la cual no entró en servició y explotó en un accidente en 1829. Estos avances iniciales sentaron las bases para desarrollos futuros, evidenciados por la construcción del **HMS Lightning** (1823) en los años sucesivos, el cual portaba unos 100 caballos de vapor producidos por también maquinaria *Messrs*. **Maudslay**, marcando su presencia en la lista oficial de la Marina en marzo de 1828. Este dato es reseñable, debido a que en la década de 1820, estas embarcaciones se destinaban principalmente a tareas de remolque y a propósitos generales, por lo que su categorización distaba, en ese momento, de ser clasificadas como buques de guerra.

La siguiente década experimenta un cambio radical con la integración de setenta buques a vapor adicionales a la flota británica. Estos estaban principalmente equipados con calderas de tubo de humo, motores de palanca lateral de movimiento lento y operaban con vapor a una presión de 4 psi[233]. De estos, el **HMS Rhadamanthus** (1832) se convierte en un ejemplo representativo, al estar equipado con una máquina de 220 caballos, cuyo peso era de 275 toneladas, el cual,

[233] Unidad de presión referido a libra de fuerza por pulgada cuadrada. Equivalencia: 1 bar = 14,5038 psi.

para una embarcación de 1.086 toneladas de desplazamiento, constituía una proporción significativa. La importante participación, tanto en el peso como el volumen ocupado por los equipos, se mantiene como norma hasta la década de 1840 con la adopción de las calderas tubulares. Estas más ligeras y compactas, optimizaron la transferencia de calor y elevaron la presión trabajo al entorno de los 10-15 psi (Sennett & Oram, 1911). La necesidad de economizar espacio y peso llevó al abandono de los motores de palanca lateral, a pesar de su mayor fiabilidad, en favor de los motores directos. Entre estos, el motor de cilindro doble y el motor oscilante se alzaron como diseños prominentes. El motor oscilante, en particular, optimizó el uso del espacio y se convirtió en una elección predominante para los buques con ruedas de paletas. La navegación a vapor se consolidó gracias a mejoras en la mecanización y la eficiencia, lo que permitió el desarrollo de potencias progresivamente mayores y una mayor autonomía. Esta era estuvo marcada por desafíos técnicos, como el uso de agua de mar en las calderas de los barcos, el cual causaba corrosión e incrustaciones, y riesgos de explosiones debido a equipos de control inadecuados (Leira Placer, 1991). Aunque sirviese de preludio de la posterior dominación de la propulsión mecánica, el diseño de buques de vela continuó y se mantuvo como preferido durante la primera mitad del siglo XIX.

La tecnología de vela llegó a su esplendor en el siglo XIX, antes de su obsolescencia debido a innovaciones técnicas como la rueda de paletas movida por vapor, la cual finalmente fue reemplazada por la hélice en 1845.

6.6.1. Artillería, avances y consecuencias

La introducción de la artillería en los barcos de vapor marcó una revolución en la navegación y en la guerra naval durante el siglo XIX. A comienzos de la década de 1830, la familia **Laird** de *Liverpool* tuvo una labor fundamental en el desarrollo de los buques de vapor de hierro. **John Laird** (1805-1874) destacó por sus innovaciones, creando vapores de paletas como el **Lady Lansdowne** (1833) y el **John Randolph**[234] (1834). Sin embargo, fue el **Alburkah** (1832) de *Macgregor Laird*, el primer vapor de hierro que navegó exitosamente al extranjero, el que probó la viabilidad de estos barcos para viajes oceánicos largos. Inició su viaje en 1832 desde *Milford Haven* hasta el río Níger, el **Alburkah** abrió rutas comerciales hacia África, aunque debido a la peligrosidad del viaje, muchos miembros de la tripulación no sobrevivieron. A finales de 1830, **John Laird** continuó innovando,

[234] Primer éxito comercial del buque de vapor de hierro en el comercio estadounidense. Es destacable que fue prefabricado, Birkenhead, Inglaterra, para Gazaway B. Lamar de Savannah, para luego ser enviado en segmentos y ensamblado.

diseñando buques armados de hierro para la Compañía de las Indias Orientales y otros destinados a la exploración de ríos. El **Nemesis**, botado en 1839, fue un hito como el primer barco de vapor de hierro armado con cañones. Paralelamente, *Macgregor Laird* contribuyó al establecimiento de la *British and American Steam Navigation Company*, promoviendo los viajes transatlánticos a vapor. En España, el vapor **Isabel II**, que previamente había navegado bajo pabellón británico, es armado en 1834 y usado en combate cinco años después en el bombardeo de Zarauz.

La evolución del armamento naval había comenzado ya en el siglo XVIII con la Marina Británica a la vanguardia, incorporando mecanismos de retroceso avanzados y llaves de chispa para aumentar la precisión y potencia de disparo de los cañones. En el siglo XIX, la introducción del fulminato de mercurio mejoró aún más la eficiencia de disparo. A pesar de estos avances, los cañones de ánima lisa seguían teniendo una precisión limitada, lo que llevó al resurgimiento de los cañones de ánima rayada y de retrocarga, que ofrecían una mayor velocidad y precisión.

La efectividad de los cañones mejorados se manifestó claramente en la guerra de Crimea, que resaltó la importancia de adoptar la tecnología de ánima rayada. Esto, junto con la necesidad de mejorar la calidad de la pólvora para soportar mayores presiones y aumentar el alcance, fue un punto de inflexión. Además, el siglo XIX vio el cambio de balas de cañón sólidas a proyectiles explosivos, una innovación liderada por **Henri-Joseph Paixhans** (1783-1854). Estos proyectiles explosivos, que se comenzaron a utilizar en operaciones navales en la década de 1830, aumentaron significativamente el poder destructivo de los cañones. El uso devastador de estas armas se evidenció en 1853 en la destrucción de una escuadra turca por los rusos en *Sinop*, lo que impulsó el interés global en cañones de proyectiles explosivos. La incorporación de estos cañones en las grandes fragatas de vapor transformó las estrategias navales, convirtiéndolas en los buques capitales de su tiempo, hasta la aparición de los acorazados.

Finalmente, los avances en metalurgia permitieron la creación de cañones de hierro forjado y, posteriormente, de acero, capaces de soportar cargas de pólvora mayores así como presiones internas más elevadas. Estos desarrollos sentaron las bases para futuras innovaciones en la guerra naval.

6.7. Estrategia Naval y la aparición de buques de transporte de tropas

Habiendo aparecido a finales del siglo XVI, los buques *armé en flûte* o filibotes[235], eran barcos holandeses dedicados al transporte que maximizaban el espacio de carga y el movimiento de la tripulación. Por tanto, no existía casi armamento ni tenían capacidad de ser convertidos en buques de guerra. En el siglo XVIII, esta denominación se emplea para la transformación de navíos de línea asignados al transporte de tropas. La Armada Británica, que hasta dicha centuria había dependido de buques mercantes fletados con las consiguientes demoras y desafíos logísticos, en la década de 1790 completa una fuerza de buques de transporte de tropas procedente de antiguas clases de dos cubiertas, buques capturados, *East Indiamen* y navíos de tercera clase (Rodger, 2006). A estos buques se les retiraban las baterías inferiores, aumentando así el espacio para la tropa embarcada; de esta manera se habilitaron buques de transporte de carga, que ahora llamaríamos logísticos. En Francia esa práctica ya estaba extendida y llevaba el nombre de *armé en flûte* anteriormente mencionada.

En 1812, Estados Unidos declaró la guerra a Gran Bretaña a causa de las restricciones comerciales, el apresamiento de marineros estadounidenses y sus ambiciones territoriales. Aunque la Armada estadounidense cosechó éxitos al principio, la concentración británica en las guerras napoleónicas permitió las victorias estadounidenses. Estos emplearon fragatas y balandras muy similares a sus contemporáneos británicos.

A modo de breve análisis desde la aparición de las marinas de estado del siglo XVII, es posible extraer las siguientes conclusiones: la verdadera medida de la excelencia de la construcción naval reside en su adecuación a los fines perseguidos y que el juicio estratégico, a la hora de determinar las funciones de una armada, es más importante que la habilidad técnica de los diseñadores. Desde la década de 1760, el éxito de los buques británicos no se debió únicamente a sus excelentes diseños, sino a que lograron una alineación equilibrada entre sus necesidades estratégicas y los buques construidos para satisfacerlas[236]. Por contra, Francia y España construyeron barcos con excelentes cualidades, pero sus gobiernos comprometieron a sus armadas en conflictos bélicos para los cuales se hallaban inadecuadamente

[235] Del holandés Vlieboot.

[236] Para lograr ese éxito, a la construcción naval hay que sumarle la organización, la formación y la disciplina naval promovida más de un siglo antes por el administrador naval Samuel Pepys.

preparadas y no cumplían sus objetivos estratégicos, como pudiese ser la guerra anglo-española (1804-1809) (Rodger, 2006).

Las cañoneras representaban un ejemplo original, aunque de un éxito más discutible, de la flota estadounidense de la época, ya que respondían a motivaciones políticas más que a un criterio profesional. En opinión del presidente **Thomas Jefferson** (1743-1826), los ejércitos y las armadas eran influencias corruptoras y, en consecuencia, consideraba que las cañoneras eran la única defensa válida (Smith G. , 1995). A pesar de no ser adecuadas para el combate en aguas profundas, sí eran buques útiles para la defensa local combinadas con una batería de costa.

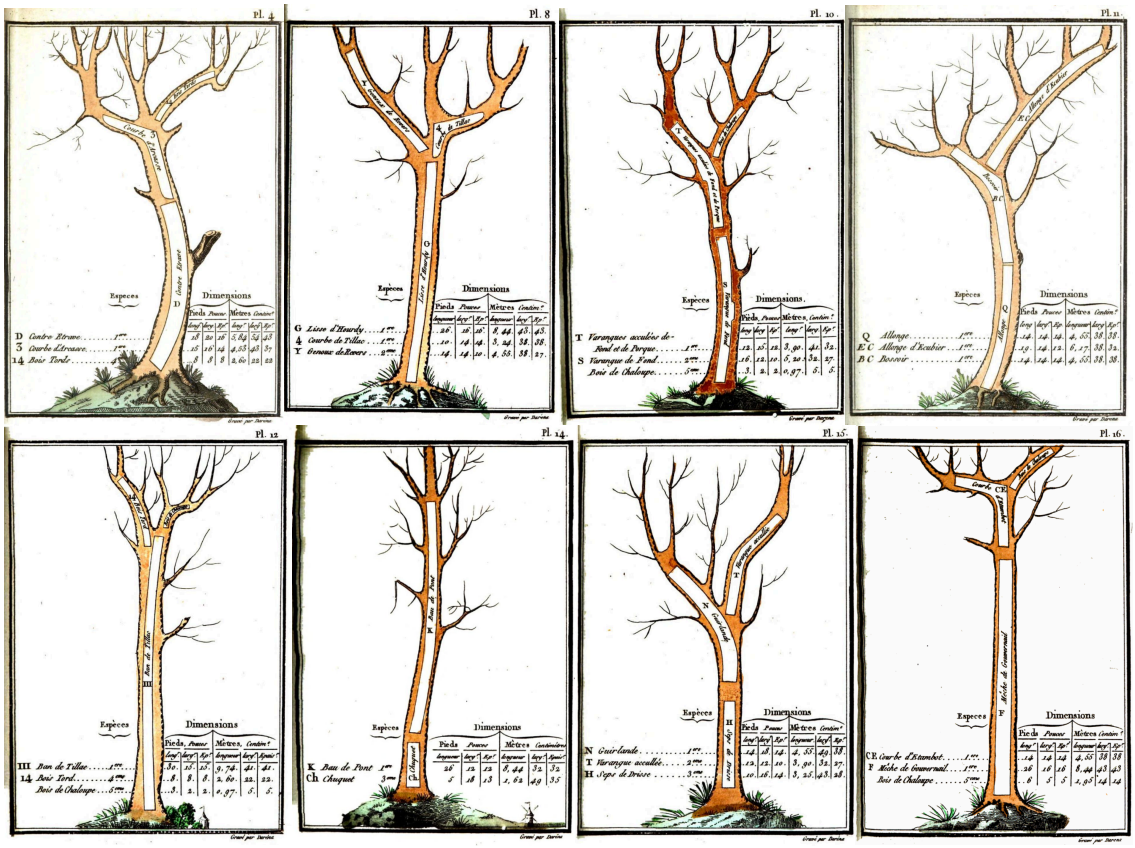


Figura 6.4: Especies de árboles con sus características y piezas de barco a extraer (Goujon, 1803)

La madera continúa siendo un elemento fundamental de la construcción naval a comienzos del siglo XIX. Entre las obras notables, se encuentra *Des bois propres aux constructions navales* publicada en 1803 por el político francés **Louis Joseph Marie Goujon** (1746-1826); consiste en un tratado que se centra en los tipos de madera utilizados en la construcción de buques. Por tanto, examina las diferentes especies arbóreas, su ubicación y su disponibilidad, así como las características y propiedades de cada tipo de madera (Figura 6.4).

También la gestión de los bosques continúa siendo objeto de debate debido a la persistente escasez de madera. En el Reino Unido dicha exigüidad se trata en el *House of Commons 1792*, en cuyas sesiones hay un debate sobre la gestión de bosques y las aportaciones de **Snodgrass** (House of Commons, 1792).

6.8. Política de adquisiciones estratégicas y el Blasco de Garay

A pesar de las condiciones políticas, económicas y tecnológicas, España no es completamente ajena al desarrollo tecnológico naval. El vapor en la propulsión naval ya estaba siendo introducido en la Marina Mercante por constructores como los Talleres Nuevo Vulcano de Barcelona; iniciada su actividad en 1826 y en 1836 construyen el vapor **Delfín**. Las máquinas de vapor no eran desconocidas en las infraestructuras navales, pues existían bombas de achique operadas por esa tecnología desde finales del siglo XVIII. Otras industrias, como la del ferrocarril, comienzan a despertar, Cuba se convierte en 1837 en el primer territorio español en establecer una línea de ferrocarril, la línea Habana-Güines, teniendo que esperar 11 años a las peninsulares de Barcelona-Mataró y Madrid-Aranjuez en 1848. Cuba es también pionera en el empleo de barcos de vapor, la línea La Habana y Matanzas se erige como la primera línea española en el empleo de esta nueva forma de propulsión. Esta fue inicialmente servida por el vapor **Neptuno** desde 1819, al que, tras cinco años, se sumaron otros tres vapores para cubrir la comunicación entre la Bahía Honda, La Habana y Matanzas. Existe un precedente peninsular con el vapor **Real Fernando** (1817) que daba servicio de pasajeros entre Sevilla y Sanlúcar de Barrameda y era de construcción nacional con la máquina y caldera importada de Inglaterra (Figura 6.5). Su duración fue efímera, pues al año siguiente de su botadura fue retirado.

Mientras que la Armada Británica, fuerte tras su victoria en Trafalgar, comenzó a incorporar vapores en su Real Armada desde 1820, su homólogo español mostró una desconcertante incapacidad de introducir esta nueva tecnología. Respondiendo a la iniciativa del ingeniero **Vicente Rocafuerte**, las Cortes de 1820 aprueban la construcción de un vapor de guerra, que nunca se materializa por falta de fondos y por el retraso industrial de España. Consecuentemente, perdió la oportunidad de sumarse al desarrollo tecnológico que estaba redefiniendo la construcción naval de principios de siglo XIX.

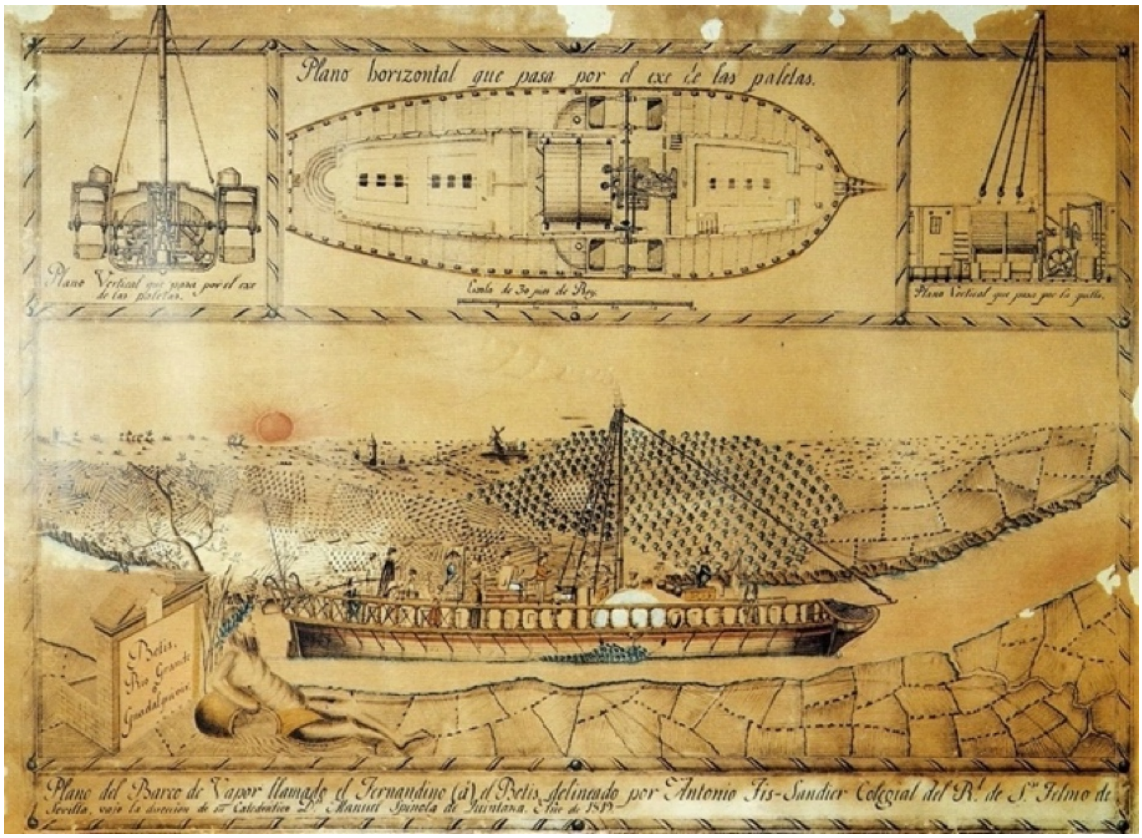


Figura 6.5: Vapor Real Fernando. Fuente: Museo Naval de la Torre del Oro de Sevilla

En el ámbito de reorganización de la política naval sí hubo cambios significativos. En un primer momento, se trató de emular el modelo británico en los asuntos de Marina, la cual en 1815 proponía cinco secciones especializadas dependientes de Almirantazgo, pero su funcionamiento se vio obstaculizado por la escasez de fondos, exacerbada por las guerras de independencia en América. Las ordenanzas introducidas en 1816 para modernizar la Marina fueron rápidamente derogadas debido a su falta de preparación, volviendo a las normativas anteriores. Los esfuerzos de **José Vázquez de Figueroa** (1770-1855) por revitalizar los arsenales fueron significativos, pero la precariedad financiera limitó severamente estas iniciativas, dejando a la Armada con una flota mínima y en condiciones precarias. Esto también afectó a la consideración de varios cuerpos profesionales, entre ellos el de ingenieros, cuya utilidad quedó cuestionada.

Nuevamente, tras la vuelta de **Fernando VII** en 1823, la Armada vuelve a ser objeto de reformas derivadas de intereses políticos. **Luis María de Salazar** (1758-1838), cuyo ambicioso plan naval tampoco prospera por escasez de recursos, disuelve el Almirantazgo en 1825, el cual es sustituido por la Real Junta Superior de Gobierno de la Real Armada tras su establecimiento en 1830. Entre sus acciones

cabe mencionar el fomento de la construcción naval privada y la Marina Mercante, la cual conduce al auge de las navieras españolas una década después.

En la década de 1830, la Armada Española atravesó una fase crítica, hubo de luchar contra infraestructuras deficientes y contra la escasez de personal. La emergencia de la guerra carlista (1833-1876) catalizó una modernización forzada, que se evidencia por la adquisición de vapores como el **Isabel II** (1834). Este marcó un hito al ser el primer buque de vapor con fines militares en España, aunque, como en el caso británico otras embarcaciones, como las dragas, pudiesen haber iniciado este legado (Anca Alamillo, 2010). Este avance simbolizaba el comienzo de la industrialización marítima del país, pese a que se trataba solo de un cambio incremental en una era de transformaciones significativas. A este vapor se le suman otros también de fabricación británica[237], que para 1844 aún no habían revertido la situación precaria de la Armada Española. Esta no se favorece de la inestabilidad política de la década Moderada (1844-1854) cuyos intereses políticos marginaron a la Marina debido a la concentración en conflictos terrestres y a la falta de interés nacional en asuntos marítimos.

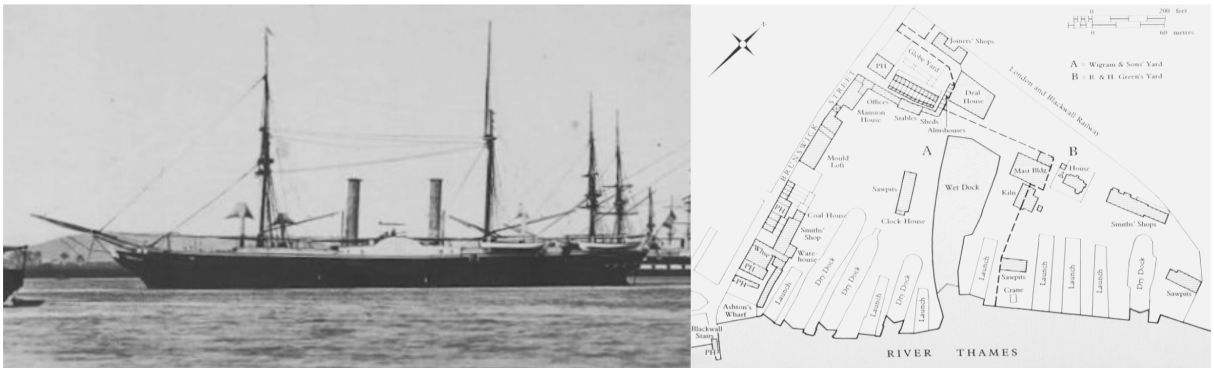


Figura 6.6: Blasco de Garay y Astillero de Wigram & Sons en 1843. Fuente: Historic Shipping y London County Council (1994)

No obstante, para paliar la escasez de navíos de guerra de vapor, la Marina Española comienza su proceso de adquisiciones con el **Blasco de Garay**, el cual era un vapor de guerra de 350 caballos cuya construcción, en 1845, fue realizada por *Money & H. L. Wigram* en *Blackwall*, Londres (Figura 6.6). Este astillero, con una larga tradición que comienza en 1614 y está íntimamente asociado con la historia de la Compañía de las Indias Orientales, construye, por tanto, el que se considera como el primer buque de guerra contratado en Reino Unido. Este hecho puede ser

[237] Para la construcción en Reino Unido se sugiere: Alfaro Zaforteza, C. (2012). Sea Power and Technology Transfer: The Spanish Navy and the Thames Shipyards, 1844-1850. En R. Owen, *Shipbuilding and Ships on the Thames: Proceedings of the Fourth Symposium* (pp. 97-109). London: Lavenham Press.

discutido por el descubrimiento del navío **Vittorio** (1716), siempre y cuando, pese al origen clandestino del buque saboyano, se haga la consideración. La supervisión de su construcción es asumida por **Casimiro Vigodet y Garnica** (1787-1872). En ese mismo año otro vapor, el **Alerta**, es construido en Pasajes, aunque su máquina sigue siendo extranjera. El retraso tecnológico de la industria y la Armada Española ya es evidente en este momento, por lo que este trabajo lo considera el inicio de la importación naval española, periodo que no se termina de superar hasta las últimas décadas del siglo XX.

> "La aplicación de la fuerza expansiva del vapor a la locomoción de los buques, inaugura una lucha sin tregua en la combinación de los diversos elementos que constituyen su fuerza militar, y su desenlace se escapa aún a los ingenios más previsores." (Togores, 1877)

7. El vapor importado: 1846-1898

Siguiendo esta política de renovación naval, a la llegada, en 1847, de **Mariano Roca de Togores** (1812-1889) como ministro de Marina se inicia la reorganización de la Armada y la adquisición de buques, lo que supone un intento de revitalizar la flota española; basada en la renovación de los cuerpos de la Armada, comenzó la construcción y adquisición de 39 buques de vela y vapor que contabilizaban 484 cañones. Sin embargo, ya no se podía recuperar la posición dominante que España había tenido en los mares en siglos anteriores. Esta época de cambios, pérdidas y esfuerzos por recuperarse dejó una profunda huella en la historia de España y en su relación con sus antiguos territorios americanos.

Como resultado del *Real Decreto* del 22 de marzo de 1847, la Marina recuperó su Ministerio independiente, cuyas necesidades no eran asumidas por la negligencia administrativa y descentralización del Ministerio de Comercio y Ultramar, el cual no tenía gran interés en los asuntos de marina y sufría de una acuciante inestabilidad política. En el contexto de la reestructuración naval que tuvo lugar en 1848, se restableció el Cuerpo de Ingenieros de la Armada, nuevamente con influencia francesa (Alfaro Zaforteza, 2020). Este reconstituido cuerpo se convirtió en un pilar fundamental para el desarrollo y fortalecimiento de la flota naval. Como parte de este proceso, surgió la iniciativa de establecer una Escuela en San Fernando, la cual, aunque no logró ponerse en funcionamiento hasta 1860, finalmente encontró su hogar en Ferrol. La Escuela continuó su labor formativa hasta 1885, cuando nuevamente se emitió la orden de su cierre. Las reformas, aunque significativas, no daban los frutos esperados que permitiesen a la Armada mantenerse al nivel de las demandas internacionales.

Los conflictos políticos continuaron entorpeciendo el desarrollo de la Marina, a pesar de la construcción de las fragatas de hélice y casco de madera **Berenguela** (1854) y **Blanca** (1859), construidas en Ferrol, y **Petronila** (1857) erigida en el arsenal de Cartagena. Las tres habían sido autorizadas por el **Marqués de Molins**[238] en 1853. La inestabilidad política de la Revolución de 1868 en España y

[238] Mariano Roca de Togores es el primer marqués de Molins. En 1892 un cañonero torpedero de la clase Temerario, que porta su nombre, es botado en Ferrol.

la del período subsiguiente obstaculizaron el desarrollo de la Marina, exacerbada por el avance acelerado de la tecnología naval y la falta de una estrategia unificada del periodo anterior. En este contexto, el brigadier **Juan Bautista Topete y Carballo** (1821-1885), figura central de la Marina durante el Sexenio Revolucionario, estableció una reforma notable: la creación de la Escuela Naval Flotante en 1871. Situada en la fragata **Asturias** (1857) en Ferrol, esta innovadora iniciativa buscaba cultivar habilidades marítimas en un entorno desafiante, misión que continuó hasta su cierre en 1907.

La ascensión al trono de **Alfonso XII** (1857-1885) en 1874 marcó el comienzo de una era de estabilidad política, que facilitó la reanudación de las labores de construcción y adquisición naval para fortalecer la Armada con nuevas unidades. Asimismo, se puso un énfasis especial en la mejora de las infraestructuras de los Arsenales. Un claro ejemplo de esta revitalización fue la inauguración en 1879 del Dique de la Campana en Ferrol. Este proyecto monumental fue supervisado por el Ingeniero **Andrés Comerma** (1842-1917) y, debido a sus impresionantes dimensiones, 145 metros de largo, 27 de ancho y 12 de profundidad, su finalización marcó un hito en términos de capacidad y de obra hidráulica española.

En consonancia con esta revitalización, tuvo lugar un episodio significativo con la adquisición del primer acorazado español, el acorazado **Pelayo**, en 1888. La construcción de esta formidable nave se llevó a cabo en los astilleros *Forges et Chantiers de la Mediterranée*, con labores de supervisión asignadas a **Miguel Rechea Hernández** (1856-1933). Aunque este imponente acorazado no participó en combates durante la guerra hispano-americana, su presencia marcó un hito en la modernización de la Armada Española. Este mismo año, un hito de ingeniería marítima y tecnología emergió con la botadura y pruebas del primer submarino de propulsión eléctrica. Diseñado por el visionario **Isaac Peral y Caballero** (1851-1895), este submarino incorporó innovaciones vanguardistas: entre ellas, un sistema de descarga de torpedos descollaba como una característica distintiva. Aunque este sistema fue sometido a pruebas exitosas, al final no se integró en las capacidades navales de España.

La *Ley de la Escuadra*, que podía haber aportado esa necesaria modernización de la Marina de Guerra, frustró los planes del ministro **Juan Bautista Antequera y Bobadilla** (1823-1890)[239], en parte por la oposición de **José María de Beránger**

[239] En su segundo mandato como ministro, crea, mediante Real orden de 23 de julio de 1877, la Revista General de Marina, publicación aún activa que sirve de referente profesional, histórico y cultural.

(1823-1907) y en parte por la inestabilidad política que nuevamente afectaba a España que en 1885 despedía al rey **Alfonso XII**.

En resumen, durante todo este período, la Marina Española se vio gravemente afectada por la inestabilidad política, la falta de visión a largo plazo y la ausencia de estrategias consistentes y modernas, lo que impidió su modernización y eficacia en un momento crítico de cambios tecnológicos y políticos globales. En este contexto, emerge la figura del ingeniero naval **Benito de Alzola y Minondo** (1840-1907). Este ilustre inspector de ingenieros de la Armada, que formó parte de la Junta de Reorganización de la Armada, analiza la situación de la construcción y de los armamentos navales, dando cuenta de las capacidades industriales de España y como ampliarlas. Para ello brinda testimonio en dos publicaciones que se consideran básicas para entender el trabajo de **Alzola**, *Estudio relativo a los recursos de que la industria nacional dispone para las construcciones y armamentos navales* de 1886 y *Las Primas a la Construcción Naval y la Navegación* de 1894. En este último, dirigido al proyecto de ley que debía pasar en los años posteriores, valora la primacía de la construcción naval en el Reino Unido y exhorta a que se siga un ejemplo similar a los estímulos navales de Francia e Italia incluyendo los derechos arancelarios. Aparte de los incentivos, se destaca la importancia de fomentar la enseñanza, lo que específicamente se refiere a clases elementales de "construcción naval y máquinas de vapor marina" (Alzola y Minondo, 1894) en los principales enclaves marítimos de España. Estos trabajos hacen evidente la complejidad de la economía marítima, pero aún más la necesidad de fomentar el desarrollo de la Marina Mercante mediante una política que protegiese los intereses nacionales mientras aunase el apoyo estatal y la autonomía industrial.

7.1. Contexto internacional

La Primera Revolución Industrial llegó a su fin en 1840 y marcó el inicio de una nueva fase: la Segunda Revolución Industrial. La transición entre estas dos épocas trajo consigo un cambio significativo en el panorama tecnológico y social. La Primera Revolución Industrial, con sus avances en maquinaria, producción y transporte, dejó una profunda impresión en la mentalidad colectiva. Inspiró la creencia en un mundo lleno de posibilidades ilimitadas. La ingeniería se encontraba en la vanguardia de este movimiento, puesto a que impulsaba el progreso tecnológico y abría horizontes anteriormente inexplorados. La sociedad

estaba imbuida de una sensación de potencial infinito y la convicción de que no existían límites para lo que podía lograrse.

Justo al comienzo de la Segunda Revolución Industrial, en 1869, la novela *20.000 leguas de viaje submarino*, del brillante **Julio Verne** (1828-1905) llegó a las manos del público. Esta obra literaria, además de ser un logro de la imaginación, encarnaba el sentimiento colectivo de una sociedad cargada de esperanza en los avances tecnológicos. La narrativa, brillantemente tejida, no solo exploraba las maravillas del viaje submarino, sino que también plasmaba una pasión compartida por la navegación y la aventura. El autor de esta obra maestra literaria, a través de su escritura, capturó la emoción de una sociedad que miraba hacia adelante con entusiasmo, anhelando descubrimientos y conquistas tecnológicas que pudieran superar incluso las maravillas de la Primera Revolución Industrial. Esta novela no solo trataba sobre la exploración de las profundidades marinas, sino que, así mismo, también simbolizaba la exploración de las posibilidades humanas y la confianza en la capacidad de la ingeniería para trascender barreras.

Sin embargo, los conflictos navales fueron un empuje inequívoco del progreso naval. Además, a nivel internacional, la guerra de Crimea (1853-1856) tuvo un impacto significativo en las flotas civiles francesas e inglesas[240], que requerían de la flota mercante[241] para el abastecimiento y el transporte de flotas. Esta coyuntura fue aprovechada por los norteamericanos, los cuales no estaban directamente involucrados en el conflicto. Esta década resultó de suma importancia para la construcción naval en Estados Unidos, notablemente: el astillero *William Cramp & Sons, Shipbuilding Company* construyó vapores como el **General Armero** (1852), al igual que otros seis barcos[242] para las flotas españolas (Buell, 1906).

La supremacía naval británica estuvo íntimamente ligada a su avanzado estado de la construcción de plantas propulsoras. **Charles H. Cramp** (1828-1913) destacaba que aunque la construcción del buque, refiriéndose al casco, en Nueva York estaba a la altura de cualquier otro centro, faltaba la formación en plantas propulsoras marinas (Buell, 1906). Esta carencia, indudablemente, lastró a todas las naciones marítimas que dependían de las importaciones británicas al no haber desarrollado

[240] En el caso británico, la empresa P&O Ships, fundada en 1837, tuvo un total de 9 buques requisados durante la guerra que transportaron aproximadamente 61.800 unidades y 15.000 caballos. Fuente: P&O Heritage.

[241] Estos incluyeron el famoso SS Great Britain (1843) de Isambard Kingdom Brunel.

[242] Siendo el Carolina, Cardenas, Comanditas, Alphonso, Union Maisi y Union No. 2. Las dos últimas unidades estuvieron involucradas en la guerra de secesión americana como se indica en la publicación *Official Records of the Union and Confederate Navies in the War of the Rebellion* (1894) pag 254.

a tiempo la capacidad y técnica para la propulsión mecánica mediante hélices. Cramp, en su artículo *American Shipbuilding and Commercial Supremacy*, resalta que, hasta 1860, los barcos propulsados a vela seguían constituyendo el tonelaje mayoritario de la flota norteamericana (Cramp, 1894).

Apoyándose en la creciente producción de hierro, la cual permitió tanto mejorar la calidad como la rentabilidad, aparecen los buques de hierro. En Inglaterra, **Warrior** (1860) ejemplifica ese uso generalizado de un material que otrora había sido relegado a un uso accesorio.

La llegada de la propulsión a vapor requería de una plataforma estable que soportara la maquinaria, las calderas y los ejes, por lo que se hacía preciso un casco rígido reforzado con hierro. Por tanto, la experimentación en los usos del hierro desde el siglo XVII presenta, como consecuencia imprevista, la resistencia estructural necesaria.

7.1.1. La guerra de Crimea y de secesión americana: del nacimiento al uso de los buques blindados

Con el desarrollo de la artillería del siglo XIX, el cual permite la producción de cañones más potentes y proyectiles explosivos, las armadas recurren al hierro forjado como método de protección. De esta forma, aparecen los primeros buques blindados precipitados por la guerra de Crimea. La evolución fue rápida, desde las baterías francesas y británicas de 1855, sólo faltaron cinco años para ver la luz el buque de guerra blindado oceánico con **Gloire** (1860) que despertó la competencia internacional cuya respuesta británica se dio el mismo año con el **Warrior**, de mayor eslora y armamento.

La guerra Civil Americana, acontecida entre 1861 y 1865, no solo fue un conflicto que definió el futuro estadounidense en términos sociales y políticos, sino que también fue un campo de pruebas para avances tecnológicos y estratégicos en la guerra naval. En este conflicto, el uso del poder naval quedó evidenciado con el *Plan Anaconda* del general **Winfield Scott** (1786-1866), con el objetivo de establecer un bloqueo efectivo y sostener las operaciones navales; la Marina de la Unión experimentó una expansión masiva y, a su vez, apoyó a las fuerzas federales terrestres (Figura 7.1). El control de los ríos, especialmente del *Mississippi* permitieron controlar el suministro y facilitaron operaciones militares estratégicas, lo cual despertó el interés en desarrollar nuevas tácticas y tecnologías navales. Entre las más novedosas se encontraba el uso exitoso pero trágico del

sumergible **H. L. Hunley**; no obstante, lo más reseñable se encuentra en el enfrentamiento entre dos buques blindados. De alguna manera, a pesar de que el duelo histórico en *Hampton Roads* (1862) entre el **USS Monitor** y el **CSS Virginia**, botados el mismo año de ese enfrentamiento, no tuviese un claro vencedor, sí tuvo una derrota indirecta, la supremacía de los barcos de madera, debido a que esta batalla demostró la efectividad de los blindajes de hierro y prefiguró el futuro de la guerra naval. Su repercusión resultó llamativa, dado que desencadenó adaptaciones en potencias navales extranjeras, como la incorporación en semanas de torretas y blindajes. Durante el transcurso de la guerra, la unión solicitó la construcción de esta tipología de buques, optimizados para operaciones costeras y fluviales debido a su bajo francobordo. Aunque la Confederación intentó seguir el ritmo, la falta de recursos significó que muchos de sus buques blindados nunca se completaran o fueran destruidos para evitar su captura.

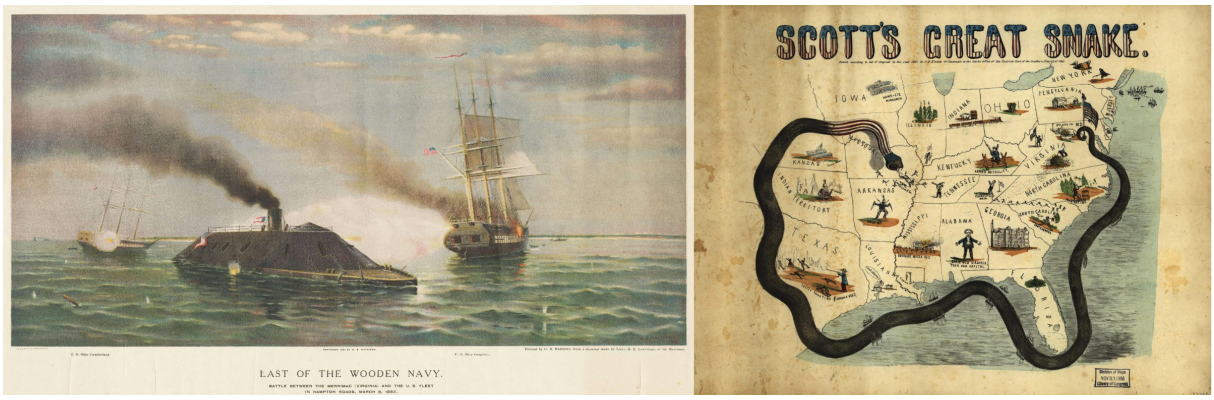


Figura 7.1: Cromolitografía de titulada *Last of the Wooden Navy* y Caricatura del *Plan Anaconda*. Fuente: The American Civil War Museum y Library of Congress

Es la introducción del hierro, del acero y la propulsión mecánica en el siglo XIX la que precipita una verdadera transformación de los materiales de construcción.

7.2. España y la madera blindada

A mediados del siglo XIX, la Marina Española experimentó una evolución tecnológica significativa, marcando un período de transición del uso de barcos de vela a embarcaciones impulsadas por vapor y hierro. En 1856, la flota se modernizó con 32 vapores de ruedas y 10 de hélice, ambos constituían el 45% de su fuerza. Un hito clave fue la goleta **Santa Teresa**, botada en 1858, el primer barco con hélice construido en España.

Esta era también reflejó la dependencia de España respecto a la ingeniería extranjera, ejemplificada por las adquisiciones de embarcaciones procedentes de

Inglaterra. Bajo la ley de 1859, se compraron varios barcos, incluidos cuatro goletas y ocho vapores para diversos propósitos. Mientras tanto, la innovación local surgió con el desarrollo del **Ictíneo** (1859) a cargo de **Narciso Monturiol** (1819-1885), un submarino inicialmente diseñado para la pesca de coral, pero con potencial militar. A pesar de su éxito técnico, **Monturiol** se enfrentó a desafíos financieros y políticos, lo cual limitó su impacto en la Armada.

La época también fue testigo de la introducción de corazas en los buques, una respuesta a las innovaciones en artillería y torpedos. Este cambio en la protección de los cascos impulsó el desarrollo de nuevos tipos de embarcaciones de guerra, como los torpederos y los destructores, surgidos en las últimas décadas del siglo.

La participación de España en conflictos, como las guerras en África, catalizó la modernización naval. La necesidad de barcos acorazados condujo a la construcción de la fragata **Tetuán** en Ferrol en 1862, seguida por la adquisición de la **Numancia** originaria de Francia.

El empleo de la madera en la construcción naval estuvo vigente hasta el final del siglo XIX, son testimonio de este uso fragatas de madera y blindadas. Cuya relación de madera empleada es accesible. Sirva de ejemplo la obtenida para la fragata de hélice **Gerona** (1865), de vapor y casco de madera, cuyo desglose aparece en el *Tratado de Maderas de Construcción Civil y Naval* (Plá y Rave, 1880). Se trataba de una fragata de 81 metros de eslora y 3.980 toneladas de desplazamiento (Tabla 7.1).

Tabla 7.1: Relación de maderas de la fragata Gerona (1865). Fuente: Plá y Rave (1880)

Fragata Gerona (1865)		
Especie de Madera	**Nº Piezas**	**Volúmen (m^3)**
Roble	2.685	2.148,71
Olmo	372	268,94
Pino blanco	1.233	486,13
Pino tea	2.217	1.184,25
Pino de Segura	26	237,44
Pino de Júcar	19	27,69
Teca	185	271,53
Macho de olmo	1.947	-

En el marco del desarrollo de las capacidades submarinas, cuyos primeros pasos deben ser agradecidos al ingenio español, existe un cambio de planteamiento y de capacidades en pocas décadas.

El submarino propuesto por **Monturiol**, el **Ictíneo**, pese a su alcance limitado y baja velocidad debido a la propulsión humana, demostró la capacidad submarina, aunque no comercial, y le impulsa a crear la compañía La Navegación Submarina. A este se le sumó el **Ictíneo II** (1864) que tampoco tuvo acogida, y estaba construido en madera de olivo (cuadernas) y roble (tracas), al que se incluía una capa de cobre de dos milímetros de espesor y unas varengas de bronce (Fernández González, 2007). Mientras que la propuesta de **Monturiol** era de madera y vapor, **Isaac Peral y Caballero** construye y ensaya un torpedero submarino (1888) y le aplica dos de las novedades del siglo XIX: la construcción del casco en acero y la propulsión eléctrica[243].

A pesar de estos avances, proyectos innovadores como el submarino armado propuesto por **Monturiol** no recibieron el apoyo necesario, una situación repetida con el submarino de **Isaac Peral** en décadas posteriores.

7.3. Supremacía Naval desde los materiales de construcción

Entre 1840 y 1860 se produjo un cambio significativo en la construcción naval, que marcó la fase inicial de la transición de la madera al metal. Esta transición alcanzó su culminación hacia 1880, cuando las principales naciones comerciales redujeron drásticamente la construcción de buques de madera.

La dependencia de Inglaterra de la madera para la construcción naval había sido integral durante siglos, pero en 1840, sus reservas nacionales de madera se habían agotado. Una parte considerable de la madera utilizada en los astilleros británicos ya era importada, procedente de diversas regiones como España, India, el Báltico, Escandinavia, África y Norteamérica. Esta dependencia de la madera extranjera resultaba incompatible con el deseo de Inglaterra de mantener la supremacía (Cramp, 1894). A medida que menguaban los recursos madereros, crecía el protagonismo de la producción de metales, lo que dio lugar así a la era de los barcos de hierro.

En la segunda mitad del siglo se produjo una notable transformación: la flota británica de vapor evolucionó hasta abarcar buques comerciales y militares; contribuyó así a una expansión sin precedentes del comercio, de la riqueza y de la influencia británicos.

[243] En el segundo tercio del siglo XIX, Moritz Hermann Jacobi (1801-1874) ensaya exitosamente su motor eléctrico en una demostración en el río Nevá. Cuatro años antes, en 1834, había compartido sus logros científicos en la Academia de Ciencias de París.

7.3.1. De la madera al hierro

La madera deja de ser viable para la construcción de grandes buques y da paso a los barcos como el **SS Great Eastern** (1858) en la construcción civil, y al nacimiento de los *Ironclad* en la flota militar. Los metales pasan de ser materiales "complementarios" a ser estructurales, cambio facilitado por el desarrollo de la metalurgia durante la Revolución Industrial y alimentado por los canales (Pérez-Martínez & Pérez Fernández, 2021). Hasta principios del siglo XVIII, los elementos de hierro necesarios para los barcos construidos en las colonias americanas eran traídos desde Inglaterra (Buell, 1906).

La construcción en madera o derivados vegetales son, sin lugar a duda, los más presentes a lo largo de la historia de la construcción naval, aunque no siempre en un formato más "puro", están presentes en diferentes versiones compuestas como alternativas a la madera natural, ya sea: contrachapado, conglomerado o laminado metálico.

Principalmente, el empleo de hierro y acero, y de posteriores materiales, proporcionó una mejor compartimentación, un cambio en el diseño estructural[244] y una menor necesidad de mantenimiento. Esto último resulta relevante en áreas dónde las condiciones higiénicas son de gran importancia. Antes que en los cascos, los barriles de agua dulce habían sido sustituidos por tanques de hierro. Los barriles eran susceptibles de putrefacción, especialmente en lugares con poca ventilación o si eran pintados y almacenados en las cubiertas inferiores. No obstante, la madera continúa siendo la opción para almacenar comestibles como las galletas debido a su capacidad para absorber la humedad (Stevens, 1859). Inicialmente los tanques de agua podían ser fijos o móviles, los fijos destinados a la tripulación y situados en crujía y los móviles[245] podían ser temporales y ser desembarcados para su venta, como matiza **Robert White Stevens** en su obra anteriormente citada *On the stowage of ships and their cargoes*. La influencia magnética, aludida en la introducción, fue objeto de estudio al experimentarse su influencia por el uso de tanques de hierro.

7.3.1.1. Desarrollo

La flotabilidad natural de la madera junto con la experiencia adquirida durante milenios son las razones principales de la lenta adaptación de otros materiales de

[244] Incluyendo la aparición de la estructura longitudinal.
[245] Tanques de 400 Galones (1810 litros), en cubos de 4 pies.

construcción para la construcción de buques. En una industria tan enraizada en sus tradiciones, tal vez por verse sometida a la merced de los elementos, el incremento de eslora y la introducción de la propulsión mecánica forzaron la lenta adaptación del hierro, y, posteriormente, del acero, en la construcción de los cascos. Los esfuerzos, especialmente los momentos flectores, incrementan con la eslora y hacen poco práctico el uso de la madera debido al adicional refuerzo y cantidad de material, con el subsecuente coste y peso. En estos crecientes requisitos estructurales era menester incluir los derivados del empleo de las máquinas de vapor, los cuales se hicieron progresivamente más evidentes con el incremento de la potencia que desarrollaban y la sustitución de la rueda de paletas por las hélices, que tenían una especial influencia en elementos como el codaste. Este último construido en una sola pieza con la finalidad de limitar el efecto de las vibraciones y tensiones, al demostrarse inviable su construcción mediante planchas remachadas (Reed, 2011) proceso que hubiese sido menos complejo que el proceso de forja. No obstante, buques como el de exploración polar **Fram** (1892)[246] continuaron empleando codastes de roble, aunque con tirantes de hierro que brindaban una mayor resistencia. La Figura 7.2 muestra el buque **Fram** en el museo homónimo y un modelo realizado por **Colin Archer** que muestra los refuerzos del codaste.

Figura 7.2: Buque Fram y Modelo. Fuente: Autor

Para esta introducción gradual de los cascos de hierro y acero existieron algunas objeciones, fruto de la ignorancia del tratamiento del material como de la arquitectura naval. Entre ellas se encontraba la densidad del hierro, 7874 kg/m^3 frente a 710 kg/m^3 del roble[247], que no muestra flotabilidad natural. Estas dudas

[246] El barco de exploración polar que realizó tres importantes expediciones. Estas fueron dirigidas por Fridtjof Nansen 1893-96, Otto Sverdrup 1898-1902 y Roald Amundsen 1910-12.

[247] Densidad normal del Quercus robur. Este valor puede oscilar entre 670-760 kg/m^3.

quedaron pronto descartadas al lograr cascos y estructuras de menor peso que sus equivalentes en madera. Otras se reducían a la facilidad para desarrollar incrustaciones marinas o "caracolillo" en la obra viva, la cual se corrige con un apropiado mantenimiento o con el magnetismo. El efecto del magnetismo por elementos de hierro en el buque ya había sido identificado previamente a la aparición de los buques blindados; al emplearse en tanques de agua dulce y curvas, entre otros[248], para minimizarlo se requería compensar la aguja magnética. Esto se lograba con una "placa correctora" (Barlow, 1824), como propuso **Peter Barlow** (1776-1862) en los experimentos[249] que le garantizaron el *Fellowship* en la *Royal Society* (1823) y la medalla *Copley* (1825) de la misma sociedad (Figura 7.3). La fragilidad del hierro era otro aspecto sobre el que se apoyaron sus detractores que, a pesar de no ser una razón convincente para la preferencia de la madera sobre este, si justificó su posterior sustitución por el acero.

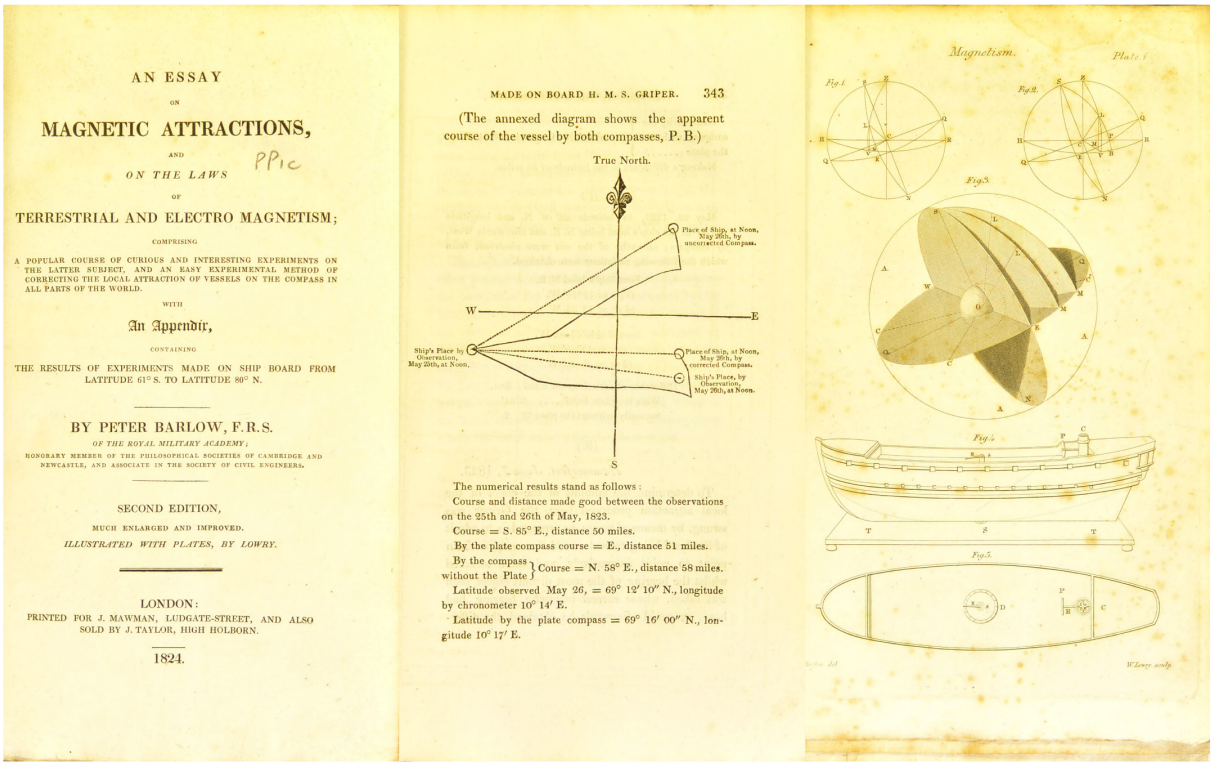
La sociedad de clasificación *Lloyd's Register,* caracterizada por una actitud prudente frente a la innovación, posiblemente derivada de su reducción del riesgo a su reputación, no permitieron la clasificación de buques de hierro hasta 1867, debido a esa especulada fragilidad (Harris C. , 2019), año del establecimiento de la sociedad de clasificación alemana *Germanischer Lloyd*.

La superioridad del acero en la construcción naval se impuso a la madera; esta última sólo vio su uso en embarcaciones de pequeño porte, desde mediados del siglo XIX. No obstante, tuvo una gradual adaptación gracias a su baja fiabilidad (Thearle, 1910). Esta no se materializó hasta que el proceso *Bessemer*[250], que permitió una notable reducción del precio del acero, no fue sustituido por el proceso *Siemens-Martin*, que era menos dependiente de las propiedades del arrabio requerido para la producción del acero. Esos problemas de fiabilidad permitieron el reemplazo del hierro forjado en chapas, planchas y otros elementos como remaches.

[248] Los cables de hierro comenzaron a sustituir a las cuerdas de cáñamo; los cabestrantes, las guías y las planchas se construyeron en hierro, aunque su efecto era variado, dependiendo de su masa y localización.

[249] Algunos experimentos se realizaron en colaboración con el matemático Samuel Hunter Christie (1784-1865).

[250] Creado por Henry Bessemer (1813-1898), requería de un cuidado extremo para evitar fallos catastróficos debido a la fragilidad del acero resultante. También la necesidad de usar arrabio bajo en fósforo y azufre reducían considerablemente la disponibilidad, al igual que elevaban el precio de este. Esas limitaciones se trataron de resolver empleando el convertidor Thomas en las regiones que no disponían de arrabio bajo en fósforo.



AN ESSAY
ON
MAGNETIC ATTRACTIONS,
AND
ON THE LAWS
OF
TERRESTRIAL AND ELECTRO MAGNETISM;
COMPRISING
A POPULAR COURSE OF CURIOUS AND INTERESTING EXPERIMENTS ON THE LATTER SUBJECT, AND AN EASY EXPERIMENTAL METHOD OF CORRECTING THE LOCAL ATTRACTION OF VESSELS ON THE COMPASS IN ALL PARTS OF THE WORLD.
WITH
An Appendix,
CONTAINING
THE RESULTS OF EXPERIMENTS MADE ON SHIP BOARD FROM LATITUDE 61° S. TO LATITUDE 80° N.
BY PETER BARLOW, F.R.S.
OF THE ROYAL MILITARY ACADEMY;
HONORARY MEMBER OF THE PHILOSOPHICAL SOCIETIES OF CAMBRIDGE AND NEWCASTLE, AND ASSOCIATE IN THE SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS.
SECOND EDITION,
MUCH ENLARGED AND IMPROVED.
ILLUSTRATED WITH PLATES, BY LOWRY.
LONDON:
PRINTED FOR J. MAWMAN, LUDGATE-STREET, AND ALSO SOLD BY J. TAYLOR, HIGH HOLBORN.
1824.

MADE ON BOARD H. M. S. GRIPER. 343

(The annexed diagram shows the apparent course of the vessel by both compasses, P. B.)

The numerical results stand as follows:
Course and distance made good between the observations on the 25th and 26th of May, 1823.
Course = S. 85° E., distance 50 miles.
By the plate compass course = E., distance 51 miles.
By the compass without the Plate } Course = N. 58° E., distance 58 miles.
Latitude observed May 26, = 69° 12′ 10″ N., longitude by chronometer 10° 14′ E.
Latitude by the plate compass = 69° 16′ 00″ N., longitude 10° 17′ E.

Figura 7.3: *An essay on magnetic attractions.* Barlow (1824). Fuente: Wellcome Collection

Los primeros barcos con casco de hierro fueron construidos en el segundo tercio del siglo XIX; existían, no obstante, ejemplos anteriores como las barcazas de **Wilkinson**[251] designados al uso en los ríos y en los recientes canales. La utilización de hierro para estas barcazas no estaría justificada en la falta de madera, al no emplearse en estas ni la calidad ni el tamaño de las piezas destinadas para las naves de mayor porte[252]. También formaban parte de otra red de constructores ajenos a los grandes astilleros. Resulta notable la coincidencia con la llamada "Canal Mania", la cual, sin lugar a dudas, trajo un notable incremento en la demanda de barcazas. A pesar de ello, el uso de hierro podía considerarse experimental, se buscaba demostrar la viabilidad y la técnica de los fabricantes de hierro más que el reemplazo de los barcos existentes que vendría una vez se demostró su superioridad. Esto puede encontrar su justificación en otros ejemplos de la época como el experimento con un paquebote por parte del constructor naval **Stalkouth**, con el fondo de cobre. Este barco consiguió reducir a 5/8 el

[251] El empresario industrial John Wilkinson (1728-1808) hizo su fortuna como fabricante de armas durante la guerra de los siete años. Comúnmente se considera el constructor de los primeros barcos en hierro. Aun así, existen testimonios de anteriores como el de *The Gentleman's Magazine*, Volume 47, 1777, p.244., aunque es importante mencionar que tenía una eslora de 12 pies frente a los 70 pies que salieron de los talleres de Wilkinson, que, a su vez, es una limitación propia de los canales que continúa en la actualidad.

[252] Las maderas más comunes eran el roble y el olmo, favorecidas por sus propiedades mecánicas y su resistencia a la humedad. Siendo el olmo favorecido para su empleo en el fondo de las barcazas.

escantillonado de las cuadernas, con un espesor de las chapas de cobre de 1/8 de pulgada de lo que se dio noticia en *The Scots Magazine (1787)*[253]. El uso del hierro manifestó una ventaja significativa en la navegación fluvial al reducir el calado de los barcos que es una dimensión limitante en los canales. Un menor calado significaba una mayor capacidad de carga de las barcazas, muy restringidas por ese valor, que aumentó significativamente con la introducción de la laminación. Con 63 pies de eslora, el barco de pasaje **Vulcan** fue concebido en 1819 con una construcción semejante a las calderas de la época[254]. Como era común en la navegación de los canales, no era autopropulsado, si no era arrastrado por caballos. El **SS Great Britain**, botado en 1843, se alza como el primer barco de casco de hierro y hélice del mundo. En España, es el **General Armero** (1852) el primer buque de hélice, perteneciente a Antonio López y Hermano y construido por la reputada *William Cramp & Sons, Shipbuilding Company* como **Hull 58-Passenger Steamer** (Farr & Bostwick, 1991). Teniendo que esperar hasta 1857 que el carguero **Jovellanos** se construyese en los astilleros de *Scott John & Co.* (Yard 50) en Escocia para *Peebles W.& J.* y es entregado a la sociedad española J. Alvargonzález y Compañía para que operase un barco de hierro y hélice bajo pabellón nacional.

Hubo que esperar hasta la década de 1880 que se comenzaran a construir los primeros barcos de hierro en España. El crucero **Infanta Isabel**, botado en 1885 en el Astillero de La Carraca, se convierte en el primero de su clase, los anteriores se habían construido en *Blackwall* por la *Thames Ironworks Co. Ltd.*, aunque la planta propulsora continúa siendo de fabricación británica[255]. El sector naval privado, a lo largo del siglo XIX estuvo inmerso en un proceso de adquisición en los Arsenales, tuvo gran influencia fue patente en localidades como Ferrol al ser considerablemente dependientes de las políticas navales (Lindoso Tato, 2006). En ella nacieron dos de las sociedades constituidas con algunos de los mayores capitales[256] de esa centuria: Industria Española (1885) y Vila y Cía. (1890). Los

[253] Este menciona el experimento de Stalkouth con chapas de cobre remachadas y señala que existe uno anterior en hierro navegando en el *Birmingham Canal* construido en Shropshire, al no ofrecer más información podría ser el *Calcutts Ironworks*. También indica que podría recibir apoyo del gobierno de resultar un experimento exitoso. Ver página 407 de The Scots Magazine, Volúmen 49 de 1787 (Londres 9 de agosto).

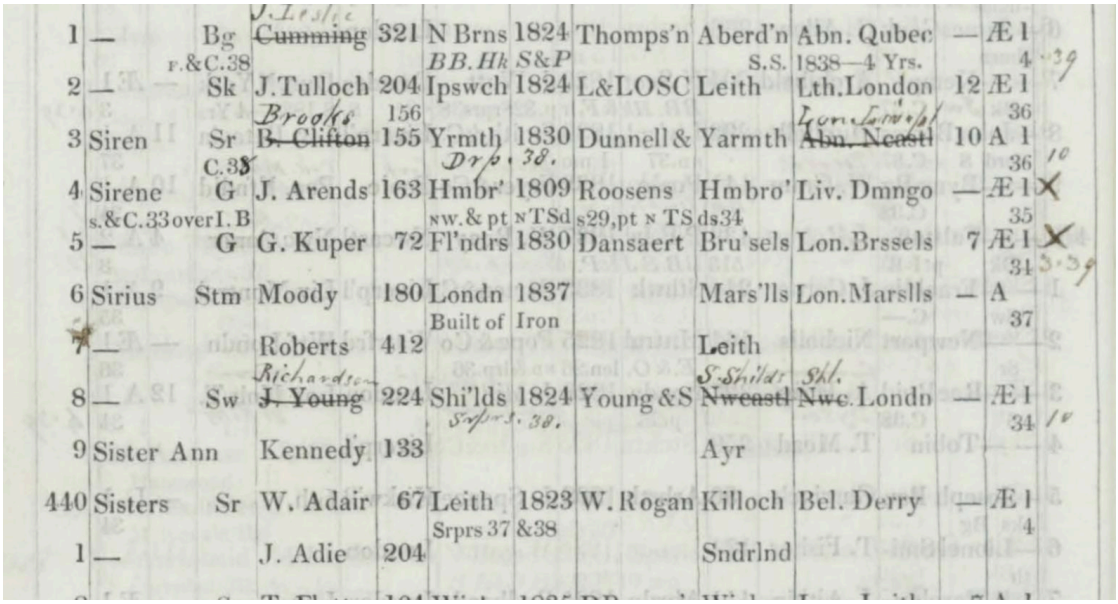
[254] Mientras que el diseño fue de Henry Creighton, su construcción fue otorgada a Thomas Wilson y a los hermanos John y Thomas Smellie. Mientras que el primero era un constructor naval, los hermanos Smellie eran herreros y fabricantes de claderas. Las chapas, de hierro pudelado, se colocaron a tope y se remacharon en el interior con otras chapas superpuestas.

[255] La planta propulsora estaba constituida por 4 calderas de vapor y una máquina alternativa Woolf, construida por Humphrys, Tennant and Co. en Deptford, Londres.

[256] Con 200.000 pesetas y 378.000 pesetas eran respectivamente la quinta y primera mayor empresa constituida, representando el 16,5% de la inversión local.

talleres de Sres. Otero, Gil y Compañía, conocidos como Industria Española, se establecieron como primer astillero privado en construir un barco de hierro del que se hizo eco la revista *La Ilustración Española y Americana* en septiembre de 1884[257].

El registro de buques de casco de hierro en el *Lloyd´s Register of Shipping* comienza en 1838 con el buque **Sirius** (1837). A pesar de no haberse publicado aún el *Rules for Iron Ships* (1855), en la columna de lugar y fecha de construcción, se incluía una nota aclaratoria "Built of Iron" y su clasificación "A" carecía de número por considerarse experimental, como puede observarse en la Figura 7.4.



1	—	Bg	~~Cumming~~	321	N Brns	1824	Thomps'n	Aberd'n	Abn. Qubec	—	Æ 1
		r.&C.38			BB. Hk	S&P		S.S.	1838—4 Yrs.		4
2	—	Sk	J.Tulloch	204	Ipswch	1824	L&LOSC	Leith	Lth.London	12	Æ 1
			Brooks	156							36
3	Siren	Sr	~~B. Clifton~~	155	Yrmth	1830	Dunnell &	Yarmth	~~Abn. Neastl~~	10	A 1
		C.38			Drp. 38.						36
4	Sirene	G	J. Arends	163	Hmbr'	1809	Roosens	Hmbro'	Liv. Dmngo	—	Æ 1
	s.&C.33 over I. B				sw.& pt	n TSd	s29,pt n TS	ds34			35
5	—	G	G. Kuper	72	Fl'ndrs	1830	Dansaert	Bru'sels	Lon.Brssels	7	Æ 1
											34
6	Sirius	Stm	Moody	180	Londn	1837		Mars'lls	Lon.Marslls	—	A
					Built of	Iron					37
7	—		Roberts	412				Leith			
			Richards					S. Shields	Shl.		
8	—	Sw	~~J. Young~~	224	Shi'lds	1824	Young & S	Nweastl	Nwc. Londn	—	Æ 1
					Srprs 3. 38.						34
9	Sister Ann		Kennedy	133				Ayr			
440	Sisters	Sr	W. Adair	67	Leith	1823	W. Rogan	Killoch	Bel. Derry	—	Æ 1
					Srprs 37	&38					4
1	—		J. Adie	204				Sndrlnd			

Figura 7.4: Extracto del Lloyd´s Register 1838. Registro del buque Sirius. Fuente: LR

La construcción en hierro presenta sus propios desafíos, como la corrosión, que significó la acelerada pérdida de algunos buques. Un ejemplo reconocido es el **HMS Megaera** (1849).

Ya en materia arancelaria, un debate que era común, al uno y otro lado del Atlántico, era el del hierro para la construcción naval. Como factor facilitador de la competencia frente a constructores extranjeros se señala el poder obtener este material libre de aranceles, que, en caso de que la diferencia salarial no fuese notoria, permitía una construcción más atractiva. No obstante, para obtener las planchas de hierro en el extranjero, se necesitaban planos técnicos, o, al menos, bocetos de cada pieza. Esto podía sin duda provocar retrasos significativos en pedidos internacionales.

[257] Ver página 147 de La Ilustración Española y Americana de 15 de septiembre de 1884.

7.3.2. El hierro para arriostrado, refuerzo, consola o escuadra

El análisis de los *ship's knees* (refuerzos angulares empleados en la construcción naval) testimonia un cambio importante en la construcción de embarcaciones durante el siglo XIX, caracterizado por la incorporación y aceptación progresiva de elementos de hierro, que suplantan a las convencionales armazones de madera. Estos componentes, que adquirieron popularidad en las flotas del siglo XVIII, emergieron como una solución a la falta de madera idónea para *knees* naturales e incentivaron su adopción debido a los desafíos en adquirir madera apta y en las propiedades superiores del hierro en cuanto a durabilidad y densidad. La creciente preferencia por materiales férreos persistió en paralelo con el aumento en la envergadura de los buques de madera y la creciente escasez de la madera específica. Esta tendencia eventualmente llevó al surgimiento de cascos mixtos y señaló una fase de cambio previa a la aceptación universal de embarcaciones con esqueletos de hierro y cubiertas de madera. Dicha transformación evidencia la constante adaptación a los materiales accesibles y exigencias constructivas, prefigurando los progresos en la ingeniería naval que establecerían los cimientos de la era contemporánea.

Durante el siglo XIX, la integración de componentes de hierro en la construcción de barcos de madera no fue uniforme a nivel mundial y reflejó la disponibilidad de recursos, las preferencias económicas y las prácticas de construcción regional. Mientras que la transición a *knees* de hierro y otros soportes metálicos fue notable en Europa, en las que multitud de embarcaciones continuaron utilizando armazones de madera reforzados con hierro hasta bien entrado el siglo XX, los constructores navales de América del Norte del siglo XIX, beneficiadas por un amplio acceso a suministros de madera, minimizaron el uso de componentes de hierro. No obstante, para facilitar su venta en mercados internacionales requerían de retro adaptación para el hierro y para los revestimientos de cobre para facilitar la venta. Además de cumplir con los estándares de clasificación.

Estos refuerzos eran variados y, según un estudio de tipología de **M. K. Stammers**, se podrían separar en las de ángulo recto, arriostrada, en forma de T, bifurcadas, *riders*, *Staple*, tipo *Fell* y especiales para proa y popa (Stammers, 2001). Mientras que las cuatro primeras ofrecían soporte adaptado a las exigencias estructurales específicas. Los *riders* ampliaban este soporte, mientras que las *Knee Staple* y las patentadas por **Fell** representaban avances en la unión y en el refuerzo de componentes críticos. Con barcos de mayor tonelaje, surgieron refuerzos

especializadas para la proa y la popa, abordando así la escasez de madera y los desafíos de resistencia y evidenciando la continua evolución en respuesta a las necesidades prácticas y a los recursos de la época. Estos refuerzos, aunque de escaso tamaño relativo, eran fundamentales y marcaron un período determinante en la construcción naval.

No sólo existía la necesidad de la madera como material de construcción, sino también para la producción de hierro. Durante el siglo XIX, a diferencia de otras naciones europeas, Suecia mantuvo la producción de hierro y acero, basada en carbón vegetal, en lugar de pasar directamente al carbón. Esto se debió a varias razones, incluyendo la abundancia de bosques en Suecia, la falta de reservas de carbón y de regulaciones estrictas que favorecían la producción basada en madera (Ducoing & Olsson-Spjut, 2021). A pesar de los avances tecnológicos que mejoraron la eficiencia energética, el costo relativo del carbón vegetal aumentó en comparación con el carbón, lo que eventualmente llevó a un cambio en el sector a principios del siglo XX.

Rusia también se convirtió en un gran suministrador de hierro que, al igual que Suecia, disponía de suficientes recursos forestales para producir hierro de carbón vegetal. Este llegó a superar a Suecia como exportador de hierro en el mercado inglés en las últimas décadas del siglo XVIII (Attman, 2011). El aumento de la producción de hierro en Rusia conllevó grandes desafíos, incluyendo el control del suministro de combustible, ya que la producción creciente exigía grandes cantidades de madera. Además, estaba el costo de transportar hierro en barras desde los Urales hasta San Petersburgo. El desarrollo de la metalurgia en Rusia llevó al establecimiento de la planta de *Obukhov* en 1863 con el propósito de fabricar artillería naval.

7.3.3. La evolución de las máquinas de vapor y la transición de paletas a hélice

A mediados del siglo XIX, los buques de guerra, gracias al avance de la tecnología especialmente en los motores oscilantes, comienzan a desarrollar unas mayores potencias y velocidades. Esta centuria fue testigo de avances significativos en los motores de vapor marinos, iniciando con el motor *Steeple* en 1842, diseñado por **David Napier** (1790-1869). Este motor fue crucial para los primeros remolcadores y vapores y sobresalió por su eficiencia mecánica mejorada gracias a una alineación optimizada del cilindro y el cigüeñal. Con el tiempo, este motor evolucionó y

simplificó su construcción, pero mantuvo su confiabilidad y potencia, elementos vitales para las embarcaciones de la época.

La búsqueda de potencia y economía de espacio condujo al nacimiento de los motores "Siameses" de doble cilindro, una solución compacta sin comprometer la potencia, que era ideal para barcos grandes con espacios confinados. Paralelamente, los motores *Stevens* revolucionaron los vapores de rueda de paleta. Aunque se enfrentaron a desafíos, especialmente en el uso de agua de mar que provocaba corrosión y pérdida de eficiencia térmica, estos motores descollaron por su sistema de corte de vapor y por el control manual de válvulas, atributos vitales en situaciones de navegación exigentes.

Es necesario mencionar el motor marino oscilante, que representa un hito en la ingeniería naval, desde sus primeros diseños hasta su incorporación en embarcaciones legendarias, y fue crucial en la evolución de la propulsión marina. Este motor tiene su génesis en la iniciativa de **William Murdoch** (1754-1839) en 1785, cuya visión llevó al primer motor oscilante a bordo del **Aaron Manby** (1822), diseño perfeccionado por **Maudslay**, **John Penn** y otros en el siglo XIX, cuyas innovaciones comprendían desde la reconfiguración de componentes hasta el uso de nuevos materiales. Entre sus hitos estuvo la máquina de tres cilindros incorporada al barco **Cleopatra** por **Scott Russell**[258] en 1853. Para 1860, el **Leinster** se convierte en un ejemplo memorable debido a su rendimiento, su potencia y su general avance tecnológico. Este diseño se mantuvo vigente hasta finales del siglo XIX con el motor de viga utilizado en los barcos de vapor fluviales americanos.

Los inicios de la ingeniería de motores marinos se caracterizaron por el uso innovador del vapor con objeto de generar un vacío, que facilitara que la presión atmosférica impulsara la maquinaria. Estos primeros motores, limitados por los materiales y técnicas de la época, operaban a bajas presiones. Dicha limitación catalizó el desarrollo de los condensadores de superficie, diseñados para mejorar la eficiencia al reciclar el vapor en el sistema, entre ellos el condensador de superficie de *Hall*[259]. Junto a ellos se desarrollaron técnicas para manejar la salinidad que se convirtieron en aspectos cruciales para mantener la eficiencia y la longevidad de estos motores debido a los desafíos presentados por el uso de agua de mar.

[258] John Scott Russell (1808-1882) reputado ingeniero civil y arquitecto naval escocés co-fundador del Royal Institution of Naval Architects. Estrecho colaborador de Isambard Kingdom Brunel.

[259] El condensador de Hall fue especialmente notable, ya que facilitaba el uso continuo de agua dulce, extendiendo la vida útil de las calderas y permitiendo presiones de vapor más altas.

A mediados y finales del siglo XIX, se observó un aumento en la presión del vapor utilizado, pasando de 20-25 psi a 120 psi casi al concluir el 1800. Este cambio, junto con la introducción de la condensación superficial alrededor de 1860, facilitó un uso más eficiente del combustible y allanó el camino a las calderas cilíndricas y a los motores compuestos. Estos últimos, al aprovechar la expansión del vapor en etapas, redujeron las tensiones en la maquinaria y maximizaron la eficiencia, confirmándose ventajas como la reducción de los esfuerzos máximos en la estructura y una mayor regularidad en el momento de giro.

Debido al perfil operativo, que, en ese momento, ya tenía grandes similitudes con los barcos de guerra contemporáneos, se exigía disponer de la capacidad de desarrollar grandes potencias en momentos específicos, a pesar de que el mayor tiempo discurriera a potencias relativamente bajas. Debido al importante consumo de agua dulce que derivaba del chorro de vapor en la chimenea, para 1882 se comienza, a transformar las salas de calderas en cámaras de combustión forzadas[260]. Entre las consecuencias directas estaba una reducción considerable en el peso de la maquinaria, la cual, al final de siglo, se podía encontrar en unos 80 kg por I.HP., frente a los 620 kg por I.H.P de motor de palanca lateral.

7.3.4. Consumo de carbón

Un hito en la ingeniería naval lo constituyó la drástica reducción en el consumo de carbón, logrado gracias a estas evoluciones. Dicha reducción no solo aumentó la autonomía de los buques sino que también permitió una redistribución del peso, mejorando las capacidades ofensivas y defensivas. En la Marina Real, esto se complementó con la introducción del tiro forzado, lo cual mejoró significativamente la generación de potencia durante situaciones críticas.

Como ejemplo es escogida la balandra **Salamander** (1832), su maquinaria de 400 I.H.P. tenía un peso de 275 toneladas y consumía entre 7 y 8 libras de carbón por caballo de fuerza. Hacia mediados de siglo, los buques de guerra lograban desarrollar 3.000 I.H.P. a igualdad de peso de maquinaria y un cuarto del consumo por caballo de vapor. Esta potencia no dejó de crecer y permitió que el **HMS Terrible** (1845) con algo menos de 2.000 I.H.P, desarrollase 10 nudos, mientras que su homónimo de final de siglo, **HMS Terrible** (1895), alcanzó 25.600 I.H.P. y una velocidad de 22,8 nudos. Para ello, el tamaño del buque también incrementa de 3.189 a 14.400 toneladas y de casi 70 metros de eslora a 165, y aunque la

[260] Bajo presión de aire mediante ventiladores, lo que incrementaba la capacidad de generación de vapor.

máquina fuese de cuatro cilindros en ambos casos, se pasa de un tipo "Siamese" a dos de motores de triple expansión moviendo una rueda de paletas y dos hélices respectivamente. Aunque ya se había llegado a la cuádruple expansión en la Marina Mercante, esta no resultaba óptima en su aplicación militar a causa de su mayor complejidad.

7.3.5. Propulsores

Paralelo al avance de los motores marinos, se desarrolla una transición en los propulsores. Los primeros motores de vapor, con sus sistemas de baja presión y condensadores, dieron paso a motores de alta presión y de expansión compuesta. Estos últimos aprovechaban más eficientemente el vapor, permitiendo presiones más altas y una mayor eficiencia. La transición de las ruedas de paletas a la hélice fue facilitada por estas mejoras en los motores, ya que las hélices requerían una fuerza de rotación que los motores de vapor más modernos podían proporcionar.

La rueda de paletas, pese a ser un avance significativo en su época, presentaba múltiples desventajas prácticas que limitaban su eficiencia y aplicabilidad, especialmente en barcos de guerra. Sus inconvenientes incluían una susceptibilidad al calado variable del barco, una considerable resistencia al avance y una vulnerabilidad crítica frente a ataques enemigos, dada la exposición de las ruedas y componentes asociados.

Comparado con la rueda de paletas, el propulsor de hélice presentaba ventajas esenciales: mantenía su eficacia independientemente del balanceo del barco o de las variaciones de calado, permitía la aplicación de potencias tanto grandes como pequeñas y ofrecía una mayor protección contra proyectiles al situar los motores bajo la línea de flotación, un atributo crucial para buques de guerra sin blindaje. Con la hélice, sin embargo, surgió la necesidad de velocidades más altas, lo que inicialmente requería un sistema de engranajes para aumentar la velocidad del eje del propulsor. No obstante, los avances en la ingeniería permitieron eventualmente la conexión directa entre el motor y el eje del propulsor, eliminando la necesidad de engranajes. Esta evolución también sentó las bases para el incremento de las velocidades del pistón, una tendencia que continuó en los motores marinos subsiguientes.

Adaptándose a la nueva modalidad de propulsión, los motores de los barcos pasaron de ser verticales o inclinados a horizontales. Este cambio presentó desafíos, especialmente en la configuración del espacio y la mecánica de los

componentes, llevando a invenciones como el motor de tronco de **John Penn** (1805-1878) para superar limitaciones de espacio. Sin embargo, con el advenimiento del vapor de alta presión, este tipo de motor se volvió obsoleto. Los motores de varilla de conexión de retorno y los motores de acción directa surgieron como soluciones innovadoras y proporcionaron una disposición más eficiente en el espacio confinado de un barco y simplificaron la transferencia de potencia al eje. Estos desarrollos facilitaron la transición a motores verticales para aplicaciones marinas, que en un principio fueron adoptados rápidamente por la Marina Mercante, mientras que por requisitos de seguridad, tuvieron una adopción más lenta por parte de la marina de guerra. Con la implementación de la doble hélice en buques blindados, la conveniencia de motores compuestos verticales quedó demostrada con configuraciones que promovían una mayor integridad estructural y funcionalidad dentro del buque

Este período de innovación culminó con la adopción generalizada de la hélice como el estándar para la propulsión marina, reemplazando en gran medida a los motores de vapor tradicionales en embarcaciones oceánicas. Mientras tanto, los vapores de rueda de paleta no desaparecieron por completo. Si bien su uso en viajes transoceánicos y como buques de guerra disminuyó, siguieron siendo populares para servicios en ríos y zonas costeras, particularmente donde se requerían calados bajos. Su diseño único los mantenía relevantes para ciertas aplicaciones, como el turismo fluvial y el transporte en lugares inaccesibles a embarcaciones con hélice.

7.3.6. Máquinas y calderas

Hacia finales de siglo XIX, los materiales empleados en la construcción de máquinas y calderas incluían el hierro, el acero, el cobre, el latón, el metal *Muntz*, el bronce, el metal blanco, el zinc y el plomo (Sennett & Oram, 1911).

Por supuesto, el hierro, en sus diversas formas, incluyendo el hierro fundido, hierro forjado y acero, era el material más utilizado en la construcción de motores y calderas debido a su versatilidad y a su resistencia. La selección de hierros y aceros en ingeniería exigió un entendimiento profundo de sus propiedades intrínsecas y de su comportamiento en diversas condiciones. Estos materiales continuaron y avanzaron hasta convertirse en indispensables en aplicaciones estructurales y mecánicas.

El hierro, que se extrajo en formas como hematita y piedra de hierro, resultó fundamental en la ingeniería, especialmente en su forma fundida. El hierro

fundido, derivado de la fusión del mineral de hierro, varió en propiedades: desde el frágil hierro blanco hasta el más maleable hierro gris. Sin embargo, su utilidad se vio limitada por su comportamiento inconsistente, particularmente en tensiones fluctuantes, lo que exigió precauciones en el diseño y la aplicación. Alternativamente, el hierro maleable y el forjado ofrecieron características deseables a costos menores. El hierro maleable, similar al acero suave, fue adecuado para piezas pequeñas uniformes, mientras que el hierro forjado destacó en componentes que enfrentaron tensiones variables. El endurecimiento superficial de este último mejoró la resistencia al desgaste, crucial en la maquinaria marina.

En el ámbito del acero, la innovación fue constante. El acero suave, similar al hierro forjado, surgió como un material clave, con métodos de producción que variaban en complejidad y costos. El proceso *Bessemer*, aunque revolucionario, se enfrentaba a desafíos de uniformidad, mientras que el método *Siemens-Martin* prometía un control más preciso. A pesar de su versatilidad, el acero suave requería cuidados especiales debido a su fragilidad potencial a ciertas temperaturas. En contraste, el proceso de *Whitworth* destacaba por forjar aceros de alta resistencia, cruciales para la maquinaria pesada. Este acero alcanzó grandes cotas de popularidad en el ámbito militar, en el que se empleó para la fabricación de cañones de armas largas, como defiende su inventor en la exposición *On Fluid Compressed Steel and Guns* (Whitworth, 1875). Gracias a su colaboración selectiva con prominentes fabricantes de armas, los cañones de escopeta de *Whitworth* cimentaron un legado, pese a la presencia de competidores equivalentes.

Las fundiciones de acero, a pesar de sus beneficios en reducción de peso, demandaron una atención meticulosa, durante el enfriamiento, para prevenir defectos. Además, el acero al níquel emergió como un material prometedor para componentes marinos críticos por su resistencia y su ductilidad.

En el desarrollo histórico de la maquinaria, la utilización astuta de varios metales y sus aleaciones fue fundamental, ya que estos elementos optimizaron las propiedades mecánicas indispensables en una diversidad de aplicaciones.

En este escenario, el cobre, fundamental en la formación de bronce y latón, fue apreciado por su resistencia a la corrosión y en maquinabilidad, además se estableció como un componente esencial. Aunque el latón era de uso reducido en aplicaciones estructurales, su adaptabilidad fue esencial para elementos como

tubos y sistemas de vapor, mientras que el bronce sobresalía en ambientes con cargas y corrosión elevadas. El metal *Muntz*, conocido por su resistencia, presentaba problemas en entornos salinos, superados parcialmente por el latón naval con estaño, resistente y maleable, ideal para aplicaciones marinas. Paralelamente, se desarrollaron bronces especializados para usos exigentes, como el de propulsores marinos.

Las aleaciones de cobre y bronce con aluminio surgieron como promesas contra la corrosión. Los cojinetes se beneficiaron del metal blanco, cuya composición exacta aseguraba su funcionalidad bajo cargas pesadas. El zinc, vital en la galvanización, protegía contra la corrosión, mientras que el plomo tenía roles específicos en cojinetes y como contrapeso. Este panorama refleja cómo la innovación de los materiales metálicos fue esencial para avanzar en la ingeniería y en la maquinaria.

7.3.7. El aluminio en la construcción naval

Continuando con los metales de aplicación naval, el aluminio comienza a dar sus primeros pasos a finales del siglo XIX y convirtiéndose en un metal fundamental en ciertas aplicaciones, como la aeronáutica y la electricidad, en la primera década del siglo XX.

La introducción del aluminio en la construcción data de finales del siglo XIX, cuando el químico francés **Henri Étienne Sainte-Claire Deville** (1818-1881) produjo unas cantidades significativas[261] e introdujo un método por el que el aluminio se obtenía por descomposición de cloruro de sodio de aluminio con sodio metálico. No obstante, es el proceso *Hall-Héroult* el que, apoyándose en los avances de la electricidad y reducción electrolítica, comienza a aplicar en 1886[262] el método cuyo uso continúa hasta nuestros días y se utiliza junto al proceso *Bayer*.

Desde 1890, la aplicación naval del aluminio al campo naval había sido discutido por el ingeniero de Marina francés **M. Hauser**, cuyos usos publica en el artículo *Influence Économique Légèreté dans la Construction de Navires* (Hauser, 1890). Las primeras embarcaciones que emplearon aluminio en su construcción respondían a dimensiones reducidas, menos de 6 metros de eslora, con uno de los primeros ejemplos las producidas por el astillero suizo *Escher Wyss & Co.* Estos empleaban un pequeño motor *Naphtha*, y sus embarcaciones estaban pensadas

[261] Previamente, a inicios de siglo, la metalurgia del aluminio había sido explorada anteriormente por Hans Christian Ørsted (1777-1851) y Friedrich Wöhler (1800-1882).

[262] Año en el que Charles Martin Hall (1863-1914) y el francés Paul Héroult (1863-1914) descubren, de manera independiente, este proceso.

para uso personal o recreativo como el **Mignon** (1892) y el **Aluminia** (1894). Una construcción mixta temprana se encuentra en el yate **Vendeness** (1893) que contaba con las estructuras de acero y el forro de aluminio.

En 1897, **Richmond Pearson Hobson** (1870-1937) estudió las experiencias del coste de producción, mantenimiento y la duración de la vida útil (Pearson Hobson, 1897). En su análisis, sostenía que, mientras el aluminio ocupaba un lugar indiscutible en la construcción marina, sus aplicaciones estaban limitadas a causa de sus propiedades físicas y sus costos. Es un hecho muy claro pues el aluminio carecía de un precio estable en ese tiempo, sobre todo si se comparaba con el acero. **Hobson** concluía su análisis aseverando que la clave para expandir su uso radicaba en mejorar la fabricación, reducir costos y encontrar soluciones a la corrosión, especialmente para la defensa naval, donde las embarcaciones pueden mantenerse en reserva y en condiciones que minimicen la corrosión.

Su aplicación en embarcaciones militares no tardó en evidenciarse, siendo los torpederos los primeros en ser producidos. La armada francesa es la que se adelanta solicitando al astillero londinense *Yarrow & Co* un torpedero; bautizado como **Le Foudre**, en octubre de 1894 realiza sus pruebas en el Támesis[263]. Al año siguiente el mismo astillero construye un torpedero para la armada rusa, el **Sokol** (1895), pero de mayor eslora y de un metal más convencional, el acero.

En este tiempo, las embarcaciones de aluminio cumplieron o superaron las expectativas de rendimiento, pero también demostraron la debilidad crucial del aluminio, es decir, su propensión a corroerse en condiciones marinas. Estos casos subrayaron que, aunque el aluminio prometía ventajas revolucionarias en términos de fuerza y peso, la realidad de su aplicación en ambientes marinos estaba plagada de desafíos, particularmente de la lucha constante contra su inherente susceptibilidad a la corrosión.

Por ejemplo, el **Vendenesse**, con casco y superestructuras de aluminio, sufrió corrosión significativa durante su inactividad inicial de cuatro meses en agua salada. El **Foudre**, experimentó una corrosión generalizada después de quedar esta desatendida en amarres durante un invierno. El **Defender** (1895), un yate que utilizaba una combinación de aluminio, bronce y acero, también fue víctima de la corrosión, especialmente en los puntos de contacto entre diferentes metales. Estas experiencias resaltaron la necesidad de un mantenimiento constante y meticuloso

[263] El astillero Yarrow Shipbuilders tiene su sede actual en Glasgow, Escocia. Este torpedero se construye en el astillero de Poplar, sede original de la compañía.

para preservar el metal y evidenciaron la vulnerabilidad del aluminio ante la exposición y la acción galvánica, especialmente cerca de otros metales. También manifestaron la necesidad de un mayor estudio en la aplicación del aluminio especialmente en el ambiente marino.

Habría que esperar hasta el primer tercio del siglo XX para tener un uso común del aluminio en las estructuras, el casco, la maquinaria y los accesorios. Al igual que la primera gran fábrica en España.

7.3.8. Siderurgia española en el siglo XIX: Vapor y Acero

La siderurgia, esencial en el desarrollo de la ingeniería naval, desempeñó un papel crucial en la transformación y modernización de la Marina Española en el siglo XIX. Este periodo se caracteriza por una significativa renovación tecnológica, marcada por la introducción del vapor y el acero, elementos clave de la Revolución Industrial y el avance naval.

Entre 1845 y 1898, la Armada Española experimentó transformaciones significativas en la construcción y propulsión de sus buques. En 1845, se adquirieron cuatro importantes unidades: **Blasco de Garay**, **Vulcano**, **Alerta** y **Vigilante**, marcando un hito con el **Vulcano**, el primer barco de vapor español con casco de hierro. Posteriormente, en 1850, se consolidó la superioridad de la hélice sobre las paletas, lo que llevó a una mejora en el rendimiento y la estabilidad de los barcos. Durante la década de 1860, se construyeron más fragatas como **Concepción** y **Lealtad**, con máquinas de hasta 600 caballos de vapor (CV). La fragata blindada **Numancia**, lanzada en 1863, se convirtió en un ejemplo destacado de innovación, diseñada por **Dupuy de Lôme**, con una máquina de 1.100 CV y capaz de alcanzar 8 nudos (Leira Placer, 1991). En la misma década, la vigilancia costera se reforzó con la adquisición de cañoneros ligeros y, a finales de siglo, la transición de ruedas de paletas a hélices y la introducción de máquinas verticales mejoraron la maniobrabilidad y seguridad de los buques. Para final de siglo, se unieron los torpederos **Castor** (1878) y **Pollux** (1878), de origen francés e inglés respectivamente, y el acorazado **Pelayo** (1887) construido por *Forges et Chantiers de la Mediterranée*.

A pesar de que el hierro se hubiese convertido en el metal clave de la industrialización, superando a la madera en varios sectores como la agricultura, la industria textil, la construcción naval y el ferrocarril, la significativa importación

de buques frente a la producción afectaron al desarrollo de la industria siderúrgica española.

Esto contrasta con la rica producción de mineral de hierro, de España, cuya industria se vio forzada a importar material para maquinaria, barcos y ferrocarriles. Esto fue en parte[264] debido a políticas que favorecían las importaciones libres de impuestos, lo que perjudicó a la industria siderúrgica nacional. Mientras que la producción en Andalucía y Málaga se volvió poco competitiva, Asturias y Vizcaya, por otro lado, experimentaron un desarrollo significativo, beneficiándose de la utilización de coque y de capitales mixtos con socios británicos, lo que les permitió controlar la siderurgia española hasta la Primera Guerra Mundial.

7.3.8.1. Consumo de la madera

A lo largo de los siglos XIX y XX en España, a pesar de los avances tecnológicos y el mayor uso de nuevas fuentes de energía, al igual que en el resto del mundo industrializado, el consumo de madera no disminuyó inicialmente. Aunque su importancia macroeconómica se redujo, el consumo absoluto aumentó. La evolución del uso de la madera se relacionó significativamente con las transformaciones socioeconómicas de España: se mantuvo un elevado consumo de leña hasta mediados del siglo XX debido a la lenta industrialización y a las dificultades para adoptar combustibles fósiles (Iriarte-Goñi, 2013). Originalmente, España dependía en gran medida de la madera como fuente de energía, especialmente de la leña. Sin embargo, con el comienzo del desarrollo industrial, se produjo un cambio gradual hacia el uso de la madera como materia prima para fines industriales y urbanos, mientras que el uso de la leña disminuyó significativamente. Para mediados del siglo XIX los bosques se utilizaban principalmente para leña, carbón vegetal y pastos, y la superficie forestal estaba cubierta por matorrales y maleza, de escaso valor económico.

[264] Otras incluyen la limitación por la baja calidad del carbón, la inversión en tecnología y la existencia de diferentes métodos de producción, que llegaron a mostrar diferencias regionales.

7.4. Otras innovaciones, función y diseño

7.4.1. El primer rompehielos

Otra investigación, también se centra en un buque construido en Reino Unido que tuvo su vida operativa en el extranjero, pero casi 150 años después. Este caso demuestra la gran ingenuidad de los ingenieros de los pueblos receptores, como el manifestado por el ruso. Durante años era común relatar que el primer rompehielos correspondía a la iniciativa del almirante **Stepan Makarov** (1848-1904). Este lideró la construcción del buque **Ermack**[265], que fue botado en 1899 y poseía la característica proa de rompehielos. No obstante este mérito nunca se lo atribuyó el almirante **Makarov**, sino que se señaló a un empresario de San Petersburgo llamado **Mikhail Osipovich Britnev** (1822-1889). La historia de este empresario y el empleo de las diversas embarcaciones de su propiedad estaba bien documentada: incluían, por ejemplo, la adquisición de los planos para la fabricación de buques similares en el puerto de Hamburgo a raíz de la helada de 1871. A pesar de este legado documental, la falta de documentos gráficos relegó este hito al oscurantismo histórico.

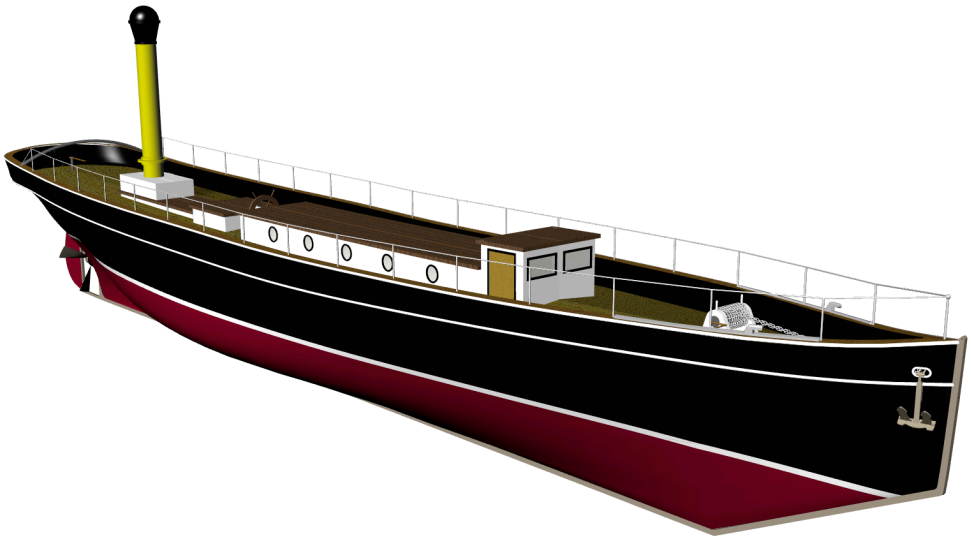


Figura 7.5: Modelo del primer rompehielos. Fuente: Elaboración propia

Gracias al trabajo de investigación realizado por el Dr. **Dmitriy Ponkratov**, asistido por el autor, queda demostrado que el origen de este primer rompehielos no se halla en una idea surgida en la fase de diseño, sino en una conversión del mismo. Su primera travesía se realiza en primavera de 1864, dos años después de su botadura (Ponkratov & Pérez-

[265] También aparece en la literatura como *Yermack*.

Martínez, 2020; Понкратов & Мартинес, 2020). La apariencia de este barco ha sido objeto de multitud de especulaciones al no tener unas fotografías o planos fiables. Esto se resuelve al ser desenterrados los planos del buque **Pilot** encargado por **Britnev** y suministrados por los Archivos de *Tyne and Wear* en *Newcastle upon on Tyne*. Estos planos permitieron realizar el modelo digital, que aplicando una alteración de la proa basada en los trineos como propuso Britnev, desvela la aproximación más acertada hasta la fecha (Figura 7.5).

Sin embargo, a pesar de la publicidad recibida por el artículo a nivel nacional e internacional, es todavía posible encontrar sellos, en 2022, que muestran la embarcación equivocada como se ilustra en el artículo. Un ejemplo identificado es el número 2932 de la serie *Constructores navales rusos* que se muestra en la (Figura 7.6).

Figura 7.6: Sello postal del 200 aniversario del nacimiento de M. Britnev. Fuente: Mapka

7.4.2. El Cid, vapor hospital y la innovación en misión

Un ejemplo de innovación en el contexto de uso de los vapores fue el **Cid** (1848). La construcción y operación de este buque había sido fruto de la demanda de navegación en el Mediterráneo, que bajo el encargo en 1846 de la Sociedad de Navegación e Industria se construyen en Mahón dos buques para este servicio el **Nuevo Balear** y el vapor de ruedas **Cid**, de casco de roble forrado en cobre[266]. El **Cid** destacó por su función como buque de transporte mixto y cubrió una ruta regular entre Marsella, Barcelona y Cádiz, y además de responder a un primer uso militar con el arrendamiento como buque de transporte de tropas, por el gobierno francés en 1859. Se trató claramente de un presagio de lo que llegaría más tarde.

[266] Ver: Zaforteza, C. A. (1986). Un informe de Ramón Trujillo y Celani sobre la construcción naval en Baleares y Cataluña a mediados del siglo XIX. *Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana: revista d'estudis històrics*, *42*, 219-229.

La guerra de Marruecos (1859-1860), desencadenada por conflictos y episodios violentos en territorios españoles en el norte de África, puso a la maquinaria de guerra española en un brete, el cual, a pesar del esperado éxito, se topó con obstáculos logísticos y una epidemia de cólera. La crisis sanitaria reveló la falta de preparación para manejar grandes bajas, lo que llevó a la conversión de vapores, incluido el **Cid**, en hospitales flotantes destinados a evacuar y tratar a los soldados, destacando la relevancia de los recursos sanitarios en conflictos bélicos.

Ante la acuciante necesidad de una evacuación rápida y eficiente de las bajas en combate, razón común de la elevada mortalidad, el uso de los vapores emergió como respuesta a la imposibilidad de evacuaciones terrestres. También superó el debate de su tiempo sobre la idoneidad de la propulsión a vapor, puesto que sus ventajas operativas como maniobrabilidad y velocidad superaron los temores iniciales relacionados con vibraciones y toxicidad de los humos. La transformación pionera del **Cid** incluyó la conversión meticulosa de bodegas en instalaciones médicas, marcando un precedente en la atención de evacuación médica. Adicionalmente, la elección de un vapor de ruedas se debió a su suave movimiento mostrándose superior para transportar a combatientes con lesiones graves (González García O. , 2016).

De esta exposición se infiere claramente, que sigue la tendencia de los buques *armé en flûte* del siglo XVI y su posterior versión inglesa de transporte de tropas, los cuales concedían mayor relevancia al espacio de carga y a la movilidad de la tripulación sobre el armamento. No obstante, ofrece una nueva etapa de especialización que deriva en los actuales buques hospital.

7.5. Decadencia de los canales

El declive del transporte por canal en el Reino Unido puede radicar en muchos factores, no obstante se entiende que, en gran medida, la razón principal fue el monopolio ferroviario con un gradual predominio que ya en 1845 se estaba haciendo patente. La organización fragmentada de la red de canales, con una multitud de autoridades, no pudo impedir la absorción de secciones clave de la red de canales durante el período comprendido entre 1845 y 1872. Aunque los operadores del ferrocarril preferían el tráfico de alto valor, rápidamente incluyeron la carga de bajo valor como el carbón (Gourvish, 1980). No obstante, en algunas comunidades se inclinaron por el transporte de pasajeros y de carga más liviana por aguas interiores en el caso de que se pudieran utilizar barcos más rápidos,

conocidos como paquebotes, en canales donde había pocos elementos como las esclusas. Lo descrito ocurría en los canales de menor gradiente ubicados en Escocia, los cuales podían seguir funcionando, aunque sus precios se vieron indudablemente afectados.

El *Liverpool Manchester Railway* es considerada la primera red ferroviaria moderna en el Reino Unido, su inauguración se remonta a 1830. Las importantes ganancias iniciales animaron a grandes inversiones y crearon la conocida "Railway Mania"[267] que, hacia 1850, causó que esos beneficios disminuyeran en gran medida. Esta reducción fue originada en parte debido a las ineficiencias en la operación y a la gestión de costes, ya que eran servicios que experimentaron una débil competencia. Por tanto, el ferrocarril no produjo los rendimientos esperados y en algunos casos sufrió de baja rentabilidad (Mitchell & al., 2009).

A pesar de la introducción de la *Ley de tráfico ferroviario y de canales de 1854*[268], el creciente monopolio de los ferrocarriles conllevó que el transporte fluvial fuese menos competitivo, debido a que se centraba principalmente en la obligación de transportar[269]. Las leyes posteriores se centraron en las tarifas y las instalaciones y la intervención del parlamento no impidió que los ferrocarriles tomaran el control de más de un tercio del kilometraje de los canales en el Reino Unido a finales del siglo XIX. Algunos fueron transformados en vías para el ferrocarril, mientras que otros fueron clausurados o los utilizaron como medio de acceso al territorio concedido a un competidor. Gracias a los diferentes gobiernos locales y a las fundaciones, fue posible mantener muchos de los canales y se facilitó su posterior revitalización.

7.5.1. Revitalización

Se puede considerar que se abrió un nuevo capítulo en la historia de los canales británicos cuando en 1947, después de la Segunda Guerra Mundial, el gobierno laborista nacionalizó los sistemas de canales y del ferrocarril. Así vio la luz la *British Railways* que operó como una compañía estatal de 1948 a 1997. Sin embargo, un caso diferente ocurrió con British *Waterways* (BW) que se estableció en virtud de la *Ley de Transporte de 1962*, con el propósito de operar y mantener

[267] La conocida como "Railway Mania" fue un fenómeno especulativo del desarrollo del ferrocarril en la década de 1840. Su punto álgido se encuentra entre 1845-1846 en el que se autorizaron proyectos que resultaron en un aumento de aproximadamente 200% del trazado en 6 años. Para 1850, la red ferroviaria se extendía a 6.621 millas.

[268] Railway and Canal Traffic Act 1854.

[269] "to afford all reasonable facilities for the receiving and forwarding, and delivering of traffic", esto conllevó que el ferrocarril empezase a llevar carga de bajo valor.

las vías navegables, los muelles y los puertos de Gran Bretaña. Esta empresa pública restauró y reabrió gradualmente las vías navegables, que en ese momento necesitaban urgentemente una renovación y cuyo uso correspondía principalmente al ocio. En ese momento, la BW operaba y mantenía una red de 2.700 km de canales y 500 km de ríos navegables, 1.657 esclusas y 2.664 edificios catalogados. Los canales se beneficiaron de los diversos proyectos de restauración dirigidos por grupos de voluntarios, por sociedades y por fundaciones (Rhodes & al., 2014).

En 2012, coincidiendo con la fuerte subida de los precios de la vivienda en Londres, el gobierno transfirió los activos y el derecho de explotación a una fundación benéfica llamada *Canal & River Trust*, la cual actualmente opera y mantiene los canales y vías fluviales en Inglaterra y Gales. Ese mismo año se firmó el *Waterways Infrastructure Trust Settlement* con el objetivo de proteger el uso público de esas vías navegables, mantener el acceso libre a los caminos de remolque y mantenerlos invendibles. El Gobierno puso en marcha un plan de financiación a largo plazo, a través de subvenciones durante un período de 15 años, hasta que se revise en 2027.

7.5.2. Los *narrowboats* como vivienda

El empleo de barcos como vivienda no era una idea nueva, pero se popularizó en el siglo XIX. Cuando aproximadamente 25.000 barcazas en las vías navegables interiores dieron como resultado una población flotante de no menos de 50.000 personas (Bagwell, 1988). En los primeros años era habitual que sólo hubiese dos personas permanentemente en esos barcos, el barquero y un ayudante. Las embarcaciones más grandes, de 40 a 50 toneladas, estaban tripuladas por un capitán, dos compañeros y un ayudante. Esa sería la configuración del desafortunado **Tilbury**, que explotó mientras navegaba por el *Regent's Canal* en octubre de 1874, tragedia que aceleró la aprobación de la *Ley de Explosivos* en 1875[270]. El ayudante normalmente dormía en tierra durante los viajes para cuidar de los caballos. Compartían las tareas de dirección, la conducción de los caballos y la operación de las esclusas. Cuando comenzó la competencia con los ferrocarriles, la situación empeoró y los salarios más bajos hicieron que las viviendas en tierra fueran inasequibles para los barqueros y sus familias. Recurrieron a trasladar a sus familias a los botes, lo que suponía un reto por el espacio y por las condiciones sanitarias. Para luchar contra esta situación, el gobierno introdujo la *Canal Boats*

[270] *Explosives Act* 1875. Cuyo objetivo era "to control the manufacture, keeping, sale, conveyance and importation of explosives for legitimate purposes".

Act of 1877, que fue un fracaso según las palabras de un oficial médico en el *British Medical Journal* (Browning, 1879). Aunque los propietarios de embarcaciones más grandes cumplían con los reglamentos, las embarcaciones más pequeñas se mostraban reacias a seguir la ley, principalmente en lo que se refería a los niños a bordo. Las embarcaciones no certificadas e insalubres podían seguir funcionando debido a la falta de aplicación de la ley. Esta situación se trató de paliar mediante una enmienda en 1884. Hay informes que sugieren que en 1895 había 4.000 niños que vivían en barcos, en 1938 ese número se redujo a 600 (Bagwell, 1988).

Como publicó el *Liverpool Journal* en septiembre de 1877, las barcazas más anchas tenían cabinas de unos 1,68 m de altura y un área de 2,74 m por 2,74 m, lo que permitía una litera para dormir de 0,9 m de ancho. Ese no era el caso para la navegación en canales como el *Grand Union Canal* con esclusas de 2,13 m, que, posteriormente, precisaron de una manga inferior. En esos compartimientos había que instalar una cama, varios asientos, una mesa y una estufa. También se disponía de un espacio más reducido en el castillo de proa.

Se cree que la popularización de la vida familiar en las barcas estrechas trajo la estética que conocemos hoy en día. Externamente, la introducción de colores brillantes con el motivo principal de rosas, castillos y otros ornamentos e internamente la economía de espacio y la decoración para ofrecer una vida sencilla pero confortable. Todas las modificaciones de habitabilidad tenían que hacerse evitando afectar el propósito principal del barco, que era el transporte de mercancías, por lo que debía limitarse al espacio disponible, lo que ha desaparecido en la actualidad.

7.6. Paridad tecnológica

Entre el desarrollo nacional y la importación, para la década de 1880, ya se habían comenzado los esfuerzos de modernización, pero se enfrentaban a grandes desafíos. La capacidad de producción era limitada y la producción de hierro y acero continuaba siendo reducida.

Este contexto, llevó a la Marina a adoptar una estrategia de compras dual: adquiría embarcaciones técnicamente avanzadas del extranjero, mientras que los buques más pequeños se construían localmente. Esto es, se compraron buques a Francia, Inglaterra, Estado Unidos, Italia y Alemania. Consciente de las deficiencias industriales, el gobierno de la Restauración adoptó la estrategia de aumentar las adquisiciones de la industria nacional, equilibrando el coste adicional con el

presupuesto o reduciendo la cantidad de buques. En 1887, se aprobó la *Ley de la Escuadra*, un hito que marcó un cambio sustancial. Dos puntos sobresalen: un aumento significativo en los fondos destinados a la compra de buques y la estipulación de que estos se construirían en astilleros españoles. La financiación provino de un presupuesto extraordinario y anticipos significativos de la Compañía Arrendataria de Tabacos y el Banco de España.

A pesar de los avances industriales globales, los constructores nacionales no pudieron superar rápidamente los desafíos inherentes al cambio de madera a metal y de la propulsión a vela al vapor. Agravando la situación, existía una escasez de talleres cualificados; para 1886, solo cinco poseían la capacidad para trabajar con hierro y acero.

El gasto naval de España palidecía en comparación con otras naciones, pero se observa una preferencia creciente por la industria nacional, reflejada en la modificación legislativa que priorizaba la contratación de empresas nacionales y la compra de materiales de construcción locales. El impacto de estas políticas fue notable. Durante el programa naval, la construcción se duplicó y se eliminó casi por completo la necesidad de importaciones. La industria privada se benefició enormemente, alcanzando un 60% de participación en las construcciones (Cubel, 1994). Sin embargo, los conflictos coloniales revirtieron algunos de estos avances, ya que la urgencia llevó a España a adquirir buques de constructores extranjeros, nuevamente.

España, al seguir las tendencias globales, inició la construcción de barcos de acero tras las importaciones iniciales. Al cierre del siglo, la construcción naval española había alcanzado una paridad tecnológica con sus contrapartes extranjeras, sentando las bases para futuras innovaciones y modernización impulsadas por legislaciones como la *Ley Ferrándiz* de 1908. Este período de transformación, aunque marcado por desafíos y oportunidades perdidas, fue crucial en la evolución tecnológica y estratégica de la Marina Española.

> "la sacudida que sufrieron todas mis ilusiones patrias meses ha, al ver de cerca en una de nuestras bases navales el estado rudimentario de nuestra Armada y la anemia, hecha crónica, de sus elementos y de sus organismos, menos improvisables hoy que nunca, y más eficaces que el valor y el arrojo; y, por fin, frente a ello, el que siento y palpo la posibilidad de que con personal tan sobrado de aptitudes y deseos cuan falto en su conjunto de sana orientación y de ejercicio, y con los medios de que el país dispone, sabia y enérgicamente utilizados y organizados, y sobre todo descubriendo y revivificando sus naturales raíces, únicas que pueden inyectarle savia y darle verdadera vida, que es la natural que brota de la del país, y enlazándola íntimamente con ellas, brille de nuevo cual debe y se merece la Marina española." (Artíñano y de Galdácano, 1920)

8. Proyección de la fuerza: 1898-1941

8.1. La rezagada Industria naval y los planes navales

A finales del siglo XIX, la industria de construcción naval de España se encontraba en una situación desafiante, debida a su menguante competitividad. La infraestructura estaba principalmente diseñada en torno al uso de la madera, lo que hacía que la transición hacia materiales más modernos y eficientes como el hierro y el acero fuera complicada y lenta. España se enfrentaba a la escasez y a los altos costos de estos materiales fundamentales y su producción limitada no permitía lograr economías de escala, lo que resultaba en costos de construcción de buques más elevados en comparación con los fabricados en el extranjero.

La pérdida de los últimos territorios de ultramar en 1898 significó un golpe significativo para la construcción naval española, que condujo a recortes notables en el gasto naval y, por consiguiente, a una contracción importante en el sector. Para mitigar esta situación, se implementaron una serie de planes navales, entre los que descuellan el *Plan Maura y Ferrándiz* (1908), el *Plan Miranda* (1915), el *Plan Cortina* (1922), el *Plan Primo de Rivera* (1926) y los planes durante la Segunda República en 1935 y en 1936.

Tras el desastre de 1898, la reputación de la Armada Española quedó severamente dañada, y la negligencia, tanto en términos presupuestarios como estratégicos, sumió a la institución en una parálisis que afectó a los arsenales y desencadenó una crisis social en las maestranzas. No obstante, el inicio del siglo XX trajo consigo un resurgimiento del interés por la Marina Española. Este resurgimiento culminó con la promulgación de la *Ley de Maura y Ferrándiz*; esta abogaba por la

nacionalización de la industria naval y tenía como objetivo restaurar a España como una potencia naval.

En este contexto, España emprendió esfuerzos sustanciales para revitalizar su sector naval, especialmente en el ámbito militar. La estrategia se centró en la sustitución de importaciones, lo que finalmente llevó a la nacionalización completa de la construcción naval en 1907 y al surgimiento de la Sociedad Española de Construcción Naval (SECN). Esta entidad no solo revitalizó la construcción naval militar, sino que también incursionó con éxito en el sector privado. Estos cambios fueron fruto de la *Ley de reorganización de la Escuadra* de 1908, la cual trajo un renovado segundo impulso, destacando la privatización de la gestión de los arsenales y un enfoque en la eficiencia y calidad. En términos de financiación, existen similitudes con el programa de 1887, además fueron similares en impacto, aunque este último fuese más extenso y, por lo tanto, su contribución anual resultase menor.

Considerando la industria naval militar española entre 1885 y 1935, esta experimentó una transformación marcada por esfuerzos intensivos para superar sus limitaciones técnicas y financieras, navegando a través de períodos de conflicto y ajustes económicos hacia un futuro más autónomo y robusto. Desde finales del siglo XIX hasta 1935, la industria de construcción naval de España experimentó llamativas transformaciones, impulsadas principalmente por políticas estratégicas y circunstancias económicas. Entre los desarrollos más notables destacaron la revitalización de las construcciones navales, tras un período de inactividad, y la eventual privatización completa de la industria, puntos críticos en la evolución de la construcción naval española. La paralización que sufrió la industria, evidenciada por la construcción mínima de buques se vio interrumpida por el plan de 1908. Este plan no solo revivió la construcción naval con 26 nuevos buques en cinco años, sino que también marcó un pico en la actividad de construcción naval del período. Sin embargo, lo más relevante lo constituyó la transición hacia la privatización completa de las construcciones navales. La SECN, respaldada por importantes consorcios británicos y franceses, ganó la licitación para la contratación de arsenales, lo que representó un cambio paradigmático en la dinámica industrial.

Durante esta transición, la voz de la Armada se convirtió en una llamada a la acción, recordando las consecuencias de la inacción histórica y subrayando la necesidad de adaptarse a los avances tecnológicos y estratégicos. La reorganización de la Marina no fue únicamente una cuestión de seguridad y prestigio nacional,

sino que representaba una urgencia vital que surgía de las cenizas de 1898 y de las sombras de decisiones pretéritas.

A pesar del renovado impulso, la financiación destinada al reequipamiento de la flota experimentó una drástica reducción hacia 1915. Aunque se habían encargado nuevos buques, la falta de renovación del programa naval planteaba riesgos para la continuidad de las operaciones en los arsenales, subrayando la necesidad de medidas adicionales. La *Ley Miranda* procuró abordar la insuficiente financiación al asignar 230 millones a la construcción de nuevos buques y fondos adicionales destinados a la infraestructura. No obstante, los desafíos persistieron, especialmente debido a los efectos de la Primera Guerra Mundial en el suministro. Se hicieron necesarias medidas extraordinarias, como la prórroga de créditos en 1922, con el fin de mantener la actividad de la construcción naval, lo que resultó en un significativo gasto de 250 millones de pesetas entre 1922 y 1924. Aunque se registró una disminución en 1925, el temor a una paralización total condujo a la aprobación de otro programa en 1926, subrayando la urgencia de la situación. Lamentablemente, pese a los elevados gastos, los objetivos del programa naval no se cumplieron por completo durante la dictadura de **Miguel Primo de Rivera** (1870-1930), y la República se vio obligada a realizar ajustes en los presupuestos posteriores, reduciendo aún más el financiamiento. Mientras la SECN diversificaba sus operaciones, la dependencia de los encargos estatales continuaba, destacando la fragilidad de la industria. A pesar de todo, el esfuerzo continuo fue notorio, aunque más modesto durante el régimen republicano. En retrospectiva, el período desde el plan de 1887 hasta la Segunda República buscó la modernización naval y el establecimiento de una industria robusta en España. Sin embargo, los gastos, a pesar de su importancia en ciertos momentos, generalmente no superaron el 2-3% del presupuesto, lo que indicaba limitaciones en la ambición de los proyectos de construcción naval (Cubel, 1994).

Simultáneamente, el dominio británico en la construcción naval se intensificaba, gracias a su acceso a recursos económicos y conocimientos técnicos avanzados, dejando a España y a otros países luchando por mantenerse relevantes. Las potencias mundiales, reconociendo la necesidad de innovar y competir, adoptaron políticas de subvenciones y compras estatales para estimular sus industrias navales.

8.1.1. La siderurgia, acero en España

A finales del siglo XIX, los astilleros españoles se enfrentaban a dificultades significativas, como la falta de materias primas y una capacidad de los Altos Hornos insuficiente para generar planchas de hierro y acero, vitales en la construcción naval. Esta deficiencia obligaba a una costosa importación de materiales, socavando la posición competitiva de la industria naval de España en el mercado global.

Ante tales desafíos, la Marina adoptó una política proactiva, buscando fortalecer la producción nacional de acero, en particular mediante la tecnología *Siemens-Martin*. Así, en 1887, en el contexto de la recién aprobada *Ley de la Escuadra*, se incentivó a los productores locales para que modernizaran y ampliaran sus operaciones de producción de acero. A pesar de que La Felguera, siendo la única capaz de implementar el método avanzado, se benefició inicialmente de pedidos considerables, el gobierno se abstuvo de establecer acuerdos exclusivos con el objetivo de evitar la formación de monopolios y promovió, en cambio, la competencia y diversificación en el sector.

Como resultado, empresas como Altos Hornos en Bilbao y en Málaga[271], respondieron expandiéndose o creando nuevas instalaciones y compitiendo en los concursos promovidos por la Marina. Paralelamente, se evidenció un progreso en la minería de hierro y carbón, vital para la siderurgia, complementado con avances en la generación de electricidad empleando recursos hídricos. Sin embargo, a pesar de estos desarrollos, España seguía mostrando una dependencia industrial considerable al entrar en el nuevo siglo, atribuible posiblemente a la escasez de capital y a un atraso tecnológico que desincentivaba la inversión en procesos productivos modernos y competitivos. Este progreso era crucial debido a la transición de la construcción de buques de madera a los de hierro, los cuales marcaban una era de modernización imperativa en la industria naval.

Hacia mediados del siglo XX, la siderurgia en España estaba concentrada en tres áreas, resultado tanto de decisiones políticas como histórico-tecnológicas. Estas eran: Vizcaya, Asturias y Valencia, las cuales se beneficiaron de su localización costera para traer la hulla y el coque a menor coste. Los Altos Hornos de Vizcaya (AHV), fundados en 1902, eran producto de una concentración industrial de Altos Hornos de Bilbao (1882), de La Vizcaya (1882) y de La Iberia (1888), mientras que

[271] Esta procedía de la Ferrería La Concepción de Manuel Agustín Heredia (1786-1846). Su hijo funda en 1899 los Altos hornos, fundiciones de hierros y acerías de Málaga.

la siderurgia asturiana no sufría una concentración tan evidente con la Fábrica de Mieres (1879), la Sociedad Industrial Asturiana Santa Bárbara (1895) y la Sociedad Metalúrgica Duro-Felguera S.A. (1900). Es importante señalar que la fábrica de Mieres tenía un origen extranjero con la fundación en 1844 de la *Asturian Mining Company* en Londres; se trataba de una colaboración empresarial de capitalistas franceses, belgas e ingleses, que se convertiría en la primera gran factoría siderúrgica en producir hierro empleando coque, proceso llamado "a la inglesa", en una cantidad industrialmente significativa (González Prieto & González-Pumariega Solís, 2015). El tercer foco siderúrgico es más tardío, con la Compañía Siderúrgica del Mediterráneo (1917) en el puerto de Sagunto, este se beneficiaba de su proximidad a las minas de hierro de Ojos Negros en Teruel, y es origen de los Altos Hornos del Mediterráneo (AHM).

La producción española, en particular la vasca, disfrutó inicialmente de una ventaja comparativa debido a la disponibilidad de menas puras, lo que le permitió exportar lingote no fosforoso. Sin embargo, esta ventaja disminuyó a partir de 1879 con la introducción de tecnologías que permitían la producción de acero a partir de arrabio fosforoso, lo que se generalizó en Europa continental en la década de 1890. Sumado a las medidas proteccionistas adoptadas por otros países y economías de escala en la siderurgia europea, redujo la primacía tecnológica de la siderurgia vasca y la forzó a buscar protección arancelaria. Existió también una colusión oligopolista que forzó a un mercado con producciones menores y mayores precios, que para la realidad española supuso un atraso relativo debido a una menor demanda (Escudero, 1999).

8.1.2. Siderurgia internacional

La siderurgia a nivel internacional estuvo prácticamente acaparada casi principalmente por el Reino Unido, el mayor exportador de hierro y acero a lo largo del siglo XIX. Otros países, que tuvieron un gran crecimiento posterior, como Alemania y Estados Unidos eran principalmente importadores. Para 1913, esa realidad comercial se transforma y las exportaciones alemanas superan a las británicas y convierten a este país en importador. Esta evolución progresiva del comercio puede ser dividida en tres etapas (Allen, 1979): el inicio de la década de 1830, desde finales de la década de 1870 hasta 1895 y de 1895 a 1913. Estas etapas corresponden a las tres fases en los precios del hierro y del acero. Inicialmente, Gran Bretaña era el principal exportador de hierro, mientras que Alemania y Estados Unidos eran sustancialmente importadores. En la segunda fase, Alemania

emergió como un importante exportador debido a una disminución en los precios. En la tercera fase, las exportaciones británicas disminuyeron, mientras que Alemania y Estados Unidos aumentaron sus exportaciones debido a la caída en los precios. Los cambios en los precios, la eficiencia, los costos de los insumos y los márgenes comerciales influyeron en las transformaciones de los patrones de comercio. La superioridad exportadora de Gran Bretaña a mediados del siglo XIX se debió a su eficiencia técnica y a los bajos precios de las materias primas. El ascenso exportador de Alemania se atribuyó a la disminución de los precios y a las ganancias excesivas obtenidas durante un período de crecimiento económico. Por otro lado, la disminución exportadora de Gran Bretaña se debió a una menor eficiencia y al incremento de los costos de los insumos después de 1900.

8.1.3. El acero como recurso estratégico

Al igual que la madera se estableció como el recurso naval estratégico por antonomasia hasta el siglo XIX, el hierro y el acero emergieron para iniciar su propia era de dominio. Esta revolución de los metales refleja un paralelismo distintivo con su predecesora: así como ciertas maderas, el roble por ejemplo, eran indispensables para los cascos y estructuras de los buques, el hierro y el acero se volvieron cruciales para estos componentes. De manera similar, la propulsión, que dependía de maderas específicas para la arboladura, como el cedro, el pino o el abeto, encontró un nuevo paradigma en los metales. La calidad, las propiedades técnicas y la disponibilidad de estos materiales se tornaron fundamentales para el avance naval. Con el advenimiento del siglo XX, la nueva realidad industrial promovió un aumento exponencial en la capacidad productiva de las naciones.

La principal causa de la derrota de Japón durante la Segunda Guerra Mundial se suscribe al fracaso de su plan de guerra, en particular a su apuesta por una guerra corta, que obligó a Japón a embarcarse en un conflicto prolongado contra una potencia económica y militar mucho más fuerte. La limitación fundamental de la economía de guerra japonesa fue su escasa producción de hierro y acero. A pesar de los intentos de hacer acopio de metales, incluido el acero, y de desarrollar la capacidad en el continente, los esfuerzos de Japón no llegaron a satisfacer sus necesidades. La fuerte dependencia de Japón de las importaciones de materiales esenciales, unida a su posición vulnerable en cuanto a las fuentes de materias primas, contribuyó a su fracaso (Krause, 1972).

La industria bélica japonesa se resintió debido a un énfasis excesivo en la producción de materiales acabados en Japón y a centrarse en la capacidad nominal más que en la producción real. A pesar de los esfuerzos de expansión, Japón seguía siendo una potencia industrial menor en comparación con sus adversarios. La dependencia del país del transporte marítimo para obtener recursos críticos dificultó su producción de acero. Las sanciones aliadas agravaron aún más la escasez de materias primas de Japón. Los esfuerzos por sustituir los recursos perdidos de Filipinas y Malasia por mineral de hierro procedente de China dieron resultados desiguales.

En el transcurso de la guerra, la producción siderúrgica japonesa disminuyó dados a los problemas de transporte y la imposibilidad de conseguir materias primas. Las contramedidas, como ampliar la producción nacional de mineral de hierro, utilizar los recursos locales y trasladar los equipos siderúrgicos a otras regiones, resultaron insuficientes. La falta de equilibrio entre Japón y sus territorios ocupados aumentó la vulnerabilidad del país. Las incursiones aéreas de las fuerzas aliadas tuvieron como objetivo la crítica industria del coque, aunque su impacto global en la producción de acero fue limitado. En última instancia, la incapacidad de Japón para mantener una fuente fiable de materias primas de hierro y acero fue un factor decisivo que condujo a su derrota en la Segunda Guerra Mundial.

8.1.4. Euskalduna

El siglo XIX fue un período de transformación significativa para la industria de construcción de barcos, especialmente en Vizcaya. Inicialmente, esta región, con una rica tradición en la construcción de barcos de madera, experimentó un auge en las décadas de 1840 y 1850. Sin embargo, a partir de 1870, la industria comenzó a declinar drásticamente, desapareciendo casi completamente hacia mediados de la década de 1880. El declive se debió principalmente a la liberalización del mercado interior, que permitió la competencia de actores extranjeros, y a la transformación tecnológica en el ámbito de la navegación marítima. El tránsito de los veleros de madera a buques con cascos de hierro y posteriormente de acero, impulsados por vapor, sumado a la falta de capacidad de los astilleros vizcaínos para adaptarse a estas nuevas exigencias, jugó un papel crucial en este proceso de declive.

En las últimas décadas del siglo XIX, la flota mercante de Vizcaya vivió un aumento notable, posicionándose como líder de la Marina Mercante en España. Hacia el año 1900, más de la mitad del tonelaje de los buques mercantes a vapor y

las principales compañías navieras del país estaban centralizadas en Bilbao. Este auge se debió principalmente al aumento del tráfico de buques *tramp* europeos (Valdaliso J. M., 1998). Los navieros vascos llenaron el vacío dejado por los armadores británicos en Europa al adquirir los buques previamente utilizados por estos, estrategia similar a la que usaría **Aristóteles Sócrates Onassis** (1906-1975) para construir su imperio naval. Junto con este auge naviero, se desarrollaron sectores íntimamente vinculados con el transporte marítimo, como la correduría y la agencia de buques, la consignación, los seguros, así como la construcción y reparación naval.

Es en este contexto en el que se estableció la Compañía Euskalduna de Construcción y Reparación de Buques, S.A. en Bilbao a principios de 1900, con un capital mayoritariamente aportado por los principales navieros de la provincia. La empresa nació con el propósito de reparar buques y construir buques para el sector civil, lo que amplió su base de clientes y compartió los riesgos de inversión. Para proteger la empresa de la competencia, Euskalduna adquirió los activos de la sociedad Diques Secos de Bilbao. Pese a un enfoque inicial en la reparación de buques, la construcción de buques se volvió una parte cada vez más importante de su negocio.

A pesar de las dificultades a lo largo de la década de 1920 y principios de los años treinta, la industria naval española, y particularmente la vasca, experimentó un desarrollo significativo en el primer tercio del siglo XX, lo que quedó reflejado en el surgimiento de pequeños astilleros y talleres auxiliares. Sin embargo, el período entre guerras trajo una caída en la demanda, lo que llevó a la diversificación de los grandes astilleros y al cierre de algunos pequeños. Antes de la Guerra Civil, el tonelaje mercante construido en astilleros españoles había aumentado en cifras absolutas y relativas y la participación de la industria naval española en el mercado mundial había crecido. Este crecimiento se basó en una capacidad de producción, un nivel técnico y una mano de obra cualificada, lo cual sentó las bases para un crecimiento futuro.

8.1.4.1. Astilleros y trenes: Diversificación en Vizcaya y Ferrol

El período de la Primera Guerra Mundial marcó un crecimiento espectacular en la industria naval vizcaína. La demanda de buques se disparó y tanto Euskalduna como La Naval de Sestao, otro importante astillero en Vizcaya, ampliaron su capacidad de producción y se diversificaron en otros sectores para aprovechar la creciente demanda. Sin embargo, tras la guerra, la crisis económica y la sobreoferta

en el sector naviero internacional afectaron a la demanda de nuevos buques, desequilibrio que condujo a una caída en la construcción naval. En respuesta, las dos grandes compañías redujeron empleos y salarios para resistir la crisis, así mismo emprendieron acciones comerciales. Entre estas acciones se encontraba el aventurarse en otros sectores como el de la maquinaria, el del automóvil, el de las construcciones metálicas y, sobre todo en el caso de Euskalduna, en la construcción de material ferroviario. Esta última constituyó aproximadamente un 46% de la producción entre los años 1926 y 1930 (Valdaliso J. M., 1998).

En la década de 1920, España experimentó un desarrollo sin precedentes en el sector de los transportes, marcado por una rápida electrificación y una renovación significativa en la infraestructura ferroviaria. Este avance fue impulsado por el aumento del consumo eléctrico y por la necesidad de modernizar los sistemas de transporte obsoletos, los cuales habían sufrido por la falta de provisiones durante la guerra y por la sobreexplotación.

El Estado jugó un papel de total importancia en este proceso, comenzando con la creación del Consejo Superior Ferroviario (1922) y posteriormente con el Consejo Superior de Ferrocarriles (1924) durante la dictadura de **Primo de Rivera**, facilitando la intervención y racionalización necesarias. El gobierno también promovió la industria nacional mediante subvenciones, favoreciendo a empresas españolas frente a competidores extranjeros. Este respaldo permitió a astilleros en declive, como La Naval, reconvertir sus instalaciones para la producción ferroviaria, uniendo fuerzas con otros talleres locales en una estrategia de diversificación. En 1921, el primer concurso público significativo para la renovación del material ferroviario fue parcialmente ganado por constructores nacionales agrupados, asegurando la fabricación de una gran cantidad de vagones. Aunque las locomotoras fueron adjudicadas a empresas extranjeras, la unión de los constructores locales permitió gestionar grandes pedidos y reducir costes (Romero González, 1999).

Nervión emergió como centro preferente de estas renovaciones, especializándose en la construcción de material ferroviario, incluyendo las primeras locomotoras eléctricas y los coches metálicos. La década de 1920 vio a Nervión adaptar y expandir sus instalaciones, asumiendo un papel destacado en la industria. Con el enfriamiento de la demanda ferroviaria en los años 30, la empresa se diversificó aún más, entrando en la fabricación de vehículos industriales y camiones, en colaboración con fabricantes como la francesa *Société d'outillage mécanique et d'usinage d'artillerie* (SOMUA).

Entre los factores del impulso industrial en el primer tercio del siglo XX se encuentran las obras durante la dictadura de Primo de Rivera, la neutralidad española en la Primera Guerra Mundial y las políticas de protección arancelarias.

8.1.5. La maquinaria

La industria naval y la construcción de maquinaria en España durante el período de fines del siglo XIX experimentaron un impulso notorio debido a las políticas adoptadas por el gobierno y la Marina. Estas políticas promovieron la industria nacional, centrando la atención en la construcción de barcos y en los componentes necesarios para su fabricación. Además de revitalizar industrias específicas, las políticas y compras estatales tuvieron un impacto amplio y multifacético en la economía española. Estas acciones no solo impulsaron la innovación tecnológica, sino que también facilitaron la transferencia de tecnología y conocimientos. Esto se evidenció en la formación de personal altamente cualificado, en el desarrollo de expertos en la gestión y en la introducción de nuevas tecnologías y procesos en el país, gracias a los contratos establecidos con fabricantes extranjeros.

En línea con la ley de 1887, que buscaba estimular la industria nacional de construcción naval y la producción de sus componentes esenciales, se establecieron los concursos limitados. Estos permitían a un grupo selecto de fabricantes de maquinaria como La Maquinista Terrestre y Marítima, La Compañía de Navegación e Industrias y Alexandre, ubicadas en Barcelona, junto con Heredia e Hijos en Málaga y Portilla, White y Cía. en Sevilla participar en esos concursos (Cubel, 1994). El programa naval que acompañaba a esta ley sirvió como catalizador de innovación, cuyo desarrollo permitió la construcción de la maquinaria que propulsaría los cruceros protegidos **Alfonso XII** (1891) y **Lepanto** (1893), la cual apostaba por capacidades nacionales para proyectos ambiciosos[272].

8.1.6. Petróleo

A finales del siglo XIX, el petróleo y sus derivados emergieron como combustibles clave, vinculados estrechamente al desarrollo industrial y progreso tecnológico. En España, la industria petrolera comenzó en el último cuarto del siglo con pequeñas destilerías que se dedicaban a importar, almacenar, refinar y distribuir petróleo y sus productos, principalmente keroseno y gasolina (Rodríguez Aguilar, 2017). Con

[272] Estas eran máquinas horizontales Thompson de triple expansión fabricadas por La Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona.

la llegada del siglo XX, el interés empresarial en el petróleo creció, y las empresas españolas, muchas de ellas filiales de multinacionales, empezaron a invertir en transporte marítimo, adquiriendo buques especializados en el transporte de cargas líquidas. Un ejemplo notable de este desarrollo fue la construcción y botadura en 1921 del **Artza Mendi** en Bilbao, el primer buque-tanque construido en España. Con la creación de la Compañía Arrendataria del Monopolio de Petróleos (CAMPSA) en 1927 por el gobierno del general **Primo de Rivera**, que excluía a las Islas Canarias y los territorios africanos de soberanía española, el sector en España da un giro trascendental. CAMPSA adquirió petroleros como **Elcano**, **Arnus** y **Conde de Churruca** en 1928 y comenzó la construcción del petrolero **Campoamor** en 1930. Durante esa década el monopolio expandió su flota[273] y operaciones, desarrolló un ambicioso plan de construcción naval, importando petróleo de diversos lugares y distribuyendo productos refinados a través de España. Este monopolio dura hasta 1993 quedando su presencia repartida en Repsol, Cepsa y BP.

8.2. La política naval española

La importancia de España resultó una condición *sine qua non* para mantener los intereses comerciales de las potencias europeas tras la Primera Guerra Mundial, en particular el Norte de África para Francia y más tarde para Italia, y el acceso al canal de Suez por parte de los británicos desde su inauguración en 1869. Es por ello que la política naval española de la década de 1920 estuvo dominada por objetivos mediterráneos.

A fines del siglo XIX y en los albores del XX, los programas navales del Estado impulsaron un efecto multiplicador en la economía. Estimularon la demanda en astilleros, siderúrgicas y fábricas de maquinaria y fomentaron la producción privada. Además, propiciaron un avance tecnológico significativo, incentivando la producción de acero y mejorando la construcción de maquinaria. Esta difusión tecnológica repercutió positivamente en la economía. No obstante, esto es objeto de discusión por parte de académicos como **Joseph Harrison**, quien cuestiona los beneficios de las políticas navales: entendiendo, por una parte, que hubo una transferencia real de conocimiento por parte del personal inglés que apoyo el

[273] La expansión inicial de la flota de CAMPSA incluyó todos los petroleros bajo pabellón español a excepción del Gorbea y el Tiflis.

avance español y, por otra, afirma que los programas navales tuvieron un coste de oportunidad en detrimento del avance general de la economía (Harrison, 1976).

8.2.1. Ley de Escuadra y la SECN

La *Ley de la Escuadra* de 1908 introdujo otra transformación dicha de mención: la gestión estatal de los arsenales dio paso a la administración privada. La SECN, ganadora del contrato, era una amalgama de firmas británicas[274] que aportaban patentes, conocimientos técnicos y diseños. Este cambio supuso la renovación y expansión de los arsenales de El Ferrol y Cartagena, equipándolos para construir barcos más grandes y avanzados, con ayuda técnica y financiera internacional. Este método permitió que empresas extranjeras, principalmente británicas, se establecieran en España.

La intervención extranjera no dejó de lado el impacto económico local. Se implementaron salvaguardias para asegurar que los materiales y la mano de obra beneficiaran a la economía española y se establecieron cuotas estrictas sobre la cantidad de personal extranjero permitido. Además, se aseguró que cualquier avance tecnológico, como la patente de la Turbina *Parsons*, se compartiera con España. Pese a ello, la dependencia de la tecnología británica tuvo un efecto adverso en la innovación española (Lozano Courtier, 1997).

Esta colaboración con la SECN también optimizó la producción de los astilleros, abordando el monopsonio en la construcción naval militar y la ausencia en mercados internacionales. La concentración de construcciones en dos astilleros principales facilitó economías de escala, mientras que la tecnología extranjera y los proyectos de diseño garantizaron que la Marina Española estuviera equipada con algunos de los buques de guerra más avanzados.

8.2.2. La Naval, Reinosa y la producción siderúrgica

Más allá de la construcción naval, el impacto de la innovación se extendió a otras industrias. Empresas españolas cubrían la creciente demanda de equipos como condensadores, máquinas y calderas. La mayoría de los aceros necesarios para la construcción de buques provenían ahora de productores nacionales, al igual que componentes críticos de los barcos. Además, la SECN inició la construcción de una nueva planta siderúrgica en el municipio de Reinosa en año 1917, ampliando sus

[274] Armstrong Whitworth, Vickers y John Brown & Company.

operaciones para incluir la construcción mercante, potenciada por legislaciones favorables, y diversificando sus instalaciones en respuesta al creciente mercado.

La creación de la planta siderúrgica en Reinosa, España, tiene sus raíces en consecuencias estratégicas y políticas derivadas de la guerra de Cuba de 1898. Esta situación catalizó la reforma naval española, especialmente durante el mandato del gobierno conservador de **Antonio Maura** en 1907.

Sin embargo, la SECN reconoció la insuficiencia de las instalaciones existentes y la necesidad de independizarse de influencias extranjeras, optando por establecer una planta mecano-siderúrgica avanzada. La ubicación de esta planta fue un punto transcendental, decidido tras un análisis exhaustivo comandado por **Alejandro de Calonge y Motta** (1881-1955), quien más tarde sería fundamental en la fundación y dirección de la factoría en Reinosa.

La elección de Reinosa para una planta siderúrgica en 1916 se debió a razones estratégicas, geográficas y laborales. Su clima frío era ideal para producir acero de alta calidad, mientras que sus aguas eran propicias para el tratamiento térmico del acero. Reinosa, estratégicamente situada lejos del alcance de la artillería enemiga y a 80 kilómetros de la costa, ofrecía una posición segura. La fuerza laboral local, valorada por su competencia y dedicación, fue un factor decisivo. El proyecto comenzó en 1917 con la compra de terreno y en su construcción se alcanzaron logros técnicos como un puente ferroviario y prensas avanzadas. La producción inició en 1920, estableciendo a Reinosa como un centro siderometalúrgico relevante en España y Europa. La creación de esta planta también trajo desarrollos en la región, como fueron la Escuela de Aprendices en 1925 y creación de la Constructora Nacional de Maquinaria Eléctrica (CENEMESA) en 1930.

8.2.3. Desafíos e impacto

La SECN enfrentó desafíos como la escasez de materias primas, especialmente acero, agravada por la Primera Guerra Mundial y los bloqueos comerciales. Además, las dificultades financieras se intensificaron durante la Guerra Civil, limitando los recursos económicos disponibles. Pese a estos obstáculos, la SECN logró mejoras significativas. Innovó técnicamente, modernizando la construcción naval y adoptando nuevas tecnologías para elevar la eficiencia y calidad de los buques. También enfatizó en la formación de sus trabajadores, elevando la calidad y competencia de la industria naval (Cervera Pery, 2012). La empresa impulsó el

desarrollo socioeconómico en las ciudades donde operaba, fomentando industrias auxiliares y generando empleo. Con la finalización de la Guerra Civil, perdió control sobre los astilleros militares, pero su compromiso con la mejora y superación dejó un legado duradero en la construcción naval militar española.

8.2.4. El Arma submarina

La *Ley de Escuadra* de 1908, propiciada por **Maura y Ferrándiz**, marcó el comienzo de la reestructuración naval de España luego de las adversidades de 1898. Aunque no consideraba la fabricación de submarinos debido a su estatus experimental en otras armadas, su objetivo era revitalizar la flota. En 1914, se delineó un nuevo plan para edificar acorazados y destructores, pero el estallido de la Primera Guerra Mundial lo paralizó. Para mantener el ímpetu inicial de 1908 y motivados por los éxitos de los submarinos alemanes en la guerra, el ministro de Marina, almirante **Miranda**, logró la sanción de la *Ley Miranda* en 1920, que habilitó la construcción de 28 submarinos. Esta ley marcó el nacimiento de la Armada Submarina Española y aprobó la compra de cuatro submarinos en el extranjero, además de la fabricación de 24 adicionales en España.

El primer submarino, **Isaac Peral** (A-0) botado en 1916 y basado en el modelo **Holland**, fue adquirido en Estados Unidos. Otros tres submarinos del **tipo Laurenti (clase A)**, obtenidos en Italia, se denominaron **Narciso Monturiol** (1917), **Cosme García** (1917) y **A-3** (1917), este último sólo recibió el numeral. Conjuntamente con la adquisición de estos submarinos, se erigió la Estación de Submarinos y su Escuela, para adiestrar a las tripulaciones, en Cartagena.

Después de la Primera Guerra Mundial, España encargó la construcción de seis submarinos tipo **B** a la SECN. En 1920, llegó el buque de salvamento **Kanguro** desde Holanda y se inauguraron los talleres y los alojamientos de la base submarina. En 1922, se puso en marcha el primer submarino fabricado en España, el **B-1**, seguido por otros de **tipo B** hasta la entrega del **B-6** en 1926. Además, se establecieron Estaciones Navales en Mahón y La Graña para brindar respaldo a los submarinos. La *Ley Cortina* de 1922 proporcionó fondos adicionales para las construcciones iniciadas con la *Ley Miranda*. En febrero de ese año, se estableció por Real Decreto que los nuevos submarinos debían desplazar cerca de 800 toneladas en superficie y se confirmó su construcción en octubre. El Estado Mayor de la Marina tomó decisiones clave sobre el diseño y las adaptaciones, lo que condujo a la elección del modelo **309-0** para los submarinos clase **C**, inspirados en

la clase **S** americana. A finales de la década de 1920, la Armada llegó a poseer 16 submarinos, una cifra sin precedentes. A pesar de los planes originales, la flota de submarinos de la clase **C** no se expandió según lo esperado. En 1926, **Alfonso XIII** autorizó la construcción de 12 submarinos adicionales de esta clase, lo que hubiera elevado el total a 18 unidades. Sin embargo, el proyecto se vio frustrado debido a dificultades económicas y posibles presiones externas. La realización de este plan habría significado una Armada más moderna, combinando estos submarinos con otros tipos de barcos.

La serie **D** representó una ambición fallida, cuya primera quilla se puso en septiembre de 1933. Este proyecto, solicitado a la SECN, pretendía ser una mejora de los submarinos tipo **C**, pero enfrentó múltiples problemas. En un intento por distanciarse de la anterior dependencia extranjera esta fue un diseño nacional, que se enfrentó tanto a desafíos tecnológicos como políticos, al coincidir su diseño con el estallido de la Guerra Civil. Al retomarse tras la guerra, el diseño del primer submarino de esta serie, el **D-1**, se había quedado anticuado y presentaba numerosas deficiencias. Entre ellas, su falta de estabilidad. En el plano constructivo, se utilizó una técnica de remachado obsoleta en lugar de soldadura, lo que refleja la falta de actualización tecnológica de España en aquel entonces. A esto hubo que sumar el acero de insuficiente calidad, lo que obligó al incremento del desplazamiento en unas 50 toneladas.

8.2.5. El ingeniero naval español a principios del siglo XX

La Marina en decadencia impulsó a numerosos oficiales a integrarse en la construcción de embarcaciones civiles e incrementó la demanda de ingenieros navales especializados en una industria carente del conocimiento técnico militar. Sin embargo, no fue hasta 1917 que el primer civil completó su formación en ingeniería naval, un hito que marcó el inicio de una tendencia que continuó hasta 1931. Ese año, debido a la preponderancia de estudiantes civiles, conocidos como alumnos libres, la Armada cerró su Academia de Ingenieros y Maquinistas, y el gobierno republicano procedió a reestructurar las fuerzas armadas y declaró varios cuerpos militares, incluida la Infantería de Marina, en proceso de disolución. Aunque esta medida fue efímera, sentó las bases para trasladar la educación en ingeniería naval del Ministerio de Marina al Ministerio de Educación, conocido entonces como Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes.

En paralelo, en 1928, se estableció el canal de ensayos de El Pardo, ahora conocido como CEHIPAR, en respuesta a la decisión del Consejo de Ministros durante el reinado de **Alfonso XIII** de construir los cruceros **Canarias** (1931) y **Baleares** (1932). Esta instalación sigue siendo un referente en la investigación hidrodinámica, extendiendo su conocimiento más allá del ámbito militar. El rebautizado como Centro de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR) es, desde 1948, miembro del *International Towing Tank Conference* (ITTC).

Áureo Fernández Ávila (1895-1968), consciente de la importancia del diseño naval, fundó en 1929 la Asociación de Ingenieros Navales de España (AINE) y lanzó su revista Ingeniería Naval. Aunque la asociación respondía a un enfoque civil, sus raíces estaban vinculadas al sector militar, reflejando la influencia de la tradición naval militar de Cartagena. Fue **Miguel Rechea** (1856-1933) quien impulsa el establecimiento de la Escuela Especial de Ingenieros Navales, graduando su primera clase en 1939. Después de varios traslados dentro de Madrid, la escuela se consolidó en 1948, evolucionando hacia lo que hoy conocemos como la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (ETSIN). Aunque la formación se expandió a otras ciudades, la ETSIN permaneció centralizada hasta la introducción de estudios similares en Ferrol en 1982. A pesar de la expansión, la educación en ingeniería naval ha seguido bajo la tutela del Ministerio de Educación, exceptuando la Escuela de Ingenieros de Armas Navales (ETSIAN), que desde 1943, ha estado formando al Cuerpo de Ingenieros de la Armada Española y proporcionando cursos avanzados.

8.3. La industria en general

A principios del siglo XX, España luchaba contra la adversidad en su sector industrial, marcado por una productividad limitada que frenaba su competitividad en los mercados internacionales. Este panorama comenzó a transformarse durante la segunda década del siglo, pues tuvo lugar un resurgimiento industrial impulsado por varios factores. Entre ellos, destacaron las innovaciones de la Segunda Revolución Industrial, la afluencia de capital tanto repatriado como extranjero, la ventajosa posición de neutralidad durante la Primera Guerra Mundial y un enfoque gubernamental proactivo hacia el fomento industrial nacional.

Este renacimiento se manifestó en la consolidación y modernización de sectores industriales y servicios y condujo a ciudades como Madrid, Barcelona y Valencia a

devenir en centros industriales esenciales. Por tanto, España experimentó un notable desarrollo económico y tecnológico que se mantuvo hasta los años 30. Durante este tiempo, sobresalió la expansión sutil de las empresas públicas, particularmente bajo la dictadura de **Primo de Rivera** y durante la Segunda República, cubriendo áreas que el sector privado no había abordado eficazmente y estableciendo fundamentos para empresas como la Compañía Telefónica Nacional de España (1924) e Iberia (1927).

No obstante, la Guerra Civil Española (1936-1939) trunca el progreso y sume al país en la devastación. La posguerra fue una era de desafíos: España adoptó una estrategia de autarquía, fomentó una industrialización proteccionista y lidió con el aislamiento internacional.

Antes de estos hechos históricos, a finales del siglo XIX, la industrialización española se había visto obstaculizada por deficiencias críticas en capital y tecnología, lo que llevó a depender de inversiones y maquinaria extranjeras. A pesar de estas dificultades, la neutralidad durante la Gran Guerra, combinada con políticas proteccionistas y la repatriación de capitales, infundió una nueva vida en sectores como el automotriz, el aeronáutico y el químico. Sin embargo, la trayectoria de crecimiento se vio severamente afectada por acontecimientos subsiguientes, incluida la crisis económica mundial de 1929 y la Guerra Civil y patentizó la fragilidad y complejidad del proceso de industrialización en el contexto español.

8.3.1. Nuevos materiales y su clasificación

Ya en 1924 publicaciones como las de **Thayer** aportan una organización algo más completa, puesto que incluye elementos modernos de la construcción naval de principios del siglo XX (Thayer, 1924). Entre ellos se incluyen las pinturas, la imprimación, los lubricantes, los aislantes y el cemento entre otros. A pesar de que el acero, en todos sus grados, es el principal material de construcción naval por tonelaje, otros materiales, como las aleaciones de aluminio, u otros de origen no metálico, como la fibra de vidrio, el ferrocemento y la madera siguen siendo parte del repertorio de materiales estructurales.

Como se ha desarrollado en los anteriores capítulos, la madera fue el material dominante en la construcción naval durante siglos. Su disponibilidad y viable manipulación permitían la construcción de barcos, a pesar de las restricciones dimensionales y la mayor vulnerabilidad al deterioro. Los metales eran

introducidos de manera auxiliar: así el hierro, el cobre, el plomo y el zinc eran empleados sólo para fijaciones, herrajes o revestimientos (Thearle, 1910). Con el siglo XIX se marca una transición hacia el hierro forjado, superando el escepticismo inicial que incluía su mayor peso. El acero surgió como una alternativa superior y en 1877 se desarrolló un acero dulce fiable con una resistencia a la tracción de 26-30 toneladas por pulgada cuadrada (Nature, 1900); este terminó por desplazar al hierro. A pesar de que se presentaron aceros más resistentes, su alto costo restringió su adopción.

8.3.1.1. Aluminio a comienzos del siglo XX

Los problemas de corrosión marcaron un paréntesis en el uso del aluminio en la Marina, excepto en embarcaciones fluviales. El interés se reavivó durante la Primera Guerra Mundial, con la aparición de lanchas de aluminio fabricadas en Alemania. Además, experiencias exitosas con embarcaciones en aluminio puro en Suiza y los Estados Unidos resaltaron las potencialidades del material, aunque se mantuvieron reticencias por la corrosión.

El progreso de la metalurgia y las medidas de protección reforzaron o afianzaron la confianza en el aluminio el cual, junto a la necesidad de buques más ligeros y rápidos, especialmente en contextos militares, allanó el camino para el empleo más frecuente de este metal.

El aluminio, en el primer tercio del siglo XIX, aviva el interés en la reducción de peso de los buques y de las embarcaciones. Por tanto, se priorizó un enfoque sistemático en la adaptación de materiales ligeros para aplicaciones específicas en la Marina y el punto de mira apuntó a accesorios menos críticos antes de proceder con componentes estructurales esenciales (J.A.S, 1931).

Para aligerar estructuras, se emplearon materiales avanzados con alta resistencia y propiedades mecánicas, así aceros especiales y aleaciones de aluminio. Se adoptaron métodos de construcción que optimizaron el uso del material y diseños mixtos con objeto de operar dentro de esfuerzos adecuados. Las innovaciones en propulsión, al utilizar metales ligeros, mejoraron la eficiencia energética. El aluminio y sus aleaciones fueron populares en componentes de motores, pero se enfrentaron a desafíos de corrosión, especialmente en ambientes marinos. Para ello, se desarrollaron revestimientos protectores para el aluminio, los cuales variaban según su propósito y su eficacia. La metalización por proyección utilizando zinc, conocida como el método *Schoop*, se usaba para generar una capa

de cloruro de zinc para proteger el aluminio, debido a la corrosión preferente del zinc en contacto con este metal. Otros revestimientos eléctricos, por ejemplo el cadmio, también habían aportado protección en ciertos contextos. Con un enfoque distinto, se introdujo el proceso anódico, ampliamente usado en hidroaviones en Inglaterra[275]; este método electrolítico crea una capa de alúmina que se combina con una cera natural denominada lanolina. Asimismo, se podían proteger mediante el proceso químico de la protalización; este prevenía de la corrosión marina de manera similar a la parkerización en acero que solo se puede emplear en materiales ferrosos. La pintura, aunque común en otros metales, necesita una preparación específica para adherirse al aluminio por lo que era más eficaz sobre superficies oxidadas. Mientras que el uso de pinturas bituminosas era preferido para componentes expuestos a agua salada, las pinturas antifouling, que contenían sales de cobre o mercurio, no eran apropiadas debido a que aceleraban la corrosión en aluminio. Por último, también se exploró el uso de grasas, especialmente las derivadas de aceites hidrogenados.

A fines del primer tercio del siglo XX, reemplazar metales más pesados por aluminio comenzaba a ser económicamente viable y permitía reducir el peso de las estructuras hasta en dos tercios, ahorrando en transporte y evitando rediseños. A pesar del costo inicial, aportaba beneficios a largo plazo: por ejemplo, mayor capacidad de carga y menores costos operativos. A pesar de la mayor implantación, su uso quedaba relegado al casco y a la estructura de embarcaciones menores, mientras que en barcos de mayores dimensiones se encontraba en componentes y, dada su ligereza, en superestructuras.

En el caso de la maquinaria, ya se empleaban los motores *Diesel* y los sistemas de alimentación de aceite, a causa de su durabilidad y su resistencia al calor. Por otro lado, en las instalaciones eléctricas el aluminio se valoraba por su conductividad.

A principio del siglo XX, la necesidad de fabricar aluminio a nivel nacional es evidente en Rusia, pues, a pesar de ser un importante consumidor, su producción era proporcionalmente baja. Al reconocer, la necesidad de energía para impulsar el crecimiento industrial, Rusia, en medio de una guerra civil en 1920, inició el plan *GOELRO* (ГОЭЛРО), acrónimo de la Comisión Estatal para la Electrificación de Rusia, el cual llevó a la construcción de centrales hidroeléctricas. Junto a estas centrales se construyeron estratégicamente fundiciones de aluminio: por ejemplo,

[275] La anodización, introducida industrialmente en 1923, comienza con el proceso *Bengough-Stuart* usando ácido crómico, el cual se empleó en los elementos del hidroavión de duraluminio.

la central Volkhovskaya en funcionamiento desde 1926, seguida de la fundición de aluminio adyacente *Volkhovsky* en 1932. En la Segunda Guerra Mundial, Rusia contaba con dos fundiciones de aluminio y una refinería de alúmina y, a lo largo de este conflicto bélico, se construyeron dos fundiciones más. La importancia del aluminio en aplicaciones bélicas fue reseñable, por lo que se favoreció su empleo en la aviación, los motores de tanques y el desarrollo de nuevas aleaciones.

Desde la década de 1920, la importancia del aluminio en la navegación civil y en la militar creció debido a la aparición de aleaciones forjadas de aluminio y magnesio apropiadas para aplicaciones marinas, los requisitos de peso, la prioridad de la seguridad y el confort de los pasajeros en los transatlánticos. El aluminio y sus aleaciones se utilizaron ampliamente en el equipamiento de los buques de guerra, como las carcasas de los motores, las cajas eléctricas y las puertas. El mobiliario también es afectado por este cambio, por razones de seguridad y peso, se empezaron a incorporar muebles de aluminio. El aluminio también adquirió popularidad en buques mercantes y trasatlánticos por sus atributos estéticos y de seguridad, como en los interiores del **SS Normandie** (1932), y más aún en el **SS France** (1962); este, con dimensiones similares y 30 años después, desplazaba casi 17.000 toneladas menos (un 20% menos), en parte gracias al empleo de aluminio en su superestructura.

Desde la primera fundición de aluminio en Europa, fundada en 1888 por la alemana *Aluminium Industrie Aktiengesellschaft* (AIAG), han de transcurrir casi 40 años para que en España se establezca la primera fábrica. Ubicada en Sabiñánigo, Huesca, gracias a la disponibilidad de ferrocarril, la convierten en un lugar ideal para el establecimiento de la Sociedad Anónima Energías e Industrias Aragonesas (EIASA) y posterior fomento de Aluminio Español, S.A. cuya producción se inicia en 1927.

8.4. Escasez de materiales durante conflictos armados y el regreso de la madera

Durante las dos Guerras Mundiales se emplearon grandes cantidades de madera. De todos modos, su importancia como material no tenía nada que ver con la requerida por las armadas anteriormente. Su uso dependía más de una razón económica o estratégica, al ser empleada para una construcción más veloz (McNeill, 2004). Consecuentemente, la escasez podía traer la elección más

cuantiosa de un material frente a otro, la modificación de las especificaciones o incluso la cancelación de programas.

Figura 8.1: Viñeta *Puente a Francia* y Cartel de guerra de construcciones navales (1918). Fuente: Jay Norwood Darling (izq.) y Joseph Clement Coll (dcha.)

La construcción en madera disfrutó de un breve regreso durante las Guerras Mundiales, particularmente de la mano de la construcción en los Estados Unidos de América. A la entrada de este país en la Primera Guerra Mundial, el programa de construcción liderado por la *Emergency Fleet Corporation* (EFC) tuvo originalmente 3.282 unidades, entre las construcciones en acero, madera, compuestos[276] y ferrocemento (Figura 8.1). De ellos, un 31% eran para la construcción de barcos de madera (Hurley, 1927). Al terminar dicho conflicto sólo se habían construido 323, de los cuales, una gran parte, correspondían al diseño propuesto por **Theodore Ferris** (1872-1953), se trataba de vapores de 3.500 toneladas de peso muerto (TPM). Su construcción estaba obsoleta tanto en la construcción como en la propulsión, por lo que este tipo de construcción fue rápidamente abandonada. La construcción de uno de estos vapores **Ferris** requería 1.420.000 pies de tabla[277] de pino amarillo, valor que se incrementaba a 1.670.000

[276] En este caso, la construcción en compuestos era madera con acero estructural para dar rigidez al casco. Se ha empleado la clasificación expuesta por Edward N. Hurley (1927).

[277] El pie de tabla es una medida de volumen con una equivalencia de 1 m^3 = 423,776 pies de tabla. Este valor no incluye elementos como las curvas.

pies de tabla empleando el abeto de *Douglas* (Thayer, 1924). Estos valores, dadas las condiciones de idoneidad, serían substancialmente menores empleando maderas de una mayor dureza o una clase diferente[278].

La *United States Shipping Board Emergency Fleet Corporation* publica en 1918 el manual *The building of a wooden ship* de **Charles Gerard Davis** (1870-1959); este autor, arquitecto naval de la *Traylor Shipbuilding Corporation*, la empleó en la formación de los nuevos empleados del esfuerzo naval.

Durante la Segunda Guerra Mundial, la variedad y cantidad de unidades fue significativamente mayor; los cazasubmarinos eran uno de los buques más reconocibles construidos en madera[279] y estaban basados en las unidades empleadas durante la Primera Guerra Mundial (Still, 2000). En el caso de las lanchas torpederas (**PT**, **S-Boot**[280], **MTB**), la construcción permitía una fabricación más práctica de las formas del casco. Su reparación se podía realizar en localizaciones y condiciones más adversas. En relación con los cazaminas, su mayor ventaja consistía en la reducción de su firma magnética. Las lanchas de desembarco, especialmente las *Landing Craft Vehicle and Personnel* (LCVP) se convierten en una unidad tan icónica como vital para el curso de la guerra. Las conocidas como *Higgins Boat* se construyeron con madera de contrachapado, con los costados y portón de proa en acero a modo de blindaje. Sus mayores virtudes eran la simplicidad de su construcción y el ahorro de acero, material, este último, tan cotizado en periodo de conflicto. La madera también vio su empleo en los botes de rescate, necesarios para la recuperación de los pilotos, de la tripulación y, en ocasiones, de los pasajeros de los aviones derribados en los escenarios marítimos y, a diferencia de las boyas de rescate que estaban realizadas en acero y que fueron utilizadas en escenarios tales como el Canal de la Mancha durante la batalla de Inglaterra[281].

Otras potencias navales, como Japón, emplearon una serie de buques auxiliares de madera[282] que respondían a la reducción de acero disponible debido a otros usos militares. Su construcción se realizó tanto en territorio nacional como en otros

[278] Goletas de un tamaño equivalente a los vapores "Ferris" se construyeron con la mitad de consumo de madera.
[279] Algunos de ellos acabaron siendo registrados como yates y buques pesqueros tras su servicio en la armada. Como ejemplos: el USS SC-107 y el USS SC-108.
[280] Las lanchas alemanas, como las S-38, empleaban madera de roble y pino para el casco, con un exterior de cedro y caoba. Y el puente era de pino. El acero se empleaba para mamparos y soportes como los motores.
[281] La alemana *Rettungsboje* o la británica *Air-Sea Rescue Float*.
[282] Motorizados, con un puente a media eslora y un desplazamiento de entre 70 y 250 toneladas.

territorios ocupados, así en Hong Kong[283]. En este último, se construyeron una serie de barcos de madera para abastecimiento de las fuerzas japonesas y su actividad comenzó en abril de 1943 con el carguero **Manshu Maru** (Ride, 1943). Otro territorio ocupado, las islas de Java, también sirvió para proveer de estos barcos a la flota japonesa. En esos territorios, la madera provenía de la isla de *Sundawa*[284] mientras que la construcción se realizada en la isla de *Lombok*[285]. Los informes considerados también destacaban una notable necesidad de personal cualificado[286] para atender los astilleros, hecho que constata el deseo de fabricar estos barcos en astilleros de reciente creación.

En relación a la construcción de buques mercantes, el acero ya había relegado a la madera con la introducción de los programas de construcción de la clase **Liberty**, convirtiéndose en un notable ejemplo de producción en masa de barcos y, en menor medida, la **Victory**. La clase **Liberty** consistía en buques de carga de concepción británica, pero adaptados por el ingeniero naval **William Francis Gibbs** (1886-1967) para una construcción más eficiente que sustituía gran parte del remachado por soldadura e incorporaba el ensamblado de secciones prefabricadas que eran producidas en todo el país y para, posteriormente, ser soldadas en los diferentes astilleros. Su vertiginoso ritmo de producción no contaba con precedentes al igual que el número de barcos perdidos por fallos catastróficos[287]. Si el remachado, primero manual y luego mecánico[288], ya suponía un ahorro de tiempo y de mano de obra frente a la construcción en madera, que requería incluso de mayor especialización, el empleo de la soldadura supuso una mayor ventaja tanto por el ahorro de tiempo como por la cantidad de operarios[289] requeridos para realizar una unión equivalente. Poco tiempo después de la publicación de las *Provisional Rules for Electrically Welded Ships (1918)* por el *Lloyd´s Register,* el afamado astillero

[283] Ocupado entre 1941 y 1945 y finalizado tras la rendición de Japón. La información referida procede de los informes de la British Army Aid Group (BAAG) realizados por Lindsay Ride de la universidad de Hong Kong para la inteligencia británica.

[284] Antigua colonia holandesa ocupada por Japón de 1942 a 1945. El trato recibido por el VOC holandés hizo que la ocupación japonesa fuese bienvenida por el sultán y la población. El VOC, controlaba el comercio entre islas. Entre sus maderas se encontraba el brasilete, comúnmente empleado para la fabricación del tinte rojo conocido como brasilina.

[285] También existían otros astilleros, como los de Batavia, actual Yakarta.

[286] 1000 hombres entre ingenieros, carpinteros, caldereros y marinos para "astilleros del Sur".

[287] Se registraron casi 1.500 casos de fracturas frágiles graves y diecinueve barcos se partieron por la mitad sin previo aviso. El grado del acero está considerado como la causa más probable, siendo la soldadura un concentrador de tensiones. El diseño se habría beneficiado si se hubiera determinado el efecto de la soldadura en la rigidez estructural.

[288] El remachado o roblonado se realizada originalmente empleando martillos, que fueron rápidamente reemplazados por remachadoras hidráulicas y neumáticas.

[289] Este número podía llegar a ser de cuatro o cinco, como mínimo incluía el calentador de roblones, el remachador y un asistente.

británico *Cammell Laird*[290] bota en 1920 el **MS Fullagar**, con el primer casco soldado en su totalidad. Este demostró un potencial más allá del uso de reparaciones que tenía desde su introducción en la industria naval; no obstante, mantuvo dicho uso hasta bien entrada la Segunda Guerra Mundial[291]. A pesar de los beneficios relativos a la mano de obra y velocidad, su incorporación en los procesos de construcción de buques estuvo lastrada por el coste y por la sugerida fragilidad de los cascos. Su fragilidad no era necesariamente debido a la falta de pericia en la soldadura, sino al acero empleado (Harris, 2015). Su conservadurismo estaba reforzado por los costes de implementación, incluyendo el equipo y la reestructuración de las instalaciones, al igual que la formación y certificación requerida (Mutch, 2001). Sin incluir las disputas sindicales, que comúnmente empañan las transformaciones tecnológicas[292]. Su posterior éxito dependió de la madurez en el campo de la metalurgia y de los gases, así como de la disponibilidad de la electricidad en los talleres. **E. M. MacCutcheon** del *David Taylor Model Basin* trató de ocuparse de la resistencia al adoptar la soldadura en la construcción naval, que, por una parte, justificaba como una "inercia natural que acompaña a la sustitución de un método universalmente aceptado" pero que estaba salpicado de una inapropiada comparación, especulación y controversia (MacCutcheon, 1949). Aunque su trabajo se centraba en analizar los méritos del comportamiento estructural, presentando evidencias directas e indirectas[293], sí destacaba la aún imparcialidad existente en ese tiempo. El uso del remachado continua presente en la construcción civil y naval, cuya aplicabilidad está determinada por multitud de factores como pueden ser el uso de materiales disimilares, la mano de obra, el acabado, el peso de la estructura, el coste o el mantenimiento.

Empleando el registro del *Lloyds Register* como indicador en 1875, año de la botadura del **HMS Dreadnought**, se observa claramente una caída de los buques clasificados con casco de madera, frente a un continuo crecimiento del número de buques de hierro (Martin, 1876). No obstante, transcurridos 37 años desde que el primer buque de hierro entrase en el registro, el porcentaje de buques de hierro registrados resulta ser poco menos de la mitad que los de madera: 2587 frente a

[290] Fundado en 1824 con el nombre *Birkenhead Ironworks*, ha sido un astillero que ha producido buques íntimamente ligados con la historia marítima y la innovación. Una de sus últimas unidades ha sido el buque de investigación polar RRS Sir David Attenborough (2018).

[291] Aunque embarcaciones innovadoras como las lanchas de desembarco, en particular las LCT Mark 1 (1940), fuesen de acero soldadas en su totalidad.

[292] Para mostrar la interrelación entre los diferentes oficios en los astilleros y cómo les afectó la popularización de la soldadura, es común citar el panfleto del político comunista Finlay Hart (1901-1989) *Prefabrication, Demarcation and the Shipyard Trades*, Communist Party Pamphlet, (1945), p. 7.

[293] Obtenidos de la experiencia con los buques Liberty.

5413. Cabe mencionar que en esa época, el porcentaje de la flota en los registros es menor que actualmente, pues dicho registro no revestía carácter de obligatoriedad, hecho que **Frederick Martin** ya destacaba en la obra anteriormente citada. Por lo tanto, estos datos deben contemplarse por la tendencia que demuestran, pero con cierto escepticismo.

8.4.1. Los equipos navales como freno de la producción

Los motores diésel, así como sus componentes relacionados, pusieron a prueba a los fabricantes, al igual que el ambicioso programa de destructores hizo con los fabricantes de engranajes y sopladores de tiro forzado. En ocasiones, la escasez llevó a la modificación de programas y tipos específicos de barcos e, incluso, a su cancelación. Por ejemplo, la falta de turbinas llevó a la instalación de motores diésel en tres clases de escoltas de destructores, reduciendo su velocidad máxima en hasta tres nudos. Sin embargo, esta decisión evitó su cancelación o retrasos significativos en su finalización cuando se necesitaban urgentemente para enfrentar la amenaza de los U-boot en el Atlántico. El caso más notable fue la cancelación de los cinco acorazados de clase **Montana** por el almirante **E. J. King** (1878-1956) en julio de 1943. Aunque **King** había estado en contra de la construcción de estos barcos de 60.000 toneladas desde el principio, la enorme demanda de acero y placas blindadas escasas le proporcionó la justificación para cancelar el programa. Otros grandes barcos de guerra, como tres de los seis de la clase **Alaska**, y embarcaciones más pequeñas como dragaminas y cazasubmarinos, tuvieron que adaptarse. En el caso de estos últimos, se cambió su construcción a madera debido a la escasez de acero. El gobierno abordó el problema estableciendo el *Plan de Materiales Controlados* en 1943. Este plan reguló la distribución de materiales relacionados con la defensa, asegurando que las industrias prioritarias obtuvieran suministros a tiempo. En la industria naval, las carencias afectaron de dos maneras. Primero, al intentar expandir las instalaciones al comienzo de la guerra, donde la falta de herramientas de máquina fue crítica para construir y equipar nuevos astilleros. Este problema persistió hasta 1943. Luego, la carencia de equipos afectó directamente a la producción de barcos. Con la construcción naval en su apogeo en 1943 y 1944, surgieron problemas de suministro de componentes, y, a menudo, se vieron agravados por cambios tecnológicos y de diseño, como en el caso de las válvulas. Estos cambios, a menudo, requerían modificaciones en barcos ya en construcción, lo que derivaba en entregas retrasadas.

8.4.2. Desguace naval: Aprovechamiento de materiales

El desguace de buques tiene sus raíces en el reciclaje de barcos que eran varados en la costa debido a las inclemencias del tiempo. Inicialmente, no era una industria, sino más bien una práctica de reutilización de materiales de barcos naufragados en la costa. En la época de los *Tudor*, los barcos de guerra viejos se desmantelaban de forma rutinaria y sus materiales se reutilizaban para construir nuevas embarcaciones, sobre todo cuando escaseaba la madera. En ocasiones los buques eran construidos con la madera de sus predecesores como ocurrió con el buque **HMS Vanguard** de 1631[294] (Thomas, 2006).

Sin embargo, si los materiales eran abundantes, los barcos de madera solían dejarse en lugares apartados para que se deterioraran de forma natural. A pesar de ello, en Gran Bretaña se reconoció incluso el valor de las piezas más antiguas de los barcos. *Castle & Sons*, una empresa pionera fundada en 1838, se especializó en el desmantelamiento de buques de guerra de madera. Esta madera recuperada, sobre todo el roble y la teca, era muy apreciada por su durabilidad y se utilizaba en la construcción y en el mobiliario (Bowen, 1938). Esta fue el caso de la construcción del edificio *Liberty's Tudor* en *Great Marlborough Street*, Londres, donde *Higgs & Hill* empleó más de 24.000 pies cúbicos de teca y roble de los buques **Impregnable** (1810) y el **Hindustan** (1841) durante su edificación entre 1922 y 1924.

Dada la gran dependencia de mano de obra intensiva y unas condiciones de entorno adecuadas, los barcos de madera llegaban a ser quemados en zonas con costes de mano de obra elevada, mientras que los países con mano de obra más barata, como lo fue Reino Unido, podían reutilizar los materiales de los barcos de forma más rentable. Con la llegada de los barcos de hierro y acero, el proceso de desguace evolucionó. Las herramientas tradicionales resultaban inadecuadas, por lo que se necesitaron explosivos y equipos sofisticados. Los valiosos restos de acero se fundían y reutilizaban en el Reino Unido, el cual lideró este cambio gracias a su maquinaria industrial. Esto despertó el interés de otras naciones, que adoptaron el modelo británico de desguace de buques, innovando sus propias técnicas lo que les permitía acceder a recursos materiales de los cuáles carecían o tenían un suministro bajo para alimentar su construcción naval. Países como Holanda, Alemania, Italia y Japón empezaron a comprar barcos británicos obsoletos para

[294] El nombre de HMS Vanguard lo han llevado 10 unidades a lo largo de su historia. El autor se refiere a la segunda de ellas, tras su segunda reconstrucción entre 1615 y 1631.

desguazarlos desde la última década del siglo XIX. Se hizo común cambiar el nombre de los barcos antes de su viaje final, posiblemente para evitar empañar su legado en caso de percance. Antes y después de la Primera Guerra Mundial, las naciones con escasos recursos de hierro compraban barcos británicos por su chatarra.

En la década de 1880, comienza propiamente el desguace de buques de hierro y acero, con pioneros como *Denny Brothers* y *Thomas W Ward*, que también incluían el reciclado de latón, cobre, plomo, hierro fundido y otros materiales y piezas utilizables. El auge del desguace de buques fue considerable a principios del siglo XX, con empresas ya establecidas ampliando sus operaciones. En la década de 1920 surgieron numerosos astilleros de desguace por todo el Reino Unido y, en la de 1930, muchos buques de guerra ya habían sido retirados del servicio.

Para la década de 1930, el desguace de buques se había convertido en una empresa altamente científica en Gran Bretaña; los astilleros se hallaban estratégicamente situados y equipados con maquinaria avanzada accionada principalmente por motores eléctricos. Adicionalmente, la introducción de quemadores de oxiacetileno revolucionó el sector, permitiendo un corte eficaz de las planchas de acero. Estos avances, aunque ahorraron mano de obra, también provocaron conflictos laborales. Para ese momento, habían comenzado los esfuerzos para minimizar estos residuos, que era un cambio significativo de la práctica anterior de sólo recuperar metales valiosos, mientras que otros materiales a menudo eran descuidados.

Tras la Segunda Guerra Mundial, aparecen astilleros aún más especializados. En Reino Unido dio lugar a la *British Iron & Steel Corporation* que se hizo cargo del desguace de los buques de guerra.

8.4.3. Deforestación accidental: Los bosques de cedro de Bermudas

Con el advenimiento de los buques de acero, los bosques de cedro de las Bermudas comienzan su recuperación. Sin embargo, en la década de 1940, el 95% del bosque de cedros fue arrasado por plagas introducidas durante la construcción de bases militares estadounidenses. Estas acciones tuvieron graves consecuencias ecológicas, como la puesta en peligro del pájaro azul y la extinción de especies de cigarras.

8.4.4. El cemento como sustituto

En la búsqueda de alternativas a los materiales tradicionales de construcción naval, el hormigón armado surgió como una opción inesperada. Durante siglos, los barcos se construyeron con madera, para pasar después a materiales duraderos como el acero. Sin embargo, durante las Guerras Mundiales, el acero se convirtió en un bien escaso.

El cemento y el ferrocemento en la construcción naval no son un concepto moderno. Estos buques tenían innumerables usos tanto de transporte como de ingeniería civil. En el campo de la ingeniería civil, un ejemplo se encuentra en el estrecho de Malaspina en Canadá. Un total de diez barcos sirven como rompeolas flotante en el río, de los cuales nueve se construyeron durante la Segunda Guerra Mundial, mientras que uno es un petrolero botado en 1921.

En 1848, **Joseph-Louis Lambot** (1814-1887), pionero del hormigón armado, construyó un barco con ferrocemento, dando origen a la industria nicho de la construcción naval de hormigón. Pronto se fabricaron barcazas de ferrocemento en los canales europeos y, a finales de siglo, zarpó el primer barco de hormigón. Pero los barcos de hormigón presentaban un defecto crítico: sus cascos habían de ser gruesos, lo que los hacía pesados y poco eficientes en el consumo de combustible. Las roturas en el casco podían provocar que se hundieran rápidamente debido a su peso, lo que les valió el apodo de "lápidas flotantes".

Otra vez son los conflictos armados el catalizador para la innovación. La *U.S. Shipping Board*, creada por la *Ley de Transporte Marítimo* de 1916, estableció la *Emergency Fleet Corporation* (EFC) durante la Primera Guerra Mundial para hacer frente a las necesidades de transporte marítimo reflejo de las enormes pérdidas de buques mercantes aliados, casi 5.000 hundidos por submarinos alemanes. Aunque en un principio se centró en los buques de madera y acero, la escasez de acero provocó un cambio hacia los buques de hormigón armado. En colaboración con **Nicolay Fougner**[295] en 1917, Estados Unidos dio luz verde a un programa de construcción de buques de hormigón en 1918. A pesar de que se encargaron 43 buques mercantes de hormigón, sólo se terminaron 12. La "Sección de Buques de Hormigón" del EFC designó dos tipos de buques: Cargueros de 3.000 y 3.500 toneladas y petroleros de 7.500 toneladas, construidos en cinco astilleros

[295] Para agosto de 1917 había botado el Namsenfjord, de 26 metros de eslora 400 toneladas de desplazamiento. Tras obtener permiso para construir barcos de 600 y 1000 TDW, Fougner aseguró compradores para ambos en mayo de 1917. El barco de 600 TDW fue el 'M.S. Stier', y el de 1000 TDW, el 'M.S. Askelad'.

estatales. Cabe destacar que el carguero **SS Atlantus** (1918) fue el primer buque de la EFC botado.

Mientras que los programas de buques de hormigón de la Primera Guerra Mundial fueron criticados por su ineficiencia en costes, las pérdidas de buques y la escasez de acero de la Segunda Guerra Mundial reavivaron el interés por la construcción de buques de hormigón. Los gobiernos comprendían ahora mejor el potencial y las limitaciones de la construcción naval de hormigón. El Reino Unido se centró en las barcazas de ferrocemento para puertos de emergencia, mientras que Estados Unidos dio prioridad a buques más grandes como barcazas petroleras y vapores de carga. La Comisión Marítima norteamericana recurrió a la construcción de buques y barcazas de hormigón sólo cuando los constructores de buques de acero se vieron desbordados. Estos recurrieron a cinco constructores, *McCloskey & Co., Concrete Ship Constructors, Inc., MacEvoy Shipbuilding Corp., San Jacinto Shipbuilding Corp.* y *Barrett & Hilp*. El tipo de buques que construyeron eran buques de hormigón autopropulsados de carga seca a granel diseñados para transportar azúcar, barcazas cisterna, refrigeradas, de mantenimiento o, en otros casos, para carga de Bauxita. Como ejemplo, el astillero de Filadelfia *McCloskey & Co.*, desempeñó un papel fundamental al conseguir en 1942 contrato de 30 millones de dólares para 24 buques de carga de hormigón[296] antes incluso de que se construyera su astillero. Gracias a las avanzadas técnicas de construcción, como el vaciado continuo y el uso de materiales innovadores, aceleraron la producción llegando a mediados de 1943 a tener una plantilla de 5.000 trabajadores. De estos buques, el **SS David O. Saylor** y **SS Vitruvius** llegaron a entrar en acción, siendo parcialmente hundidos como rompeolas durante el día D (6 de junio 1944) durante la Operación *Overlord*.

Cogiendo de ejemplo los vapores de *McCloskey*, y en particular la clase **C-1-S-D1**, estos se distinguían por ser vapores de carga uniformes que medían 350'3" de eslora con una manga de 54'0" (106,76 metros) y un puntal de 35'0" (10,67 metros). Los nueve primeros tenían un calado de 26'3" (8 metros) y desplazaban 10.950 toneladas, mientras que los 15 últimos tenían un calado algo superior de 27'3" (8,31 metros) y desplazaban 11.370 toneladas. Todos los buques eran de cubierta única, con puentes de hormigón, cubierta de madera, diez mamparos, seis compartimentos de carga y alojamiento para 39 tripulantes. Estaban propulsados por motores de vapor de triple expansión alimentados por petróleo, que producían

[296] 22 destinados al ejército y 2 a la marina.

1.300 IHP, y construidos por *Prescott Machinery Co.* y *Toledo Shipbuilding Co.* A pesar de que los buques de hormigón se pudiesen botar mediante deslizamiento, el dique seco era el método preferido al reducir la tensión en las estructuras (Hunt, 1943). Para apoyar el esfuerzo de la guerra, en Reino Unido también se construyeron barcazas de hormigón armado (FCB), existían dos tipos principales de FCB: Las Barcazas Abiertas (FB), útiles para el transporte ligero, y las Barcazas de Gasolina (PB) para el combustible. Entre el 26 de octubre de 1940 y el 10 de abril de 1945 se fabricaron 294 barcazas abiertas. Se construyeron con paneles y costillas prefabricados, siguiendo el sistema *Ritchie Unit* desarrollado por **Harry C. Ritchie**, que ya había diseñado buques de hormigón en la Primera Guerra Mundial. El Ministerio de Transporte de Guerra y el Almirantazgo se decidieron por el diseño *Mouchel* para estas barcazas, lo que aceleró su producción. Para mayo de 1944, 200 barcazas de gasolina se habían construido previó a la operación en el continente europeo. En la posguerra, muchas de estas barcazas fueron excedentes y encontraron diversos usos, como almacenamiento de agua, muelles y casas flotantes.

En la posguerra, el regreso del acero dejó obsoletos a los buques de hormigón que se hundieron, se reutilizaron como rompeolas o se convirtieron en atracciones turísticas. Mientras que la flota de la Primera Guerra Mundial tuvo destinos pintorescos, como hoteles y clubes, la de la Segunda tuvo destinos más mundanos: rompeolas, muelles o directamente abandonados.

El uso del hormigón no quedaba relegado a la construcción, sino como lastre, algo que se empleó de manera exitosa en los ataques navales de *Zeebrugge* y *Ostende* durante la Primera Guerra Mundial (Figura 8.2). Para neutralizar la amenaza de los submarinos alemanes, que habían hundido una parte importante de los buques mercantes aliados, en 1918 se llevó a cabo una audaz incursión anfibia en *Zeebrugge* y *Ostende*. Controlado por los alemanes desde 1914, el canal de navegación de *Zeebrugge*, que conduce a Brujas, era un punto estratégico para los submarinos y los destructores torpederos. Dada la importancia de *Zeebrugge*, los alemanes habían fortificado la costa con potentes cañones. Por tanto, los británicos desarrollaron un plan para bloquear los puertos hundiendo buques de guerra, causando destrozos y navegando de noche por aguas desafiantes e infestadas de minas. A pesar de algunos éxitos, como el hundimiento de barcos bloque, el impacto de la incursión fue temporal, ya que los alemanes restablecieron rápidamente el acceso. Por tanto, el optimismo inicial de la operación no se correspondió con la realidad, principalmente con el número de bajas.

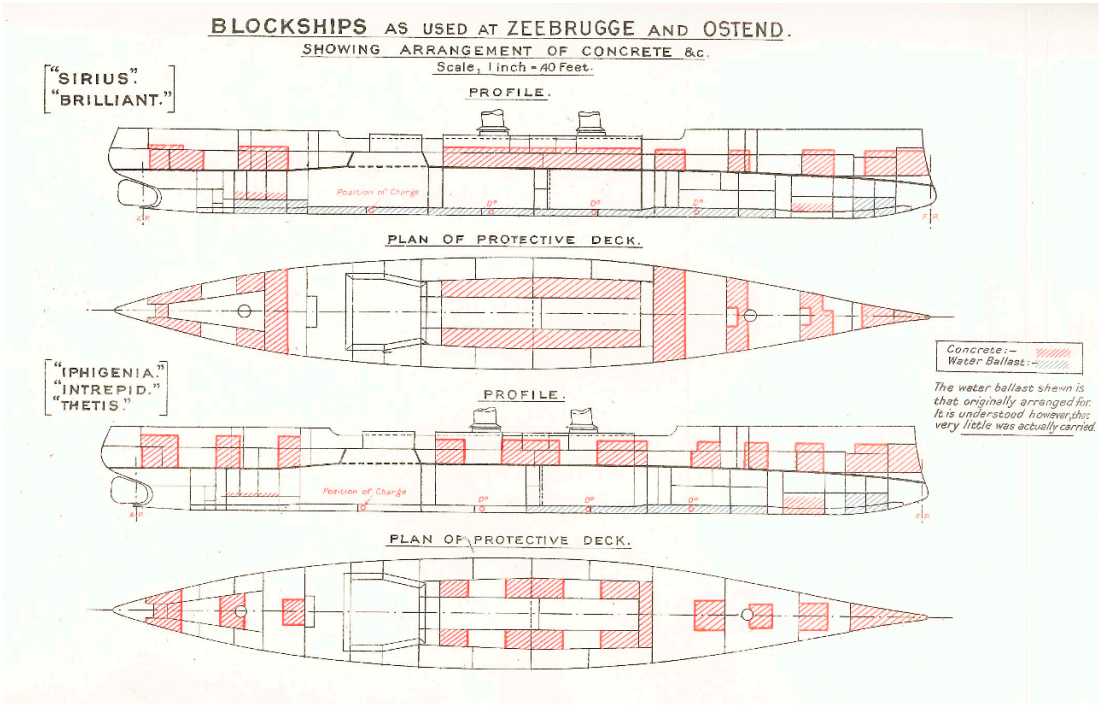


Figura 8.2: Planos de buques de bloqueo[297]. Fuente: DNC Department Admiralty

Desde la presentación en Exposición Universal de París de 1855, el invento de **Lambot** se enfrentó a obstáculos: el intercambio tecnológico mundial era incipiente; dominaba la construcción naval tradicional, dependiente de la abundante madera y, pronto, el acero transformó el sector de la construcción naval. Esta construcción, durante la segunda mitad del siglo XIX, estuvo ligada a barcos de pequeño porte como gabarra o botes. Para la primera década del siglo XX, se introducen los mamparos estancos (Lavache, 1978). Cuando se analizó el potencial para los buques de mayor porte, los costes de fabricación para unidades hacían económicamente viables la construcción de un buque de hormigón armado de 3.500 TPM, si se comparaba con los equivalentes en acero. Por tanto, existía una ventaja a partir de cierto tamaño que, junto al menor coste de infraestructura, podía hacer la operación más competitiva. La construcción de buques de hormigón requería de varios pasos, como la creación de moldes de madera, la inserción de varillas de acero de refuerzo, el vertido de hormigón y el curado. Aunque el proceso no era más rápido que el de la construcción naval en acero, necesitaba menos trabajadores cualificados y aprovechaba los materiales disponibles cerca de los astilleros. Esto último es lo que explotó **Fougner**, que innovó utilizando barras de acero de puentes en lugar de vigas de acero prefabricadas. Este sistema, denominado sistema *Fougener*, aprovechaba materiales locales y rentables y evitaba la necesidad de

[297] *Records of Warship Construction during the War 1914-1918 Volume II*. Director of Naval Construction.

contar con trabajadores especializados en acero. Los cascos de hormigón se fabricaban como entidades singulares, lo que eliminaba las técnicas de unión avanzadas. También introdujo una pistola de cemento hidráulica, que agilizó el proceso de construcción. El proceso incluía la colocación de hormigón en formas de madera, las cuales están atadas y reforzadas para mantenerlas en una posición exacta. Esto asegura líneas suaves para el exterior del casco y una alineación correcta para todas las partes del buque. Generalmente, estas formas se hacían de contrachapado con refuerzos de madera más pesada y con las formas interiores más intrincadas y pequeñas al emplear un revestimiento metálico. El procedimiento habitual consistía en erigir la forma exterior completa y luego colocar el refuerzo y las formas en el fondo del casco y hasta una altura de 3 o 4 pies por encima del punto más bajo de la quilla. Luego se aportaba hormigón hasta este nivel, seguido por la colocación de acero de refuerzo y formas para un levantamiento adicional hasta aproximadamente la línea de cubierta

En la década de 1940 comenzó un nuevo capítulo en la construcción de buques de hormigón. El profesor **Pier Luigi Nervi** (1891-1979), por encargo del gobierno italiano, se embarcó en un viaje innovador hacia la construcción de cascos de ferrocemento. Esto se tratará en el siguiente capítulo.

8.4.5. El Reino Unido tras la Segunda Guerra Mundial

Tras la Segunda Guerra Mundial, la escasez de materiales se mantuvo como un desafío. Especialmente el sector de la construcción naval en el Reino Unido aún sufría las consecuencias en 1947, tal como informaba el *Glasgow Herald* de 6 de junio de ese año. (Glasgow Herald, 1947). La industria de la construcción naval británica se enfrentó a serios problemas a pesar de haber tenido una alta demanda de pedidos. La producción estuvo muy por debajo de la capacidad debido principalmente a la escasez de materiales, especialmente del acero, que representaba aproximadamente el 80% de los materiales utilizados en la construcción naval. A pesar de su potencial para contribuir significativamente a las exportaciones británicas, la industria sufrió reducciones en el suministro de acero, dificultando el cumplimiento de contratos, incluidos los internacionales.

8.5. La iniciativa privada y el periodo de entreguerras

Entre los resultados de la industrialización se observa una modificación en las actividades filantrópicas; las grandes fortunas del siglo XIX y principios del siglo

XX, enriquecidas por las nuevas industrias del acero, del ferrocarril, de los carburantes y del telégrafo, entre otros, pasan a la donación a gran escala en países occidentales. Este es el caso de Grecia tras la guerra greco-turca de 1897; la armada helénica poseía buques torpederos anticuados y unos pocos buques de guerra de origen francés. Para reforzar su flota, en 1908 adquirieron nuevos destructores ingleses y alemanes. El notable acorazado de la clase **Pisa Georgios Averof** (1910), orgullo de la Armada Griega, fue obtenido de Italia. Originalmente destinado a la Armada Italiana, quedó disponible después de que los brasileños retiraran su interés. El gobierno griego lo compró con fondos del testamento de **George Averof** (1815-1899), complementados con contribuciones de griegos de todo el mundo. El acorazado costó un total de 23.650.000 dracmas de oro. Una estipulación del testamento de **Averof** destinaba una parte de sus bienes a la construcción de un poderoso crucero que llevaría su nombre. Este crucero estaba destinado a servir de buque escuela para la formación práctica y teórica de la Academia Naval.

8.5.1. La oportunidad y Horacio Echevarrieta

En el primer tercio del siglo XX, la Armada Española dependía principalmente de proyectos británicos, reflejo de la influencia británica en la Sociedad Española de Construcción Naval. Sin embargo, a pesar de los desafíos y el monopolio de la SECN, **Horacio Echevarrieta** (1870-1963), emerge como agente disruptivo aprovechando las oportunidades de la Primera Guerra Mundial. Este adquiere los Astilleros de Cádiz en 1917 tras su cambio de enfoque comercial, de naviero a constructor. Pese a las conocidas dificultados, en 1925 logró el encargo del buque escuela **Juan Sebastián Elcano** (1927), que con casi 100 años aún permanece en servicio.

Con el gobierno de **Miguel Primo de Rivera y Orbaneja** (1870-1930), se mostró interés en reducir la dependencia extranjera, lo que favorecía la iniciativa privada nacional, y en particular a Echevarrieta al que se le encomendó la construcción de torpedos y un submarino de gran tonelaje. La estrategia de crecimiento de la Armada Española durante la dictadura es aprovechada por la Armada Alemana, que, de manera clandestina, estaba adquiriendo los conocimientos para su propio crecimiento en el periodo de entreguerras. Esta trató de limitar la influencia de la SECN en la adquisición de buques y equipos, a favor de su *Ingenieurskantoor voor Scheepsbouw*[298](IVS) y del empresario **Echevarrieta** (Morlán, 1999). Aunque esta

[298] Del holandés: Oficina de ingeniería para la construcción naval. Este arreglo permitió a la Marina alemana mantener una oficina de diseño de submarinos, mejorando sus conocimientos técnicos a través de proyectos encargados por fuerzas

colaboración no terminase siendo lucrativa para el empresario[299] o cumpliese los objetivos de establecimiento de una industria naval ajena a la influencia británica, sí nos permite resaltar la importancia de mantener y desarrollar la capacidad técnica que cimiente un crecimiento industrial como el que experimentó la *Kriegsmarine*[300]. Esta colaboración alemana permitió a **Echevarrieta** aventurarse en otros sectores, como la fundación de la aerolínea Iberia (1927) y emprender negocios en el sector petrolífero. De alguna manera, se consiguió desafiar la dependencia de la industria naval española al apoyo tecnológico y financiero británico.

Esta requirió de una compleja triangulación durante la década de 1920. **Echevarrieta** estableció un acuerdo con la Armada para construir una factoría de torpedos y, en 1921, firmó un tratado de colaboración con *Friedrich Krupp AG*, gigante industrial alemán, para producir unidades navales. Esta relación excluyente impedía la colaboración técnica de *Krupp* con otras empresas españolas y viceversa. El acuerdo también establecía que Echevarrieta adquiriría de *Krupp* cualquier material necesario y los motores de la también alemana *MAN AG*.

En 1924, tras la ruptura de contrato con *Krupp*, **Echevarrieta** colaboró con otras empresas alemanas, culminando en la creación de la Fábrica Nacional de Torpedos en 1925, oficializada en 1926. Las negociaciones atrajeron interés del Reino Unido, lo que llevó a **Echevarrieta** a obtener condiciones favorables de Alemania, incluyendo créditos bancarios. La colaboración estableció estrictas condiciones de producción y venta exclusiva a las marinas española y alemana. **Echevarrieta**, sin respaldo gubernamental español, inició la construcción de un submarino con el objetivo de venderlo a la Armada Española. Los astilleros de Cádiz, sin la preparación necesaria para diseñar un buque tan avanzado, se limitaron a ensamblar piezas fabricadas en Holanda, Alemania y Suiza, de un proyecto inspirado en el modelo **Pu-111** diseñado por IvS. Este proyecto recibió asistencia alemana mediante la holandesa *Wilton-Fijenoord* y fue botado en 1930, con resultados satisfactorios. Debido a la inestabilidad política de esa década en España, su venta fue compleja, tras la negativa de la Armada Española, es vendida

navales extranjeras. Al crear una empresa pantalla en los Países Bajos, los constructores navales alemanes podían eludir las restricciones impuestas por el Tratado de Versalles.

[299] A pesar de las compensaciones por la fábrica de torpedos y el prototipo de submarino E-1, desde 1930 comienza su decadencia que termina con la incautación de los Astilleros de Cádiz.

[300] Durante la Segunda Guerra Mundial la armada alemana construye 1,162 U-boats. Fuente: Britannica.

en 1934 a la Armada Turca donde sirvió hasta 1947, portando motores diésel de *MAN* y equipo de combate alemán.

8.5.2. United Fruit Company

Un caso más moderno de empresas con un poder económico y social semejante a la Compañía de las Indias Orientales[301] se encuentra en la *United Fruit Company*, UFCO desde este momento. Fundada en 1899, operó entre los Estados Unidos y América Latina y el Caribe hasta su disolución en 1970, siendo reestructurada en la *Chiquita Brands International*. El principal negocio de esta multinacional era la producción, el transporte y la publicidad de productos tropicales (United Fruit Company, 1937). La banana era su producto principal, pero también comerciaban con azúcar, cacao y coco. La UFCO recibió un importante apoyo de los Estados Unidos, siendo partícipe de la creación de las conocidas como "Repúblicas bananeras" y del afianzamiento comercial con o imperialista de ese país en los territorios que operó (Figura 8.3). Con un origen en el ferrocarril, su compleja cadena logística incluyó decenas de barcos durante su historia[302], llegando a ser apodada la "Gran Flota Blanca"[303]. Estos eran en sus inicios barcos de vapor con capacidad de transporte de pasajeros y carga. Debido al particular modelo de negocio[304], las empresas transportadoras de productos perecederos como las bananas, han sido grandes innovadores en la cadena logística y en el transporte marítimo refrigerado (Lennerfors & Birch, 2019). Los primeros barcos refrigerados, construidos para la UFCO, fueron en 1904 con un sistema de amoníaco (Noffsinger, 1938), este sistema se utilizaba en cargas pequeñas como almacenes en buques de pasaje. Hacia 1936, la UFCO estaba incorporando sistemas de dióxido de carbono en buques como el **Tela**[305], más tarde en 1972 introdujeron los primeros contenedores refrigerados de la mano de los buques gemelos portacontenedores denominados **Barranca** y **Bayano**, construidos en Vigo

[301] Ver capítulo 3 "Antecedentes".

[302] Para 1938 UFCO la flota tenía 92 barcos en propiedad y 6 en flete. Con una carga combinada de 444.001 toneladas de registro bruto, según los datos de *United Fruit Historical Society* extraídos del *Annual Report* de la compañía.

[303] Que debe ser diferenciada de la Gran Flota Blanca del presidente de los Estados Unidos Theodore Roosevelt ordenó circunnavegar la tierra entre 1907 y 1909 en una misión diplomática, cuyo objetivo era mostrar el poderío naval norteamericano.

[304] En un claro ejemplo de integración vertical, la UFCO realizaba la explotación de las plantaciones, su transporte terrestre y marítimo y finalmente su venta directa a minoristas. Para 1954 fue obligada a iniciar un proceso de desinversión que paliase la situación de monopolio que habían creado.

[305] El Tela fue un buque mercante de 4.083 TRB construido en 1927 en el astillero de *Workman, Clark & Co Ltd.*, Belfast, y originalmente sin sistema de refrigeración; hacia 1936 es adquirido por la UFCO y hundido en 1942 por un submarino en el Caribe.

por los Astilleros de Hijos de J. Barreras, S. A. Noticia de la que se hacía eco la revista *Ingeniería Naval* en su edición de junio de ese mismo año.

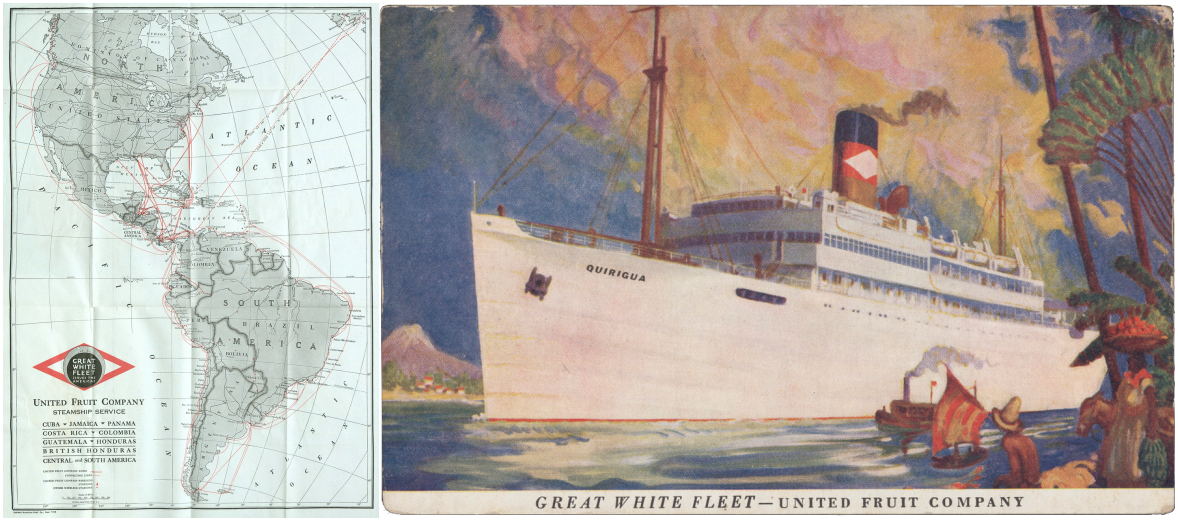


Figura 8.3: Rutas del servicio de vapor de la UFCO en 1924 (izq.) y postal del barco Quirigua de la UFCO (dcha.). Smithsonian Institution Archives y Thomas Crane Public Library

8.5.3. El Dédalo (1922)

El proyecto de la Aviación Naval de España, iniciado en 1917 bajo el reinado de **Alfonso XIII** y liderado por el capitán de corbeta **Pedro María Cardona** (1872-1936), marcó un hito en la historia aeronáutica del país. Cardona, conocido por su talento en planificación, fue el encargado de establecer las bases de la Aeronáutica Naval y una escuela de formación.

Para esta nueva rama militar, se proporciona a la Armada Española su primer portaaeronaves, el **Dédalo** en 1922. Este fue construido en Reino Unido por el astillero *Swan Hunter & Wigham Richardson*, para la naviera Alemana *Deutsche Dampfschifffahrts*, y bautizado como **Neuenfels** (1901). Fue parte de varios buques incautados por España, como parte de las reparaciones por las pérdidas sufridas por la Marina Mercante Española durante la Primera Guerra Mundial. Para cuando es asignado a la Armada Española, este buque llevaba 21 años de servicio. No obstante, tuvo un desarrollo brillante en sus primeros años de servicio, destacando en el desembarco de Alhucemas en septiembre de 1925. Siendo parte de una de las primeras operaciones anfibias del siglo XX y, definitivamente, de más éxito que la anterior Británica en Galípoli (1915) (Sánchez Méndez, 2001).

Figura 8.4: C30 despegando del buque Dédalo, Valencia 1934. Fuente: RGM

El ingenio mostrado por el desarrollo de esta conversión, en el que el control del vuelo y el viento está en línea con el arquitecto[306] del que toma el nombre. Originalmente botado como mercante de vapor, el **Neuenfels** es transformado en un portahidroaviones en los astilleros Vulcano de Barcelona. Esta transformación se realizó bajo la dirección de **Cardona** y el ingeniero naval **Jacinto Vez**, quedando equipado para operaciones aéreas. Se habilitaron espacios para dirigibles y globos, incluyendo un mástil de atraque, hangares y una planta de generación de hidrógeno. En su cubierta de vuelo de 60 metros y las grúas de izado permitieron operar con hidroaviones y dirigibles y para 1934 incorporó un autogiro de **Juan de la Cierva** (Figura 8.4).

En 1936 se había decretado su desarme, y posterior desguace, pero se vio interrumpido por la Guerra Civil. Para 1940 es reflotado en el puerto de Sagunto, donde había quedado inutilizado, y llevado al muelle de Levante en Valencia para su desguace. El metal obtenido en esta operación es llevado de vuelta a Sagunto, pero esta vez a los Altos Hornos del Mediterráneo. Estos no fue el únicos buque portaeronaves desguazado en España, desguazándose en la década de 1960 al **Hoggatt Bay** (1943), el **Palau** (1945), el **Salerno Bay** (1944), el **Chenango** (1939) y el **Suwannee** (1939). Al igual que se adquirieron para el desguace el **Triumph**,

[306] Dédalo es un inventor y arquitecto de la mitología griega al que se le atribuyen innumerables inventos de la antigüedad. Entre estos se puede destacar: el laberinto del minotauro, las alas empleadas por su hijo Ícaro y, más importante, la invención de la vela.

portaaviones de la clase **Colossus**, en 1981 y el **HMS Tiger C20**, crucero portahelicóptero británico, en 1986.

Pese a su final, la transformación del **Dédalo** y la creación de la Aviación Naval reflejaron el compromiso de España con la innovación en la aeronáutica naval. Cuyo testigo lo recoge el **Príncipe de Asturias** (1982), no tanto el siguiente portaaeronaves que portó el mismo nombre.

8.6. Guerra y reconstrucción

Durante y después de la Guerra Civil Española, la actividad constructiva en la industria naval se vio fuertemente afectada, especialmente en la década de 1940. La escasez de materias primas, en particular de la chapa de acero, así como la falta de suministro eléctrico y la pérdida de mano de obra cualificada fueron los principales desafíos que afrontaron los astilleros. A pesar de los esfuerzos del nuevo régimen franquista para promover la construcción naval a través de políticas como la reserva del mercado interior y el acceso a crédito a bajo costo para financiar inversiones, la recuperación de la industria naval no comenzó de manera significativa hasta mediados de la década de 1950, una vez que se habían superado algunos de los principales obstáculos en el lado de la oferta.

Con la Guerra Civil Española (1936-1939), la progresiva independencia tecnológica de la construcción naval española es abruptamente interrumpida. Tras ella, los conflictos internacionales, junto con el aislamiento, hacen de la reactivación un desafío. Entre las iniciativas destaca la creación en 1941 del Instituto Nacional de Industria (INI), con el objetivo de impulsar la reconstrucción del tejido industrial, existiendo un precedente italiano conocido como *Istituto per la Ricostruzione Industriale* (IRI). Dejando a un lado las posibles motivaciones ideológicas, el INI fue creado con el propósito de establecer y gestionar empresas públicas en sectores estratégicos, los cuáles incluyeron la energía, la minería, la siderurgia, la química y la construcción naval. Fundada por el ingeniero naval **Juan Antonio Suanzes Fernández** (1891-1977), este instituto tuvo una influencia radical como germen del renacimiento de la ingeniería naval en España.

> "propulsar y financiar, en servicio de la Nación, la creación y resurgimiento de nuestras industrias, en especial (...) la defensa del país o que se dirijan al desenvolvimiento de nuestra autarquía económica, ofreciendo al ahorro español una inversión segura y atractiva" (BOE, 1941)[307]

9. Fomento de la base industrial: 1941-1982

9.1. La reconstrucción de la flota

Durante los años 50 siguen los obstáculos del crecimiento industrial español originados por factores estructurales y el intervencionismo económico riguroso. La economía española se recuperaba tras la devastación causada por la guerra, pero la escasez de materias primas y de energía, unidas a problemas financieros públicos y privados, impedían la revitalización del aparato productivo. No obstante, existe un crecimiento moderado gracias a un proceso de reorientación económica y a los primeros pasos hacia la liberalización y la apertura comercial. Las políticas autárquicas del INI demostraron en algunas ocasiones la inviabilidad del autoimpuesto aislacionismo, debido a la cierta dependencia tecnológica, que derivaba en un gran número de contratos de asistencia técnica en el extranjero (Biescas Ferrer, 1989).

El sector naval recibe un primer impulso en 1939 con la *Ley de Crédito Naval*, a la que le siguen las *cédulas de crédito naval* de enero de 1941 con el fin de estimular la construcción naval. No obstante, la escasez de material y los elevados precios fueron un importante freno. Mediante créditos y subvenciones derivados de la *Ley de la Protección de la Construcción Naval* de 1951 los astilleros nacionales comienzan a recibir el capital suficiente para las futuras empresas.

Dignas de mención son otras leyes, como la *Ley de Protección y Reconstrucción de la Flota Nacional* (1939), la *Ley de protección y renovación de la Flota Mercante* de mayo de 1956 cuyo objetivo fue el de modernizar los astilleros. Con la apertura económica y especialmente las relaciones con el gobierno norteamericano mediante los *Pactos de Madrid* de 1953, España se beneficia de ayuda financiera, de tecnología, de maquinaria, de materias primas y petróleo. La posición española en estas negociaciones se centraba en permitir el uso conjunto de bases por parte de Estados Unidos, fortalecer las capacidades de defensa de España y colaborar con

[307] Extracto de Ley de 25 de septiembre de 1941 por la que se crea el Instituto Nacional de Industria.

los países occidentales en caso de una amenaza soviética, con enfoque tanto en el ejército como en la modernización naval. La Armada Española requería modernizar un crucero, 15 destructores, 8 cañoneras, 9 lanchas torpederas y 18 dragaminas (Marquina Barrio, 2003). La estrategia negociadora española, desde el inicio, mantuvo un enfoque basado en reconocer las dificultades políticas para unirse a la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) y en aceptar una relación sustituta con Estados Unidos debido a percepciones compartidas de amenazas. España buscó mejorar sus capacidades económicas y militares para la defensa territorial, incluso con la falta de cláusulas de seguridad en los acuerdos.

La producción eléctrica sirve como ejemplo de obstáculo para cumplir con la demanda nacional de 1944 a 1954 producidos por la congelación de tarifas y la falta de aprovisionamiento de máquinas, de cemento y de cobre (Biescas Ferrer, 1989). En la década siguiente deja de ser un inconveniente, gracias a la estabilidad del suministro eléctrico y el abastecimiento del cobre y del aluminio (Gómez Alén, 2019). Las centrales térmicas dependientes de la Empresa Nacional Calvo Sotelo de Combustibles Líquidos y Lubricantes (ENCASO) y de la Empresa Nacional de Electricidad, S. A. (ENDESA) son parte de este suministro inicial habiendo sido fundadas en 1942 y 1944 respectivamente.

La producción de acero, tan necesario para la construcción naval, es impulsada por la Empresa Nacional Siderúrgica, S.A. (ENSIDESA) dependiente del INI y fundada en 1950.

La construcción de buques de guerra en España se encuentra, al igual que el resto de la industria, en una situación precaria debido al aislamiento. La autarquía frena la posible transferencia tecnológica, pero no impide la creación de la Compañía Nacional Bazán en 1947 cuyo objetivo era el dotar al estado de la capacidad para la construcción, mantenimiento y reparación de los buques de la Armada. Dicha compañía operaría en las factorías navales ubicadas en Ferrol, Cartagena y La Carraca, las cuales, hasta entonces, habían sido responsabilidad del Consejo Ordenador de Construcciones Navales Militares creado en 1939. Como empresa pública, Bazán pertenece al INI y las factorías permanecen en propiedad de la Armada Española.

La intervención[308] en 1951 del astillero Echevarrieta y Larrinaga, propiedad del empresario **Horacio Echevarrieta**, ofrece al INI las instalaciones de este reputado

[308] Se celebra un Consejo de Incautación a raíz de la explosión de 1947 en el que el astillero queda destruido. Debido a los empleos afectados, la recuperación del astillero transcendió de lo político a lo social.

astillero, artífice del buque escuela **Juan Sebastián de Elcano** (1927). Tras esta operación, que despoja al empresario del último fragmento de su imperio, el astillero cambia su nombre a Astilleros de Cádiz S. A. (1952), el cual, en 1969 y gracias a la fusión con dos empresas privadas[309], dio paso a uno de los astilleros más emblemáticos de su tiempo: Astilleros Españoles (AESA).

Entre estos dos eventos, se presenta la *Ley de ordenación económica* y el *Plan de Estabilización* de 1959, fruto del giro de timón en la dirección de la política económica llevado a cabo por parte de los llamados tecnócratas. Esto beneficia a la construcción naval; esta, a pesar del crecimiento industrial, no obtenía los resultados de producción deseados, en parte por los mecanismos de inversión ya comentados. Con la reducción de las políticas intervencionistas y la entrada de capital extranjero, la industria española entraba en una nueva fase de desarrollo.

En el marco de la industria Naval, la pesquera recibe un impulso con la *Ley de Renovación de la Flota Pesquera* promulgada en 1961. Esta distingue entre los pesqueros con casco de acero o de madera, considerándolos beneficiarios excediendo los veinticinco y quince años respectivamente. Tras la Guerra Civil este sector experimentó una notable expansión y modernización, impulsada por la inyección de recursos financieros del gobierno, la adopción de nuevas tecnologías, y una expansión geográfica significativa. Los incentivos gubernamentales facilitaron créditos a largo plazo para la construcción y modernización de barcos como la introducción de motores diésel, el uso de acero en la construcción de cascos y tecnologías como ecosondas para la detección de bancos de pescado (Sinde Cantorna, 2008). Este significativo desarrollo estuvo marcado por el aumento de la eficiencia y capacidad de captura.

La incorporación de España en los mercados internacionales se reforzó a través de negociaciones con la Comunidad Económica Europea (CEE), lo que condujo a un *Acuerdo Preferencial* en junio de 1970. *Los Planes de Desarrollo* (1964-1967; 1968-1971; 1972-1976), iniciados en la década de 1960, facilitaron la liberalización, el crecimiento económico equilibrado y la integración internacional. Estos planes aspiraban a proporcionar acceso a materias primas, tecnología y capital necesarios para el desarrollo industrial. Al mismo tiempo, la reestructuración y consolidación respaldadas por el estado aseguraron la alineación con los requisitos de producción en medio del crecimiento económico global (Gómez Alén, 2019).

[309] Sociedad Española de la Construcción Naval, la Compañía Euskalduna de Construcción y Reparación de Buques y la factoría de Manises en Valencia.

El papel del estado se extendió a la inversión directa a través del INI, actuando como un cliente y constructor importante mientras participaba en la titularidad corporativa. El Régimen de Acción Concertada, iniciado en 1967, fue un instrumento político clave, que aglutinaba la capacidad productiva, aprovechando la economía de escala y aumentando la competitividad (Valdaliso J. M., 2005). Esta estrategia precisó de concentración industrial y modernización para equipar a los astilleros españoles para competir a nivel mundial. Circunstancias favorables, como el conflicto árabe-israelí y el cierre del Canal de Suez, llevaron a un aumento en la demanda de grandes petroleros, impulsando una fase de crecimiento entre 1967 y 1973. El incremento durante el período de 1960 a 1975 se originó debido a dos factores principales. Por un lado, se generó un sólido impulso en la demanda, tanto en el mercado doméstico como en el internacional. Por otro lado, se registró un aumento en la disponibilidad de chapa de acero destinado a la construcción de barcos, que había sido la principal limitación en el sector durante las décadas de 1940 y de 1950 (Valdaliso J. M., 2005).

En esos años se bota en Astano el primer superpetrolero construido en grada, el **Arteaga** (1972). Este astillero representa el paradigma de la construcción de buques civiles en España, tanto por la modernización y ampliación de sus capacidades, como por los avances tecnológicos, ejemplo de ello fue la construcción en bloques y el diseño asistido por ordenador. Así en 1968 Bazán se convertía en el primer cliente de la herramienta FORAN, acrónimo de FORmas ANalíticas, de la empresa SENER.

En el ámbito de la construcción civil, la industria naval española adquirió un nivel de productividad, gracias a la renovación tecnológica y de procesos, que trajo números éxitos en los mercados internacionales. La construcción naval, como segunda industria más relevante después del sector automotriz y teniendo un impacto significativo en el empleo y el desarrollo regional, llega a su ocaso en el final de la década de los años 70. El precio de las materias primas y el crudo, acompañado de la apertura del Canal de Suez que hacen innecesarios los petroleros de dimensiones titánicas; por ello, sumen a los astilleros en una profunda crisis cuyos márgenes habían sido reducidos para ampliar la cuota de mercado. Tras varios intentos de paliar la crisis naval, en febrero de 1982 se promulga el *Real Decreto de Reconversión del Sector de Construcción Naval*[310]. Los objetivos de esta iniciativa incluían la especialización de la producción con el fin de lograr autonomía

[310] Real Decreto 643/1982, de 26 de febrero, sobre medidas de reconversión del sector de construcción naval.

tecnológica y competitividad, la adecuación de la oferta a la demanda a través de objetivos de la productividad y la reducción de costes operativos y de personal, y la coordinación de las actuaciones comerciales y de fabricación.

Tras la Guerra Civil, la Armada Española y sus buques emprenden un proceso de reconstrucción y homogeneización de la flota. Esta labor recae sobre el almirante **Salvador Moreno Fernández** (1886-1966) ministro de Marina desde agosto de 1939, quien para el 2 de septiembre, crea mediante ley[311] el anteriormente mencionado Consejo Ordenador de las Construcciones Navales Militares. Este Consejo, bajo la autoridad Ministerio de Marina, estaba destinado a dirigir directamente todas las actividades relacionadas con la construcción de buques como parte del programa naval del Gobierno. La disposición más relevante estaba en rescindir el contrato con la Sociedad Española de Construcción Naval y entendía la necesidad de emplear entidades industriales para impulsar economía y la potencialidad militar del país, bajo la supervisión estatal.

Habiendo tomado el control de los astilleros y factorías, el consejo comienza por la reparación y conversión de los buques recuperados tras la guerra: el primer encargo consiste en rehabilitar 13 destructores de la clase **Churruca** (Álvarez-Maldonado Muela, 2012). A estos les siguieron otros destructores de la clase **Alsedo**; simultáneamente, se continuaba la remodelación de las instalaciones navales.

Es conveniente mencionar que *Ley reservada* de 8 de septiembre de 1939 presenta un programa ambicioso de construcción naval que no llega a término, motivado por la falta de medios económicos, de recursos materiales y de tecnología desfasada. Aunque similar al *anteproyecto de 1938* en cuanto a fuerzas navales planificadas, existían notables diferencias entre ambas: una menor cantidad de submarinos, de cruceros y de torpederos, un aumento en destructores y la omisión de portaaviones. Este anteproyecto, caracterizado por claras ambiciones prebélicas, se basaba en una flota que podría haber asistido al Eje en sus objetivos europeos, pero la falta de preparación de España para un conflicto inmediato se alzó como un factor decisivo para su neutralidad.

Octubre de 1947 se convierte en un mes significativo para la Empresa Nacional Bazán, pues le son traspasadas tanto las instalaciones controladas por el Consejo como las obras en curso. En un primer periodo, aproximadamente desde 1947 hasta

311 Boletín Oficial del Estado. Número 252, Página 5015. Ley de 2 de septiembre de 1939 creando el Consejo Ordenador de las Construcciones Navales Militares.

1958, coincidente con el comienzo de los programas de modernización fruto de la colaboración con Estados Unidos, existe un proceso de establecimiento y de consolidación que culmina con la construcción de unidades menores y de recuperación de algunos proyectos deficientes. Entre dichos proyectos cabe citar: dos destructores de la clase **Liniers**[312], el **Liniers**[313] (1946) y el **Álava** (1947), los destructores clase **Oquendo**, las fragatas de **clase Pizarro**, torpederos **Audaz**[314], los dragaminas **Bidasoa**, entre otros buques con diferentes grados de éxito.

9.1.1. Modernización y dependencia externa

Hasta 1958 no comienzan las obras de modernización de la flota española, fruto de los acuerdos con el gobierno norteamericano de 1953. Por tanto, se inicia un periodo de modernización, de expansión y de diversificación de la construcción militar en España. Es en este periodo, cuando se asientan las bases del desarrollo tecnológico que, en décadas posteriores, Bazán y el resto de la industria naval alcanzarían.

En la década de 1960, se establece la necesidad de aprender de marinas occidentales más avanzadas para el fortalecimiento de la flota y la capacitación del personal. Esto que nos ocupa comprende las técnicas de construcción naval, el asesoramiento técnico extranjero, así mismo la adquisición de equipos más allá de nuestras fronteras. Esto da pie a que en 1964 se origine el *Plan General de la Armada* (PLANGENAR), que permanece vigente hasta mediados de la década de 1980, el cual se gesta tras el informe SISTEMA-1 de la *Comisión de Estudios y Planes* (COMESPLAN).

La flota española se favorece de adquisiciones, de compras, pero también cesiones. En particular la capacidad anfibia es beneficiada de la cesión, en 1965, de los buques transporte anfibio **Castilla** y **Aragón**, siendo su denominación americana **USS Achernar** (1943) y **USS Noble** (1944). Junto a estos recursos, la capacidad de proyectar el poder naval en tierra es, de nuevo, impulsada por la construcción en 1966 de tres barcazas tipo **EDIC** (*Engina de débarquement d'infanterie et de chars*), de diseño francés y de construcción nacional y con el establecimiento del Tercio de Armada en 1968. Entre las compras destacables está la adquisición del

[312] Esta clase es incluida en el programa de modernización.

[313] Debido al empleo de acero y otros materiales de calidad inferior, su desplazamiento aumentó en unas 50 toneladas respecto a los destructores equivalentes anteriores.

[314] Los torpederos pertenecientes a la clase Audaz se diseñaron siguiendo una filosofía de construcción que priorizaba la disminución del peso. Esto se logró mediante técnicas como la soldadura, el uso de aleaciones ligeras y la implementación de un sistema de propulsión ligero basado en vapor recalentado. Sin embargo, este enfoque trajo consigo grandes desafíos durante la construcción. Debido a su estricto control de peso y a los materiales utilizados, estos barcos experimentaron problemas de estabilidad.

portaviones **USS Cabot** (1943) en 1973, previa cesión por cinco años, entra en servicio como **Dédalo** (R-01). El cuál recibe los primeros *Harriers*[315] tres años después integrándose en la 8ª Escuadrilla. Las fragatas **DEG** de la clase **Baleares**, de diseño norteamericano[316] que se opta por razones políticas frente la Británica clase **Leander**, junto con los submarinos de diseño francés *Daphné* o clase **Delfín** quedan aprobados en 1964 y representan un nuevo salto tecnológico.

Con la *Ley 32/1971*, de 21 de julio, sobre dotaciones presupuestarias para la Defensa Nacional, se inicia una segunda etapa del Programa Naval[317], con el *PLANGEAR 72/79*. De este plan salen los buques hidrográficos de la clase **Malaspina**, **Malaspina** (1973) y **Tofiño** (1973), y los clase **Castor Antares** (1974) y **Rigel** (1974), los submarinos clase **Galerna**[318] con un diseño de la francesa *DCNS* cuya primera unidad se bota en 1981 con el **Galerna** (S-71), al igual que los patrulleros de clase **Lazaga** y clase **Barceló**[319]. El hito significativo de este programa es el inicio del diseño y producción nacional de las corbetas clase **Descubierta**, cuya primera unidad es botada en 1975. No solo se alcanza independencia tecnológica gracias a la consolidación del diseño nacional, sino también una mejorada colaboración entre el astillero nacional y su cliente, que traspasó las fronteras españolas siendo exportadas a Egipto y Marruecos.

Hasta el momento, el concepto de construcción era nacional bajo licencia extranjera, esto ocurre hasta las fragatas de la clase **Santa María**, basadas en la estadounidense clase **Oliver Hazard Perry** o, los ya mencionados, submarinos clase **Galerna**. El comienzo del fin de esta tendencia lo representa el portaviones **Príncipe de Asturias** (R-11) botado en 1982, el cual se convierte en un transcendental reto de diseño y de construcción nacional. Aun no se puede afirmar que su diseño fuese cien por cien nacional, al ser una versión del proyecto iniciado por la norteamericana *Gibbs & Cox*[320], pero al adquirir el proyecto se modifica para ajustarse a los requisitos de la Armada Española y se convierte en un éxito de la industria naval.

---

315 Corresponden a los modelos Mk 53 y Mk 58.

316 Basado en la clase Knox, mediante planos de los astilleros *Gibbs & Cox Inc.* y con la asistencia del *Bureau of Ships* (BuShips). Esta ocurre dentro del acuerdo NOBS 4078, que incluyó el establecimiento en Ferrol de una *Resident Shipbuilding Liaison Office* (RESHIPLO) para su seguimiento (Ferreiro L. , 2010).

317 Una primera etapa incluye la construcción de las fragatas DEG, de los submarinos clase Daphne y la conversión y de la modernización de unidades e infraestructura.

318 Clase Agosta en su denominación original.

319 Siendo patrulleros pesados y ligeros respectivamente, en ambos casos, la primera unidad fue de diseño y fabricación alemana por los astilleros *Lürssen Werft*. El resto de las unidades fueron de construcción nacional por Bazán.

320 Debido al tipo de aviones que implicaba, V/STOL, es un proyecto que abandona la Marina de los Estados Unidos.

La influencia y la colaboración internacional de la industria naval española es evidente en los años de modernización. Es importante destacar como el Reino Unido, cuyos diseños habían influido en la construcción y adquisición de la marina de guerra, reducen su predominancia tras la Segunda Guerra Mundial. Sin embargo, los diseños de Francia, Alemania y especialmente Estados Unidos son particularmente favorecidos.

9.1.1.1. Dependencia extrajera: los Estados Unidos

Conocidos como Cinco Latinos, los destructores de la clase **Fletcher** (1942) transferidos por Estados Unidos a España fueron una significativa adición a la Armada Española en un momento de necesidad de modernización naval. Construidos para su operación en la Segunda Guerra Mundial, fueron levemente modernizados antes de su entrega para servir en roles de combate y antisubmarinos. A lo largo de los años 60, se convirtieron en la columna vertebral de la Armada Española, siendo gradualmente sustituidos por fragatas y corbetas de fabricación nacional en los 80. Debido a su robustez y calidad en la construcción, su vida operativa fue prolongada en España y, debido a la política exterior americana, su vasta producción formó parte de diversas armadas[321].

9.2. Siderurgia, industria y política arancelaria

Como se ha tratado en el capítulo anterior, a finales de los años 20 hasta la Guerra Civil Española, la siderurgia española, en especial en la región de Vizcaya, experimentó un auge significativo. La industria se benefició de la abundancia de minerales férricos ideales para el proceso *Bessemer*[322], así como de la proximidad a fuentes de coque y carbón. Durante esta época, la política arancelaria proteccionista del gobierno español fomentó el crecimiento de la industria siderúrgica integral en la región. Este periodo también estuvo marcado por la consolidación de empresas como AHV, que se convirtieron en piedras angulares de la economía regional y nacional.

[321] De los 175 buques que se construyeron para el esfuerzo bélico, 32 fueron transferidos a las armadas de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Alemania, Grecia, Italia, Japón, Corea del Sur, México, Perú, España, Taiwán y Turquía.

[322] El proceso Bessemer se ve favorecido en el norte de España debido a la disponibilidad de mineral de hierro de bajo contenido en fósforo, que, junto a una mayor velocidad de producción y un menor coste de instalación, lo hacen más atractivo que los contemporáneos procesos *Siemens*, *Siemens-Martin* y *Thomas*. A pesar de ello, la instalación, aunque minoritaria, de hornos Siemens a principios del siglo XX fue propiciada por la fabricación de planchas de acero para la construcción naval. La preferencia por el proceso Bessemer y la localización de las plantas son discutidas. Ver: Houpt, Stefan (2002). Putting Spanish steel on the map: The location of Spanish integrated steel, 1880-1936. *European Review of Economic History*, *6*(2), 193-220.

Entre finales de los años 20 y mediados de la siguiente década, la siderurgia en Vizcaya vivió un auge significativo, impulsada por recursos naturales abundantes y políticas proteccionistas. Empresas como AHV emergieron como actores clave, beneficiándose del proceso *Bessemer* y convirtiéndose en pilares de la economía regional y nacional. La Guerra Civil y el periodo de autarquía trajeron dificultades: una notable disminución en la producción siderúrgica, debido a la destrucción de infraestructuras y a la escasez de recursos. Los hornos de Sagunto, en la Costa mediterránea, se beneficiaron del régimen franquista y sus alianzas, convirtiéndose en importantes suministradores de metales. Tras la neutralidad española en la Segunda Guerra Mundial, enfrentaron dificultades económicas, a pesar de esto, en los años 50, la industria comenzó a recuperarse, gracias a la ayuda estadounidense y buenas cosechas, enfocándose en la modernización y la apertura a mercados internacionales. El *Plan de Estabilización* de 1959 así como esta política exterior más abierta afectaron a la industria siderúrgica, lo que llevó a AHV a buscar la colaboración internacional para mejorar su competitividad. El régimen durante los años 50 y 60 trabajó en crear un tejido industrial en regiones desarrolladas como Asturias, El País Vasco y Cataluña, esto generó una oligarquía industrial dependiente del Estado y fortaleció sindicatos regionales que, posteriormente, las convertirían en focos de oposición frente a políticas liberales.

Los años 60 marcaron un cambio significativo con la entrada de inversión extranjera y tecnología avanzada, como la colaboración con *United States Steel Corporation*, la cual fue crucial para AHV. Este periodo fue de crecimiento y expansión para empresas como AHV. No obstante, la crisis del petróleo de los años 70 y los cambios en las políticas arancelarias mundiales desencadenaron dificultades, con una intensa competencia extranjera y cambios en la demanda global. Aun en 1970 la siderurgia española, pese a su claro crecimiento, requería importar aproximadamente un 25% de su demanda interna, la cual no fue capaz de suplir hasta 1971 (Pinedo Fernández, 2003). En el contexto laboral, el tardofranquismo experimentó un cambio hacia la negociación colectiva en el sector siderúrgico. Por ejemplo, los trabajadores de Sagunto adoptaron estrategias legales de lucha, mejorando sus condiciones laborales y contribuyendo al fortalecimiento de la organización sindical. Estos fueron favorecidos por el *Jurado de Empresa* (1945) y la *Ley de Convenios Colectivos* (1958); el primer convenio colectivo fue firmado en la fábrica siderúrgica de Sagunto en 1961.

Durante los años 80, la industria siderúrgica española se sometió a un proceso de reconversión, con el cierre de instalaciones obsoletas, la reducción de personal y la

modernización de plantas. Este proceso estuvo enmarcado en una transición económica más amplia hacia un modelo más diversificado y orientado a servicios y a tecnologías avanzadas. Este período se caracterizó por el cierre de industrias estratégicas, incluyendo la emblemática construcción naval en el astillero de Euskalduna en Bilbao. Este sector, clave en la economía española, fue duramente golpeado por las políticas de reconversión. La resistencia sindical y las tensiones políticas locales jugaron un papel crucial en estos sucesos, especialmente en sectores menos rentables, pero con gran influencia política como los AHV y la minería de carbón en Asturias. La falta de estrategia política y la presión sindical llevaron a un fracaso en la reconversión industrial, con el cierre de industrias estratégicas y la pérdida de competitividad, que tuvo efectos duraderos en la economía española.

9.2.1. Arancel de 1960

El Arancel de 1960 refleja la política de respaldo a los astilleros españoles. Por un lado, se estableció un arancel del 20% sobre el valor de los buques en el improbable caso de que los armadores obtuvieran una licencia de importación, el más alto entre los países de la OCDE[323]. Sin embargo, se aplicó un arancel del 5% a la chapa de acero específica para barcos, mientras que otros productos siderúrgicos tenían aranceles superiores al 35%. Hubo un permiso para importar materiales de construcción naval destinados a la exportación sin aranceles, aunque inicialmente no se aplicó a los destinados al mercado interno. Esta medida pretendía reducir las desventajas de la industria naval española, que debía importar acero y otros componentes, la cual iba en detrimento de su competitividad. A pesar de ello, hubo quejas de los astilleros sobre los aranceles y los problemas de suministro, lo que resultaba en precios más altos y menor competitividad en comparación con competidores como Japón para 1970. Además, los astilleros españoles necesitaban mantener mayores existencias de acero debido a problemas de suministro en comparación con los astilleros japoneses.

9.2.2. Acero en el equilibrio global

Desde que el desarrollo industrial permite un uso eficaz del acero, gracias a sus propiedades, este se vuelve un material predominante incluyendo soluciones en el ámbito de la construcción civil, maquinaria y naval. Y al igual que ocurrió con la

[323] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, fundada en 1961.

madera, los países con acceso al recurso y tecnología para explotarlo dominaron el espacio marítimo. No obstante, el crecimiento que permiten los materiales inorgánicos frente a los orgánicos llevó a unos niveles de desarrollo inauditos. El equilibrio de poder que se había disfrutado durante el siglo XVIII, se quebró con la expansión explosiva del Reino Unido después de 1800. La producción británica de hierro, inicialmente con solo una ligera superioridad, creció tan vigorosamente que para 1850, la producción de Gran Bretaña era casi cuatro veces la de Francia y diez veces la de Rusia (Parrish, 1956). Este crecimiento fue fundamental para sostener la supremacía naval británica, permitiendo al Reino Unido mantener un control sin precedentes sobre las rutas marítimas y coloniales globales.

A partir de 1870, el dominio británico se vio desafiado por la industrialización acelerada en tres centros de poder: Estados Unidos, Alemania y Rusia. Estados Unidos avanzó hacia el liderazgo mundial, igualando e incluso superando el crecimiento británico en la producción de hierro y acero. Para 1913, Estados Unidos tenía el 40% de la producción mundial, lo que cambió el centro del poder del hierro y el acero de Europa a América del Norte. Alemania, por su parte, expandió sus instalaciones de hierro y acero más rápidamente que cualquier otro país, posicionándose como un desafío directo al orden establecido.

La Primera Guerra Mundial representó un punto de inflexión significativo. Inicialmente, las capacidades de producción de hierro de los Aliados y las Potencias Centrales estaban casi equilibradas. Sin embargo, la ocupación alemana de zonas clave en Francia y Bélgica redujo drásticamente la capacidad de los Aliados, mientras que aumentó la de las Potencias Centrales. Eventualmente, la entrada de Estados Unidos en la guerra y la expansión de su capacidad de producción inclinaron la balanza a favor de los Aliados.

Tras la guerra, se restauró el equilibrio europeo en las instalaciones de hierro y acero al nivel de principios de siglo. La reducción de la capacidad alemana y el aumento en el Reino Unido, Francia y Bélgica reafirmaron la dominación angloamericana. Para 1920, Estados Unidos comenzó a moverse hacia un grado de dominio industrial previamente sostenido por Gran Bretaña. Sin embargo, esta restauración llevó a una fragmentación y complicación de la estructura de poder en Europa, haciendo que la región fuera inherentemente inestable.

Los años veinte marcaron un período inusual en la historia del equilibrio mundial de poder. Mientras que la expansión industrial en Estados Unidos continuó rápidamente, Europa casi se detuvo y el Lejano Oriente apenas comenzaba a

industrializarse. En 1929, Estados Unidos producía casi el 50% del acero mundial, alcanzando una superioridad que nunca había logrado antes y que no ha recuperado desde entonces.

Como es común, la guerra volvió a afectar los equilibrios de poder basados en el desarrollo industrial. Por una parte, Alemania trató desde 1934 de crear un conflicto preventivo con la Unión Soviética, mientras que Japón, al ver la posible industrialización de China e India, decide actuar en las regiones. Tanto Japón como Alemania actuaron desde una perspectiva de acceso limitado a los recursos. El desafío alemán de la balanza de poder mundial, después de 1938, se basó en un potencial similar al de la Primera Guerra Mundial.

Tras la Segunda Guerra Mundial, dos bloques industriales emergen triunfantes, por un lado los Norteamericanos, de cuyo apoyo se benefician los países occidentales y, por otro lado, la Unión Soviética que se distingue por un bloque más cohesionado que el occidental y, por tanto, con un nivel de crecimiento más elevado.

9.2.2.1. Japón, desarrollo ante la escasez

En el ámbito de la construcción naval, Japón constituye un ejemplo de adaptación, innovación y desafíos superados. Desde los preparativos para la guerra hasta su liderazgo en la construcción naval en la posguerra, demostró una capacidad notable para transformar sus limitaciones en fortalezas. La coordinación estatal y empresarial, la innovación tecnológica y la adaptación estratégica fueron fundamentales en este proceso.

Japón, al importar tecnología occidental en la década de 1850, transformó su tecnología de hierro y acero, desarrollando una industria que se convirtió en una de las más grandes del mundo. El cambio de la fabricación de hierro, basada en *tatara*[324], a la tecnología occidental de fabricación de hierro comenzó en 1858, marcando un paso significativo hacia la modernización de la tecnología japonesa de fabricación de hierro (Ida, 1980).

La inauguración de *Yawata Steel Works* en 1901 marcó un avance significativo al integrar la producción de hierro y acero. La ciencia se integró en la tecnología de fabricación[325], aunque la Segunda Guerra Mundial retrasó su completo desarrollo.

[324] Horno tradicional japonés.

[325] A principios del siglo XX, Japón comenzó a integrar la ciencia en su tecnología de fabricación, con instituciones como el Instituto de Hierro y Acero de Japón y el Instituto de Investigación de Hierro y Acero de la Universidad Imperial de Tohoku, fundados en 1915 y 1919 respectivamente. Esto marcó el comienzo de una transición de la tecnología de fabricación a la tecnología científica.

Según el análisis de **Yôichi Hirama**, Japón se adaptó a los límites de tratados internacionales, como los Tratados de Washington y Londres, enfocándose en barcos más pequeños y versátiles (Hirama, 1991). Asimismo, desarrolló sistemas de armas avanzados, especialmente en combate nocturno y guerra de torpedos, y fortaleció su poder aéreo naval, superando las restricciones del *Tratado de Londres*. Su estrategia de intercepción-atracción involucraba el uso de submarinos, aeronaves y combatientes de superficie, aunque se enfrentó a desafíos tecnológicos y de coordinación. También hubo un claro interés en ampliar el alcance de las unidades, desde los cañones de la clase **Yamato** a los cazas *Zero*. Entre las invasiones relevantes estuvo Davao en Filipinas, que junto con Java y Hong Kong se convierten en centros de construcción naval importantes en el Pacífico.

El estallido de la Segunda Guerra Mundial puso a prueba la estrategia y las capacidades tecnológicas de Japón. A pesar de los avances en su armada, Japón sufrió contratiempos en batallas clave, como la batalla del Mar de Filipinas, debido a errores estratégicos y a una evaluación excesiva de sus capacidades. La guerra también afectó la industria del acero japonesa, limitando su capacidad para avanzar tecnológicamente debido a las exigencias de la guerra. Su flota mercante, inicialmente de 6 millones de toneladas brutas, se redujo drásticamente a 1,5 millones de toneladas al final de la guerra, con sólo una fracción operativa (Davies P. N., 2009). La construcción naval, centrada en las necesidades bélicas, no pudo seguir el ritmo de las pérdidas, lo que provocó una reducción sustancial de los buques operativos.

En la década de 1950, Japón lanzó una estrategia de industrialización intensiva que dependía de la importación de recursos debido a la escasez de minerales. La economía política de posguerra fomentó la coordinación industrial, permitiendo el rápido crecimiento de la industria del acero. La industria se enfrentó a desafíos en la década de 1960, pero las redes de recursos y las estrategias estatales y empresariales promovieron su desarrollo. Su economía política se apoyaba en un sistema de capitalismo cooperativo (Wilson, 2013) que creó un entorno institucional propicio para el desarrollo de patrones de coordinación interempresarial[326] que, entre otros sectores, favoreció a la industria siderúrgica.

La crisis del petróleo de 1973-74 también afectó a la construcción japonesa, que vio una drástica reducción de la demanda, a la que el gobierno respondió con la

[326] Se caracterizó por altos niveles de coordinación industrial, funcionando horizontalmente a través de industrias, verticalmente entre firmas industriales, bancos y casas comerciales, y entre empresas y el estado japonés.

reducción temporal de construcción y de programas de desguace. La industria naval japonesa también se vio afectada por la crisis del petróleo, lo que llevó a una disminución drástica en la demanda mundial de buques. El gobierno japonés respondió con medidas para adaptar la industria a las nuevas circunstancias económicas, incluyendo programas de desguace y reducción temporal de la producción. En los años 80 y 90, Japón lideró la construcción de buques comerciales, a pesar de los desafíos de capacidad y la competencia creciente. Los astilleros japoneses, afectados por la crisis del petróleo, implementaron estrategias de racionalización y reducción de costos para mantener su competitividad.

En respuesta a la competencia y la demanda del mercado, Japón consolidó su industria de construcción naval. La reestructuración y la adaptación ayudaron a Japón a gestionar eficazmente los envites del mercado y mantener su posición líder mundial en construcción naval. Con la intensificación de la competencia, la necesidad de diversificación y la dependencia de la financiación bancaria dado el alto costo del acero y la necesidad de reducir los costos de producción llevaron a cambios significativos en los métodos de producción, racionalización, estrategias de supervivencia y a una mayor eficiencia en el uso de acero en la industria japonesa de construcción naval.

Este formidable crecimiento naval y empresarial permite que, para 1981, estén establecidas grandes empresas de construcción naval, fruto de una considerable consolidación, como son *Mitsubishi Heavy Industries, Mitsui Shipbuilding, Sumitomo Heavy Machinery, Kawasaki Heavy Industries, Hitachi Shipbuilding, Ishikawajima Harima Heavy Industries* y *Nippon Kokan (Japan Steel Pipe)*. Estas derivan en la presencia de grandes conglomerados industriales diversificados en el sector de la construcción naval de Japón, algunos de los cuales también se dedican a la producción de acero o a actividades relacionadas.

El crecimiento coordinado de la industria del acero japonesa se inicia en la década de 1950, cuando el gobierno japonés lanza una estrategia de industrialización intensiva, con el objetivo de desarrollar un sector siderúrgico moderno y competitivo internacionalmente. Este enfoque se vio impulsado por la falta casi total de recursos minerales en Japón, lo que llevó a su industria del acero de un rápido crecimiento a depender de la importación de mineral de hierro y carbón metalúrgico. La característica distintiva de las redes de recursos formadas por la industria japonesa del acero radica, tanto en las características de la economía política japonesa de posguerra, como en su escasez de materias primas (Wilson, 2013). La economía política de Japón, después de la guerra, se caracterizó por altos

niveles de coordinación industrial, funcionando horizontalmente a través de industrias, verticalmente entre firmas industriales, bancos y casas comerciales, y entre empresas y el estado japonés. Estas relaciones cooperativas proporcionaron el entorno institucional dentro del cual ocurrió la industrialización pesada y el rápido crecimiento de Japón en las décadas de 1950 y de 1960.

Para obtener pedidos de barcos de países extranjeros, era necesario reducir los costos de producción para compensar el alto precio del acero, resultado de la estructura del comercio exterior de la posguerra. Esto llevó a una racionalización a gran escala, donde la introducción de nuevas técnicas, principalmente la soldadura, fue esencial. La intensificación del trabajo y la explotación de pequeñas y medianas empresas asociadas a compañías monopolísticas también fueron partes importantes de esta racionalización (Echigo, 1958). Durante esta fase, Japón absorbió y adaptó técnicas importadas, desarrolló procesos de producción en busca de economías de escala y abordó problemas de contaminación ambiental y peligros públicos. Esto llevó a un aumento en la exportación de tecnología de fabricación de acero y a una mayor internacionalización de la industria siderúrgica japonesa (Ida, 1980).

Desde 1956, la construcción naval en Japón representaba aproximadamente la mitad de la producción mundial de barcos, una concentración en el mercado mundial que llama la atención por la escasez de materias primas y, aún menos, productos industriales. Es discutible que la posición geográfica de Japón, como país insular, fuese un factor favorable para el desarrollo de la industria naviera y relacionadas, pero solo esto no explica su destacada posición actual. Varios factores han sido perjudiciales para el desarrollo de una gran industria de construcción naval, siendo el principal la pobreza de Japón en minerales de hierro, materias primas esenciales para la industria. Además, el entorno histórico, como el período de aislamiento en la era *Tokugawa* y los daños sufridos durante la Segunda Guerra Mundial, obligaron a Japón a comenzar casi desde cero (Blumenthal, 1976).

Japón ha logrado una ventaja comparativa mediante la adopción y la adaptación de tecnología extranjera, compensando así su escasez de materias primas. Las subvenciones del gobierno han sido fundamentales para superar dificultades en el desarrollo industrial. La economía de Japón, caracterizada como una "economía mixta", ha sido guiada por el gobierno utilizando mecanismos de mercado en lugar de una planificación centralizada. Esta intervención gubernamental ha sido clave para evitar que la industria se viera perjudicada por condiciones adversas, tanto locales como internacionales.

A pesar de los esfuerzos significativos de la administración y el *Bakufu*[327], la industria enfrentó desafíos tecnológicos considerables, lo que llevó a una dependencia de importaciones extranjeras durante la segunda mitad del siglo XIX. La transición de la construcción de barcos de madera a barcos de hierro y vapor representó un cambio tecnológico importante, pero Japón carecía de la experiencia y de la infraestructura necesaria para realizar estos avances por sí mismo. Para finales del siglo XIX, la intervención del gobierno japonés se hizo más evidente, incluyendo leyes para fomentar la industria naval y de navegación. Mediante políticas gubernamentales, incluidas las subvenciones y los programas de incentivos, se estimuló la modernización, la producción nacional e infraestructura, reduciendo la dependencia de las importaciones (Broadbridge, 1977). Durante y tras las Guerras Mundiales, Japón aprovechó para expandir su industria naval, enfrentando la dependencia de importaciones. Tras la Segunda Guerra Mundial, con políticas de modernización y autosuficiencia, Japón se reconstruyó y se convirtió en líder mundial en construcción naval, impulsado por la demanda internacional y la guerra de Corea. La intervención estatal fue fundamental en el desarrollo de la industria naval japonesa. Es por ello que la combinación de políticas gubernamentales, demanda global y circunstancias históricas únicas contribuyeron al éxito notable de la industria naval de Japón.

La industria marítima japonesa se desarrolló rápidamente, apoyada por políticas gubernamentales que fomentaron la creación de grandes compañías de transporte marítimo como *Nippon Yusen Kaisha* (NYK) y *Osaka Shosen Kaisha* (OSK). Estas empresas crecieron mediante fusiones, subsidios estatales y la adopción de tecnologías avanzadas, convirtiéndose en competidores globales importantes (Davies P. N., 1985).

Ante la presión del mercado, Japón consolida su industria naval. En 1971, 17 empresas de la posguerra se habían fusionado en siete grupos. Esta reestructuración ayudó a Japón a gestionar eficazmente la crisis del petróleo de principios de los setenta. Sin embargo, el descenso de la demanda a finales de los 70 provocó una reducción permanente del 33% de la capacidad de construcción naval, y las instalaciones sobrantes se destinaron a otras industrias (Davies P. N., 2009). Es, por ello, que a lo largo de las diferentes fases que comienzan con la apertura de Japón, su industria naval pasó de ser un sector centrado en el mercado nacional y tecnológicamente rezagado a convertirse en una industria líder mundial

[327] Gobierno militar.

e innovadora, a pesar de desafíos como las guerras, las fluctuaciones económicas y los cambios en la demanda del mercado mundial.

9.3. Construcción civil: De la parálisis al desarrollo

El desarrollo de la industria de construcción civil y naval en España, desde mediados de los años treinta, exhibe una trayectoria de desafíos y adaptaciones significativas. Durante la Guerra Civil Española, la industria naval experimentó una parálisis, con una suspensión completa de la construcción de buques. Este período de inactividad se prolongó hasta después del conflicto, con una reanudación lenta de las actividades. La entrega de buques en Vizcaya, por ejemplo, se detuvo entre 1937 y 1940, aunque los pedidos comenzaron a aumentar a partir de 1938 (Valdaliso J. M., 1998).

La década de 1940 estuvo marcada por una escasez de materias primas y problemas en el suministro de energía eléctrica, que representaron desafíos constantes para los astilleros. Los astilleros se dedicaron principalmente a tareas de reparación y, en algunos casos, esta actividad se combinó con la construcción de un petrolero, así como la fabricación de maquinaria, material ferroviario y construcciones metálicas. No obstante, hacia finales de la década de 1950, con la superación gradual de estos problemas y el apoyo financiero estatal, reflejado en la *Ley de 1956*, la industria comenzó a mostrar signos de recuperación. La recuperación de la industria naval no solo se vio en la reanudación de la construcción de buques, sino también en la innovación tecnológica. Pese a la política autárquica y a las limitaciones impuestas por el franquismo, se iniciaron esfuerzos para mejorar la financiación del sector y se promulgó la *Ley de Protección a la Construcción Naval* (1951) y la *Ley de Protección de la Marina Mercante* (1957), lo que condujo a un crecimiento moderado. El Régimen adquirió participaciones en astilleros y fomentó la expansión y modernización de las instalaciones. Empresas como La Naval y Euskalduna se destacaron en la fabricación de motores diésel, que se habían convertido en un estándar en la navegación marítima. A mediados de la década de 1960, La Naval lideraba el sector, con una cuota de mercado significativa, y Euskalduna emergió como uno de los principales fabricantes.

En las décadas de 1960 y 1970, la industria naval en España experimentó un notable crecimiento. A nivel nacional, la producción del sector se multiplicó por cuatro en cada decenio, superando el ritmo de crecimiento de la producción

mundial. La cuota de mercado de la industria naval española aumentó significativamente, pasando del 1.2% en la década de 1950 al 2.5% en la de 1960 y al 4.7% en la de 1970 (Valdaliso J. M., 1998). En esta última década, España alcanzó el cuarto lugar a nivel mundial en producción, únicamente superada por Japón, Suecia y Alemania. La industria española no se limitó al mercado nacional, sino que se expandió internacionalmente, primero en América Latina en los años sesenta y luego en Europa y África en los años setenta. Durante esa década se impulsó una reestructuración empresarial significativa. La creación de Astilleros Españoles S.A. en 1969, por ejemplo, representó un hito importante. La introducción de nuevas tecnologías y la mejora en la productividad permitieron a los astilleros españoles competir internacionalmente (Gómez Alén, 2019).

A pesar de estos avances, la industria enfrentó retos sustanciales. La crisis del petróleo de 1973 y la apertura del Canal de Suez en 1974 afectaron negativamente al sector, y aunque la actividad se mantuvo gracias a pedidos previos, la demanda empezó a disminuir drásticamente a finales de los años setenta. Esta afectó especialmente a la construcción de petroleros y *bulk-carriers*. La competencia internacional se intensificó y los altos costos de producción en España llevaron a la pérdida de cuota de mercado en el exterior. La industria naval española se vio obligada a centrarse en un mercado doméstico más reducido, absorbiendo solo una parte de su capacidad productiva. Para adaptarse a las nuevas circunstancias del mercado, se implementó un programa de reconversión que incluyó el cierre de instalaciones históricas y la salida de parte del capital privado del sector. La reconversión se puso en marcha en la década de 1980, lo que llevó al cierre de algunas instalaciones y talleres auxiliares.

9.3.1. Otros avances en España

La construcción naval española, continúa el legado anterior de innovación. En el ámbito civil, el **Lemos**, construido en 1961 por Astilleros y Construcciones en Vigo para Pescanova, fue el primer arrastrero congelador de la historia, revolucionando la industria pesquera al permitir la conservación ultracongelada de capturas a bordo. Diseñado para la pesca de merluza en aguas de Argentina y Sudáfrica, el Lemos destacó por su capacidad de congelación y almacenamiento, lo que le permitía faenar en caladeros lejanos durante semanas. Su éxito impulsó a Pescanova a convertirse en una de las principales compañías pesqueras de Europa, que en 2023 se componía de 70 buques. El petrolero **Arteaga** (1972), construido en Ferrol, marcó un hito en la historia naval al ser no solo el buque más grande

construido en el país, sino también el mayor del mundo lanzado desde grada con 325.000 toneladas de peso muerto. Esta innovación desafió las prácticas tradicionales de la industria, ya que hasta entonces los grandes petroleros se construían y flotaban en dique seco. La botadura del **Arteaga** atrajo la atención mundial, incluida la de los competidores japoneses, líderes en la construcción naval y consolidó el reconocimiento de Astano. Esta perduró a pesar del posterior declive del astillero y la breve vida operativa de este superpetrolero.

9.3.2. Decadencia inglesa

En contraste con el crecimiento asiático, algo menor en países europeos como España, la construcción naval inglesa, que había disfrutado de una supremacía entre los periodos de 1890 y 1914 con el estallido de la Primera Guerra Mundial, comienza un imparable declive. Este será particularmente acuciante entre el periodo de 1948 a 1970, atribuido a la necesidad de métodos administrativos y a una desconfianza entre la gerencia y los trabajadores (Lorenz, 1991).

Por una parte, pese a la cualificación de los trabajadores británicos, la estandarización de los buques y la introducción de la soldadura a partir del segundo tercio del siglo XX, topó con la más flexible, es decir, menos sistemática construcción británica. Este método se apoyaba en la experiencia y una baja supervisión del trabajador, que no era compatible con la producción en masa, veloz cambio tecnológico y general burocratización de la práctica naval. Esto afectó dramáticamente a la competitividad británica, que no logró implantar métodos de gestión más sistemáticos y burocráticos. Algo que otros países del entorno, como Suecia y Francia, si hicieron aunque por falta de obra cualificada.

Por tanto, pese a que la disponibilidad y alta cualificación de la mano de obra británica fue una ventaja previa al desarrollo tecnológico de principios del siglo XX, los métodos tradicionales de organización y producción contribuyeron significativamente al declive competitivo.

9.4. Innovación en otros materiales

9.4.1. Del hormigón al ferrocemento

El ferrocemento es un material de construcción compuesto por una delgada capa de hormigón reforzado con mallas metálicas, tanto tejidas como soldadas, y varillas de acero deformadas (Figura 9.1). Esta estructura le otorga una mayor resistencia

a la tracción y a deformaciones en comparación con el hormigón armado tradicional, gracias a su combinación única de componentes y armadura.

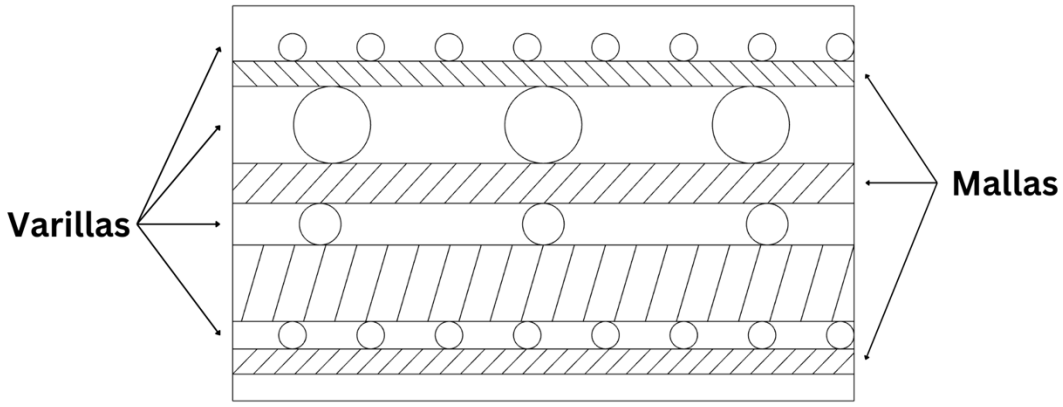


Figura 9.1: Estructura del Ferrocemento. Fuente: Elaboración propia

Se destaca por su disponibilidad, asequibilidad y la facilidad de su proceso constructivo, que no requiere de maquinaria costosa ni de mano de obra especializada. Su versatilidad le permite moldearse en casi cualquier forma, incluyendo curvas compuestas, y sus secciones pueden ser tan delgadas como 2,5 cm. Comparado con el hormigón armado, el ferrocemento es más adaptable y económico en regiones donde otros materiales como la madera o la fibra de vidrio reforzado (FRP) son costosos o escasos. La idea de reforzar el cemento no es nueva y se remonta a civilizaciones tan antiguas como la china y la romana. Sin embargo, el ferrocemento moderno comenzó a tomar forma en Francia cuando **Jean Louis Lambot** introduce el hormigón reforzado con malla en 1850 bajo la patente "ferciment". **Pier Luigi Nervi** popularizó el término "ferrocemento" y su aplicación moderna en la década de 1930, revolucionando su uso en formas delgadas y específicas. **Nervi** utilizó mallas de alambre y varillas de acero en capas de cemento, notando la flexibilidad y resistencia al impacto del material resultante.

El ferrocemento, utilizado inicialmente para compensar la falta de acero al final de la Primera Guerra Mundial, alcanzó su apogeo durante la Segunda Guerra, en la que se optó por este material para construir pontones y barcazas. Sin embargo, su uso masivo en construcción naval no tuvo lugar hasta la década de 1960. En ese entonces, China, ante la escasez de madera y el bloqueo estadounidense, impulsó su producción en Shanghái. Simultáneamente, en 1967, Cuba comenzó a experimentar con este material, culminando en 1969 con la construcción de un camaronero en La Habana.

Desde 1958, China experimentó un crecimiento significativo en la construcción de buques de ferrocemento, expandiendo su uso de aplicaciones fluviales a marítimas. Esta evolución generó una diversidad de categorías de embarcaciones, incluyendo agrícolas, de transporte, de trabajo y pesqueras. Con la estandarización de diseños y la adopción de métodos de construcción mecanizada, como el moldeo mecanizado y el vibroinyectado, mejoraron notablemente la calidad y eficiencia de los buques (Journal of Ferrocement, 1989). El desarrollo de embarcaciones agrícolas de ferrocemento desde 1961 marcó un punto de inflexión, reemplazando en muchas regiones a los barcos de madera. En el ámbito del transporte, China fabricó una gama de buques como cargueros, remolcadores y barcazas, incluyendo cargueros costeros de 300 TPM y remolcadores de 1.320 CV. Estos buques demostraron que el ferrocemento era viable tanto técnica como económicamente para construcciones de hasta 40 metros. El ferrocemento también se utilizó en embarcaciones de trabajo, como dragas de succión y grúas flotantes, y en una variedad de barcos pesqueros. Los esfuerzos de investigación se centraron en optimizar diseños estructurales y técnicas de construcción, dando lugar a estructuras híbridas y embarcaciones especiales.

En las décadas de 1970 y de 1980, su popularidad creció en la construcción de embarcaciones recreativas en países como Nueva Zelanda, Australia, Canadá y el Reino Unido, demostrando su adaptabilidad y eficacia a nivel mundial. Aunque el ferrocemento fue una opción popular en la construcción de yates hasta principios de la década de 1980, su producción disminuyó debido al aumento de los costos y la naturaleza laboriosa de su construcción. Por tanto, este material quedó relegado a la práctica por aficionados debido, entre otras razones, a su bajo coste (Tucker, 1977). Esto es evidente en publicaciones como el *Journal of Ferrocement* que incluía consejos para el aficionado[328]. Esta es una razón sólida por la que continúa siendo un material prominente en regiones donde los costos laborales son mínimos.

La construcción en ferrocemento cuenta con publicaciones como *Ferro-cement Boat Construction* de **Jack R. Whitener** (Whitener, 1971). Asimismo, el *Naval Ship Command* (NAVSHIPS) publica en 1972 el *Ferro-Cement Boat Building Manual* que, en los dos primeros volúmenes, trata de la construcción de una lancha motora de 65 pies, mientras que en el tercer volumen trata de la construcción de diez pesqueros de 42 pies. La lancha que describe empleó el método del armazón soldado en posición vertical. Entre los datos más relevantes, estaba la mano de obra, con

[328] Ver *Journal of Ferrocement*: Vol 19 (3), 1989.

una gran influencia regional, en las que se detallan tareas, los oficios necesarios y la duración de los trabajos que permiten la estimación de costos locales y sirve como lista de verificación. La publicación mencionada, documenta detalladamente el proceso de construcción de diez barcos pesqueros de 42 pies en solo cinco meses. Estos fueron construidos en 1971 en un astillero en Bahamas, lo que demostró la eficiencia del ferrocemento. Utilizando mano de obra no especializada y un método innovador de molde de madera invertido, se logró una construcción eficiente y adaptable. Este método facilitó la fijación de mallas y varillas, y la aplicación de mortero, superando desafíos como la falta de experiencia previa de los trabajadores en ferrocemento. Las ventajas del proceso incluyeron facilidad de moldeado y eficiencia, compensando las dificultades del desmoldeo. Los componentes prefabricados se añadieron posteriormente, culminando en la exitosa construcción y botadura de los barcos. El diseño buscaba un barco de pesca versátil, viajes de pesca prolongados, con combustible para diez días y tres toneladas de agua dulce y una máquina de hielo para agua de mar, con una velocidad de 10 nudos.

9.4.1.1. Ferrocemento en la Industria Pesquera y otras aplicaciones

El ferrocemento ha encontrado un uso significativo en la industria pesquera (Figura 9.2), particularmente en países en desarrollo donde la escasez y el alto costo de la madera han llevado a la búsqueda de alternativas. Los métodos de construcción de ferrocemento varían desde embarcaciones de gran calado hasta diseños autóctonos más simples, adaptándose a las necesidades y recursos locales. Además de su uso en embarcaciones, el ferrocemento tiene aplicaciones en estructuras como muelles flotantes, remolcadores, barcazas y estructuras en alta mar.

Como se ha comentado, el uso del ferrocemento requiere mano de obra intensa, al ser profundamente un proceso manual. De ahí que su uso sea más frecuente en los países en desarrollo con bajos costes laborales (Jensen, 1977). El aumento de los costos de la madera de calidad y su escasez han impulsado cambios significativos en la industria pesquera mundial. Los países desarrollados, enfrentando esta situación, han migrado de la construcción tradicional de barcos de madera a alternativas como el contrachapado, el plástico reforzado con fibra (FRP), el acero, el aluminio y, notablemente, el ferrocemento. Estos materiales no solo ofrecen ventajas económicas y de disponibilidad, sino que también requieren menos mano de obra, un aspecto crucial en la eficiencia de la construcción naval. Sin embargo, en los países en desarrollo, las embarcaciones de madera aún predominan a pesar

de la escasez, aunque la calidad de estas se ve afectada por el uso de madera inferior (Riley & Turne, 1995). La selección de materiales de construcción de embarcaciones se basa en criterios como disponibilidad, costo, durabilidad, calidad de la mano de obra, idoneidad del lugar, adaptabilidad del diseño y facilidad de reparación. La deforestación ha reducido la disponibilidad de madera de alta calidad, incrementando su costo. Aunque alternativas como la madera contrachapada son ligeras y fáciles de mantener, su utilidad se limita a embarcaciones pequeñas. El FRP es popular en los países desarrollados, pero su alto costo y requisitos específicos de fabricación limitan su uso en regiones menos desarrolladas. El aluminio y el acero, aunque resistentes y más accesibles, requieren conocimientos técnicos y mantenimiento regular.

El ferrocemento emerge como una solución viable y económica, especialmente en regiones con mano de obra barata. Similar al hormigón armado, pero con mayor resistencia a las grietas, el ferrocemento es duradero, resistente a la putrefacción y a la corrosión, aunque presenta desafíos en términos de peso y vulnerabilidad al impacto. La propiedad de doblarse sin agrietarse es beneficiosa para crear estructuras con curvaturas compuestas, como cúpulas o cascos de barcos, que ganan resistencia y elasticidad gracias a su forma. Sin embargo, los diseños con grandes superficies planas o ángulos agudos son menos óptimos para el ferrocemento.

El ferrocemento ha ganado reconocimiento por su innovación en la construcción naval, extendiéndose a países como India, Brasil, Egipto y Fiyi. Con la demanda creciente de viviendas en los países en desarrollo y el agotamiento de la madera de calidad, este material se ha convertido en una alternativa sostenible. La construcción de barcos de ferrocemento implica varios pasos, desde el armazón inicial hasta el enlucido con mortero y el curado. Aunque simple en su ejecución, la construcción de embarcaciones de gran calado con ferrocemento exige rigurosos estándares de calidad y control, dada la naturaleza impredecible del mar.

Además de su uso en embarcaciones, el ferrocemento tiene potencial en la construcción de muelles flotantes, remolcadores, barcazas y estructuras marinas. Para los países en desarrollo, representa una oportunidad de explotar eficientemente sus recursos laborales para la construcción de embarcaciones de alta calidad destinadas a la exportación, redefiniendo así su papel en la industria pesquera global.

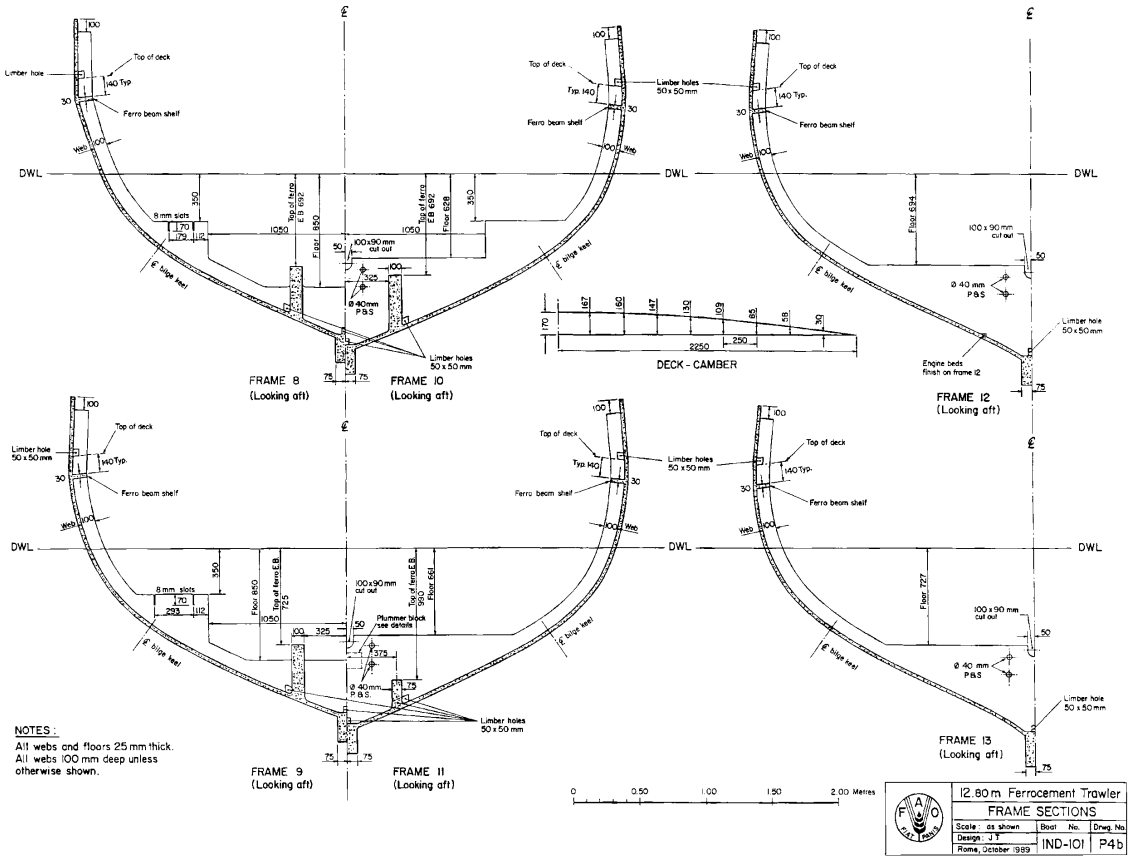


Figura 9.2: Cuadernas de buque pesquero en Ferrocemento. Fuente: FAO

9.4.2. Fibra de vidrio

La fibra de vidro encuentra su uso naval en la primera mitad del siglo XX, aunque su aplicación generalizada comienza a principios de la segunda mitad de esa centuria. Un caso conocido es la sustitución de la madera contrachapada, empleada en los costados de las LCVP, por la fibra de vidrio como material principal. Esta transición no se da por una escasez de material, sino por una decisión económica, que, a pesar de su protección limitada, reducía costos y economizaba acero.

Desde que **Dale Kleist** crease accidentalmente las primeras fibras en *Corning Glass* en el año 1932, esta se unió a una nueva tecnología la resina de poliéster patentada en 1936, datando el término de *Fiberglass* al mismo año. El uso durante la Segunda Guerra Mundial no fue generalizado, pero puntualmente fue empleado en componentes para los aviones.

Su aplicación naval es algo más tardía, inicialmente con veleros desde 1942[329], habiendo un reemplazo más extendido a partir de la década de 1950. Su uso no se limitó a las aplicaciones civiles, sino también a las militares.

A nivel básico, su empleo y materiales han ido evolucionando, permitiendo una transformación progresiva del producto final. Algunos avances, como el empleo naftenato de cobalto a la resina sin catalizar, permitieron el curado a temperatura ambiente y las piezas mejoraron con las técnicas de infusión de resina, apareciendo ambas en la década de 1940. Las ampollas osmóticas fueron un problema de permeabilidad que exigió cambios en la manufactura y materiales.

En el plano constructivo, la tendencia se desplazó hacia cascos con núcleo, siendo el **Red Jacket** (1966) el primero en adoptar esta construcción. Construido por *Bruckmann Manufacturing* con fibra de vidrio y núcleo de madera de balsa, este era más liviano y resistente que otros yates de la época y tuvo un comienzo muy galardonado. En la década de 1980, a la fibra de vidrio se suman otros laminados como el *Kevlar* y el carbono, los cuales ofrecen unas propiedades mecánicas mejoradas junto a una reducción de peso, pero con una de las mayores desventajas siendo el precio.

El uso de la fibra de vidrio (GRP) contribuye a que la firma magnética del buque se reduzca extraordinariamente, siendo favorecida en operaciones de contramedidas antiminas. Por tanto, los cazaminas y dragaminas que, previamente habían usado cascos de madera, comienzan una transición a PRFV. Los dragaminas en España habían tenido casco de hierro en la clase **Bidasoa** (1943), de madera en la clase **Guadalete** (1952) y la clase **Júcar** (1956), con la clase **Segura** a finales de la década 1990 usando un casco monolítico de PRFV.

9.4.3. El aluminio avances y abandono

El uso del aluminio continuó y, desde la empresa privada, se fomentaron diversas aplicaciones del aluminio, para hacer más atractivo su empleo. Conocida por su influencia en la industria del aluminio y productos como el *Reynolds Wrap*, *Reynolds Metals Company* incursionó en la construcción de submarinos con el **Aluminaut**, el primero de aluminio en el mundo. Esta iniciativa de los fabricantes de metales puede considerarse análoga a la aludida en el siglo XVIII, con el uso del

[329] Ray Greene construyó el primer barco de fibra de vidrio con resina de poliéster en 1942, suministrándose de materiales de Owens Corning y resina de American Cyanamid.

cobre por el constructor **Stalkouth**. También al empleo del hierro, en el siglo siguiente, ejemplificado por el barco **Vulcan**.

El **Aluminaut**, concebido por **J. Louis Reynolds** y **Simon Lake** en 1942 y construido mediante piezas forjadas de aleación de aluminio 7079 que, para resistir la corrosión, estaba protegido mediante revestimiento y protección catódica. El submarino podía descender hasta 15.000 pies con una tripulación de seis personas y se distinguió en la década de 1960 por su papel clave en misiones subacuáticas, incluyendo el rescate de una bomba de hidrógeno en las costas españolas[330] y la recuperación del sumergible **Alvin** en Massachusetts en el año 1969. Lanzado en 1964, el **Aluminaut** fue un instrumento vital para la investigación científica y para las operaciones de rescate, al igual que colaboró con la Marina de EE.UU., la industria cinematográfica y realizó estudios para la Oficina Oceanográfica Naval de EE.UU., demostrando la capacidad revolucionaria del aluminio en aplicaciones técnicas y científicas. A pesar de su éxito, su uso cesó en 1971, siendo enviado al Museo de Ciencias de Virginia donde aún se exhibe.

Las armadas abandonaron el uso del aluminio en las superestructuras de sus buques en los años 70 debido a la baja resistencia contra el fuego. Para la armada estadounidense, el caso más representativo es el crucero **USS Belknap** (1963), que, tras su colisión con el portaviones **USS John F. Kennedy** (1967) en noviembre de 1975, decanta a la Marina por el uso del acero para todos sus buques de combate de superficie.

En el ámbito del reciclaje, para 1981 el aluminio ya mostraba su potencial de ser reciclado, a pesar de que las industrias de procesamiento de chatarra careciesen aún de experiencia técnica en el procesamiento y de que la cantidad de aluminio en los coches se hubiese casi duplicado[331] en 14 años (Testin, 1981).

9.5. Resultados incipientes y fortalecimiento industrial

Volviendo a la escena nacional y, en particular a la aportación del INI, este se creó en un contexto de autarquía y aislamiento internacional, caracterizado por la escasez de recursos y tecnología. Esta situación forzó al INI a adoptar estrategias innovadoras para impulsar la industrialización de España que llevó a una fuerte dependencia de los recursos nacionales y a la búsqueda de alternativas locales. Se

[330] Referida a la bomba termonuclear B28FI perdida en Palomares en enero de 1966.

[331] El contenido de aluminio de los automóviles en EE.UU. había aumentado en 76 libras por automóvil en 1967 a aproximadamente 130 libras en 1981.

enfocó en sectores como la minería, la siderurgia y la energía, donde la disponibilidad de recursos nacionales era crucial. La escasez de recursos fomentó la creatividad y la innovación, con la creación de industrias enteras desde cero, a menudo con poca o ninguna experiencia previa. El INI fue fundamental en el desarrollo de sectores industriales clave en España, especialmente en tiempos donde el país carecía de la tecnología y el conocimiento necesarios. Promovió la creación de industrias en sectores como la siderurgia, la construcción naval, la minería, la energía y la automoción. Su enfoque en la diversificación industrial ayudó a mitigar desequilibrios regionales y a fomentar el desarrollo en áreas menos desarrolladas.

El legado económico del Instituto Nacional de Industria en España es multifacético y representativo. Contribuyó significativamente al desarrollo de la infraestructura industrial del país. Este esfuerzo no solo incluyó la construcción de fábricas y plantas industriales, sino también el desarrollo de redes de transporte y energía necesarias para el crecimiento industrial. Un ejemplo concreto de este legado se refleja en su inversión sectorial a lo largo de los años. A pesar de los cambios en la política económica y las diferentes orientaciones de sus administraciones, el INI mantuvo un alto grado de estabilidad en su esquema de inversiones sectoriales. Un núcleo fundamental de su inversión estuvo concentrado en sectores como el energético, la minería y la siderometalurgia. En 1963, estas áreas absorbieron aproximadamente el 68.6% de las inversiones totales del grupo. Para 1989, esta cifra se había incrementado ligeramente a 72.8% (Rodríguez Romero, 1992).

A medida que España se abría al mundo y superaba la autarquía, el INI se transformó. Comenzó a adoptar tecnologías extranjeras y a integrarse en el mercado global. Esta transición fue un desafío significativo, ya que implicó no solo cambios tecnológicos sino también organizativos y de gestión. Influenció la política económica y el desarrollo industrial de España a largo plazo, sentando las bases para la transición del país a una economía más abierta y diversificada.

La revitalización del sector naval condujo a un aumento en la cantidad de ingenieros navales, evidenciando la necesidad de establecer una entidad oficial para la gestión de la profesión. Así, en 1967, se fundó el Colegio Oficial de Ingenieros Navales (COIN) con el fin de defender sus intereses. Tras la crisis del petróleo, la industria de diseño naval en España vivió un florecimiento gracias a avances tecnológicos, lo que permitió a la Armada Española dejar de depender de compras extranjeras y tomar control completo sobre las etapas de diseño y construcción de sus embarcaciones. Esta nueva era en la construcción naval

española se caracterizó por la incorporación de una variedad de buques, incluyendo cazaminas, corbetas, fragatas y submarinos y, en tiempos más recientes, buques de proyección estratégica.

Ese desarraigo de la dependencia extranjera, en la construcción de la flota, la ejemplifica la construcción del **Príncipe de Asturias** que, a pesar de proceder de un diseño de *Sea Control Ship* (SCS) concebido por la oficina técnica *Gibbs & Cox*[332] en los años 70, se rediseña por Navantia para servir a las necesidades de la Armada Española que con ello esperaba sustituir al **Dédalo** (antiguo **USS Cabot**). A pesar de los retos, incluyendo la aceleración de su botadura en 1982 por razones políticas, el buque se completó en 1988. Con un desplazamiento de 17.100 toneladas y 196 metros de eslora, se convirtió en el mayor buque de guerra español. Destacaba por su avanzada cubierta de vuelo de 175.3 metros con una rampa ski-jump, sistemas de defensa antimisil y un equipo de propulsión y navegación de alta tecnología, incluyendo dos turbinas de gas *General Electric LM2500*. Este portaaviones representó un hito en la capacidad de proyección naval de la Armada Española y demostró la excelencia que la construcción naval militar española estaba adquiriendo y, de alguna manera, recuperando su lugar en la escena naval internacional.

[332] El diseño conceptual y el preliminar pertenecen al NAVSHIPS y al Naval Sea Systems Command (NAVSEA), siendo el arquitecto naval principal Lennert O.Thunberg, mientras que el diseño de detalle es de Gibbs & Cox. La elucidación de este ingeniero es acredita por el autor Larrie D. Ferreiro.

> "La nueva política es menester que comience a diferenciarse de la vieja política en no ser para ella lo más importante, en ser para ella casi lo menos importante la captación del gobierno de España, y ser, en cambio, lo único importante el aumento y fomento de la vitalidad de España" (Ortega y Gasset, 1914)

10. Resurgimiento y concienciación: 1982-2035

Este capítulo comienza en un año singular para la defensa española. Por un lado, el desarrollo técnico de los astilleros españoles permite la construcción del primer portaaviones de construcción nacional y España se convierte en el miembro decimosexto de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN). Esta entrada repercute en el aprovisionamiento militar de España que, en el periodo entre 1986 y 1990, alcanza máximos de compra de material bélico. El **Príncipe de Asturias** cimenta el reconocimiento internacional de España como constructor naval al ganar Bazán, en 1994, el contrato para construir el portaaviones **Chakri Naruebet** para la Real Armada Tailandesa.

La industria española arrastraba desde la década de 1970 una serie de desafíos externos e internos, con el aumento del precio de las materias primas derivado de la crisis del petróleo. Con la apertura del canal de Suez comienza el final de los grandes petroleros y cargueros y suenan las primeras alarmas de la sobrecapacidad del sector naval, con Astano[333] a la cabeza. Este nuevo contexto exige, por parte de la industria naval, una racionalización de la capacidad naval. Por tanto, en 1982 se promulga un primer *Decreto de Reconversión*, con el fin de reducir la capacidad productiva, para paliar la sobrecapacidad y los bajos índices de productividad. De esta manera, en 1984 se redujo la capacidad instalada en un 50% y las plantillas en un 38%, con cierres de astilleros como ASCON en Vigo y Cantábrico y Rivera en Gijón (Gómez Alén, 2019). En la siguiente década esta racionalización continúa con la entrada de España en la Unión Europea y se publica entre otras la *VI Directiva Comunitaria sobre ayudas a la construcción naval* (1987). Esta exigió a reducir aún más la capacidad instalada y reguló las ayudas estatales, con implicaciones significativas en la reestructuración, aunque abordando la crisis del sector tanto a nivel mundial como comunitario. Esta ofreció a España y Portugal un régimen excepcional y trató la concesión de ayudas, al igual que abordó las consecuencias sociales de la reestructuración naval. Como respuesta a la presión ejercida por el mercado exterior, que estaba dominado por

[333] Sufre una crisis financiera y es mayoritariamente adquirido por INI en 1972.

la más económica construcción naval en Asia, se crea el *Plan de Actuación Industrial* para mejorar la organización, equipamiento y formación con el objetivo de aumentar la competitividad. En lo que respecta al concepto naval, la relación con la Unión Europea continuó siendo espinosa debido a la regulación comunitaria, a las políticas fiscales[334] y a la creación de grupos empresariales como IZAR (2000), fruto de la fusión de AESA y Bazán, que se enfrentó a desafíos financieros y legales por supuestas ayudas estatales. Tras la disolución de IZAR nace Navantia (2005) con un objetivo, el de la construcción militar.

10.1. La fabricación de unidades

Desde los años cincuenta, la Empresa Nacional Bazán en Ferrol se adaptó a las demandas gubernamentales, construyendo barcos de guerra y, más tarde, orientándose hacia petroleros y cargueros. A finales de los sesenta, la innovación constructiva fue esencial para mantener la competitividad en el segmento de los superpetroleros y en la construcción de sofisticados buques de guerra, adaptando las instalaciones y procesos a las demandas técnicas y a la colaboración con Estados Unidos.

El proyecto de las fragatas **Baleares** (1970) marcó un hito, con la construcción integral de los buques a partir de bloques prefabricados, transformando las capacidades navales del grupo y abriendo el camino hacia la producción militar moderna. A pesar de la crisis y del proceso de reconversión, el astillero, ya como Navantia, mantuvo su actividad con trabajos acumulados, perfeccionando la construcción en bloques durante los años setenta y ochenta. Se construyeron petroleros, OBOs y *bulk carriers*, cumpliendo plazos competitivos de construcción y entrega. Posteriormente, el astillero se enfocó en construcciones militares, incluyendo fragatas **FFG**, el portaaviones **Príncipe de Asturias** y buques de aprovisionamiento en combate, como el **Patiño** (1994)[335]. Este enfoque llevó a innovaciones en el sistema constructivo, perfeccionándose con las fragatas **F100** y el LHD **Juan Carlos I** (2008), el cual se convierte en el mayor buque militar construido en España. Estos avances tecnológicos permitieron al astillero nacional especializarse en segmentos de construcción naval altamente tecnificados,

[334] Especialmente el Sistema Español de Arrendamiento Fiscal, conocido como *Tax Lease*, cuyos litigios han terminado en 2023 con la anulación de la solicitud de devolución de estas ayudas al sector naval. Por tanto, una resolución favorable para España por el Tribunal de Justicia de la Unión Europea (TJUE).

[335] El Patiño (1994) es fruto de la colaboración de la española Bazán con la holandesa *Nevesbu*. Tres años después, se bota el LPD Galicia (1997) que también se desarrolla bajo el marco de las relaciones hispano-holandesas, en este caso con *Damen* (Royal Schelde), que dan lugar al diseño *Enforcer*.

abriendo el camino a grandes contratos internacionales, como las fragatas para Noruega y los LHD para Australia. De esta manera, la industria naval militar española evolucionó de una tendencia evidentemente importadora a exportadora de tecnología, gracias a la experiencia acumulada tanto en su industria civil como en la militar y en sus colaboraciones internacionales[336].

10.1.1. La industria española

La industria española navegó por una serie de ciclos económicos y transformaciones esenciales desde la transición al cambio de milenio, comenzando con un período de decadencia y reconversión, caracterizado por desafíos vinculados a innovaciones tecnológicas y reestructuraciones en el ámbito empresarial. Sectores fundamentales, como la siderurgia y la construcción naval, se vieron intensamente afectados por la crisis, que alcanzó su punto álgido a comienzos de la década de 1980, marcados por una notable disminución del empleo industrial y de un auge en el déficit público. Este período fue sucedido por una etapa de modernización e internacionalización en la década de 1990. A lo largo de este período, se llevaron a cabo políticas de reconversión industrial que impactaron en la producción y el empleo en el sector. A pesar de los obstáculos, el éxito en la reconversión, la subsiguiente integración y adaptación al mercado europeo, junto con las innovaciones y avances en productividad, facilitaron momentos de notable recuperación y modernización para la industria española, aunque no exentos de críticas debido a los costos y a la gestión de estos procesos (Velasco & Plaza, 2003). La política de privatización de los años noventa chocó con la otra intervención estatal en la industria española, mediante el Instituto Nacional de Industria y los Planes de Desarrollo, que fue central en los años sesenta y setenta.

10.1.2. Gestión de procesos

La búsqueda de la eficiencia no es exclusiva de los proveedores, sino también de los organismos públicos como lo es una armada moderna. En 1997, la Armada estableció la Comisión de Estudios (COMESAR) para adaptar la organización a un entorno nacional e internacional rápidamente cambiante, abordando desafíos como la gestión mejorada, adaptación a nuevas teorías organizativas, reducción y profesionalización del personal, y plena integración en entidades internacionales

[336] Ver: Ferreiro, L. (2010). Evolution and Revolution in Spanish and Chilean Shipbuilding from the Cold War to the 21st Century: A Study in International Technology Transfer in the Naval Industries. *International Journal of Naval History, Volume 8.*

de seguridad. La Armada, por tanto, ha transitado hacia una nueva estructura organizativa basada en criterios funcionales, enfocándose en cinco aspectos: estructura, procesos de trabajo, personas, tecnología y entorno.

A finales de la década de 2010, la construcción naval española mostraba signos de recuperación. Astilleros como *Metalships*, Armada, o Barreras enfrentaron incertidumbres, mientras que otros, como Navantia, se centraron en proyectos militares y en energía eólica marina. Sin embargo, la estabilidad futura del sector sigue siendo incierta (Gómez Alén, 2019).

10.2. Exportación y tendencias

El mercado europeo ha experimentado una reestructuración significativa desde los años 90, orientada tanto a nivel nacional como europeo e internacional. Antes resguardada celosamente por los estados, debido a la naturaleza sensible de sus productos, la industria ha evolucionado para enfrentarse a varios desafíos y aprovechar las oportunidades en el entorno cambiante al término de la Guerra Fría.

España se suma a la exportación de unidades navales como el resto de las potencias navales e industriales occidentales y, acompañado de un encomiable desarrollo tecnológico, da inicio la exportación, la cual incluye desde unidades menores a buques de mayor porte. En las últimas dos décadas, España ha modernizado significativamente su flota militar, permitiendo que sus astilleros se conviertan en líderes mundiales. Lo cual ha llevado a la construcción naval nacional a situarse entre los 10 mayores exportadores de material bélico[337] y, principalmente, de barcos de guerra. Este hecho demuestra el efecto multiplicador de la transferencia tecnológica que, a pesar de que el origen parcial de esta pueda encontrase en un tercer país, dadas las circunstancias apropiadas, pueden convertir al país intermedio en el proveedor líder de esa tecnología por su capacidad de adaptación (Ferreiro L., 2010).

La mencionada exportación abarca una amplia gama de buques militares, incluyendo portaaviones, fragatas, buques de proyección estratégica, patrulleros oceánicos y buques de aprovisionamiento. Con un significativo impacto económico, de experiencia técnica y político siendo reseñable la diversidad de los países de

[337] Las exportaciones militares españolas también incluyen entre otros: armamento ligero, vehículos como los Vamtac y aeronaves bajo la colaboración supranacional de la corporación Airbus.

destino entre los que se encuentran: Noruega[338], Tailandia, Venezuela[339], Arabia Saudí[340] y Australia[341]. Las exportaciones no sólo responden a razones de mercado como tecnológicas y económicas, sino en gran medida a intereses políticos y estratégicos de los países, tanto emisores como receptores.

10.2.1. Sector de la defensa

El análisis realizado por *Gican*[342], sobre la producción global de buques para la defensa durante el periodo de 2015-2021, comprende un total de 915 buques[343], que representan 3,5 millones de toneladas de desplazamiento con un valor de 274 billones de dólares americanos (Gican, 2023). En él se reflejan las tendencias que otros medios especializados han destacado en esta última década sobre las dinámicas y estrategias geopolíticas y de desarrollo tecnológico subyacentes en las potencias navales del mundo.

En primer lugar, Asia Oriental, particularmente China, ha emergido robustamente, superando a Norteamérica y consolidándose en términos de número y tonelaje de buques de guerra. Esta transición al liderazgo durante 2020-2021 marca un cambio crucial respecto a la hegemonía norteamericana entre 2015-2019. La capacidad de Asia Oriental para sostener una producción sólida durante la pandemia de COVID-19 ha resaltado la resiliencia y posible priorización estratégica de las capacidades navales de la región, incluso frente a los desafíos sanitarios y económicos globales.

Europa, por otro lado, se ha mantenido resiliente en su producción, con el Reino Unido, Francia y Alemania como contribuyentes significativos en la arena europea. A pesar de las intrigantes dinámicas, como Alemania superando a Francia en ciertos aspectos de la producción, Francia ha mantenido su liderazgo en cuanto al número de buques producidos y ha sido un destacado exportador.

Las discrepancias y variabilidades en la producción naval de áreas como Asia Central y Rusia ilustran diferencias palpables en las prioridades, las capacidades y las orientaciones estratégicas de diferentes regiones, proporcionando una

338 Ver Clase Fridtjof Nansen, con la primera unidad botada en 2004.
339 Ver Clase Guaiquerí, basados en la clase Avante 2200, con la primera unidad botada en 2009.
340 Ver Clase Al-Jubail, con la primera unidad botada en 2020.
341 Ver Clase Canberra, basada en el Juan Carlos I, con la primera unidad (de dos) botada en 2011.
342 Empleando la información suministrada por la reputada especialista en defensa Janes Strategic Services.
343 SSN (17), SSBN (7), SSK (55), CV (6), LHD (7), LPD (14), LST (18), DD (39), FF (80), Corvettes (106), FAC (32), OPV-H (36), OPV (152), CPV (175), MCMV (21), LCU (30), Research (18), Support (59), Auxiliaries (31), Training (6) e Intelligence (6).

ventana de análisis hacia las implicaciones geopolíticas y estrategias de seguridad nacional. Los cambios en la producción naval tienen ecos profundos en las estrategias y alianzas navales globales. Las regiones que aumentan su producción aspiran a ejercer influencia en los dominios marítimos, desencadenando posibles reconfiguraciones en las alianzas y estrategias navales globales.

Inmersos en la ola de modernización, sistemas modulares basados en contenedores ISO han sido favorecidos, especialmente por naciones de la OTAN, permitiendo reconfiguraciones eficientes y adaptabilidad en armas y capacidades. La tecnología de recubrimientos absorbentes de radar y la exploración de sistemas de control de daños automatizados simbolizan avances en estrategias de sigilo y supervivencia en situaciones críticas. La creciente demanda energética de radares y otros equipos de alta demanda energética ha puesto de manifiesto la relevancia de soluciones de almacenamiento de energía, como las batería y condensadores y la propulsión eléctrica combinada e integrada, los cuales representan un pilar en la evolución de la sostenibilidad y la eficiencia en operaciones navales. La aparición de diseños de casco comunes y la complementación de activos de ala rotativa con vehículos aéreos no tripulados ilustran tendencias clave hacia la comunalidad de equipos y la reducción de costos, a la par que facilitan la modernización de capacidades aéreas embarcadas.

Otro cambio identificado es la división de las fragatas en “primera” y “segunda” clase, con las primeras centradas en capacidades de combate y las segundas en diseños más limitados y económicos. En las de primera clase se incluiría a la clase **Bonifaz**, las **tipo 26** inglesas o las franco-italianas fragatas multipropósito **FREMM**. Todas estas tendencias señalan un futuro naval que se inclina hacia la modularidad, la adaptabilidad, y la eficiencia y que busca mantener la eficacia en un mundo cada vez más avanzado y desafiante.

10.2.2. Promoción del tejido Industrial

En el análisis de la construcción naval existen dos perspectivas claramente diferenciadas, la del constructor naval y la del cliente. Los constructores navales buscan una mayor producción de buques mientras que el consumidor busca un menor coste de las unidades. Lo que es evidente es que ambos buscan una mayor diferenciación del producto final, sea por las prestaciones de los mismos o por la mayor eficiencia del proceso de construcción. La inversión en la construcción naval requiere de un proceso de planificación y de estrategia altamente complejo, que, en

ocasiones, se convierte en un ejercicio de predicción a tres décadas[344] además de quedar influenciado por los eventos marítimos anteriores. Entre los factores principales están las políticas nacionales e internacionales, la formación de operarios, las instalaciones, los equipos y los aspectos comerciales. La importancia política de la construcción naval se ha comentado anteriormente y es un factor de gran importancia en la promoción sostenible[345] de la construcción naval.

Otros efectos podrían encontrarse en los eventos conocidos como cisne negro[346] (Taleb, 2012), que, aunque inesperados e improbables, causan un notable impacto en el curso de la historia, con consecuencias trascendentales en la economía o en la política mundial.

A nivel global, ha habido innumerables acontecimientos que han afectado la construcción naval durante el periodo definido en este trabajo. Como uno de los principales sucesos está el salto cualitativo de la navegación de los siglos XVIII y XIX, considerado el apogeo de la vela, que estuvo caracterizado por la construcción de grandes navíos destinados al comercio, la exploración y la guerra. Seguido por la Revolución Industrial que permitió el desarrollo de nuevos procesos y tecnologías de fabricación. En la construcción de buques de guerra, tanto la guerra de Crimea (1853-1856) como posteriormente la guerra de Secesión estadounidense (1861-1865), impulsaron el desarrollo de los buques blindados y su popularización en las diferentes armadas visto el poder devastador de los nuevos avances en la artillería naval. Esta estimula la ya mencionada incorporación del acero en la construcción naval desde el siglo XIX. Otros acontecimientos fueron instigados por sucesos políticos como la crisis del petróleo de 1973, la cual precipitó la demanda de superpetroleros en la década de 1970. También el colapso de la Unión Soviética en 1991 que afectó profundamente a los astilleros del antiguo bloque soviético.

Al igual que la industria naval japonesa florece entre los años 1960 y finales de la década de 1980, y es alcanzada por Corea del Sur en 1999, la construcción de buques comerciales en China lo hace desde los años 2000. Esta se convierte en la primera nación constructora naval de flota comercial en 2010[347], sobrepasando los objetivos iniciales de 2002-2015 establecidos por el gobierno (McGreevy, 2016).

[344] Asumiendo una vida útil de los buques de 25 a 30 años.
[345] En este caso, sostenible entendido desde un aspecto económico y social más que medioambiental.
[346] Metáfora introducida por el ensayista, investigador y financiero Nassim Nicholas Taleb.
[347] Para 2007 la lista de pedidos ya había superado a la japonesa.

La crisis financiera de 2008 también tuvo un impacto significativo en la construcción naval, especialmente en Europa, que sin el soporte financiero algunos astilleros se vieron obligados a cerrar o reducir sus operaciones.

Más gradual está siendo la transformación de la construcción naval debido a las normativas medioambientales y a los avances tecnológicos. Estos inducen a nuevos e innovadores diseños que cumplan las nuevas restricciones, al igual que al empleo de nuevos materiales y sistemas de propulsión.

Las tensiones comerciales que afectan a las principales economías, como la de Estados Unidos y China, también han repercutido en el sector del transporte marítimo. Muchas de estas tensiones han provocado cambios en los patrones del comercio mundial.

En las últimas dos décadas, la Armada del Ejército Popular de Liberación (EPL) de China ha experimentado una significativa expansión y modernización, alterando el equilibrio estratégico en el Pacífico y emergiendo como una potente fuerza naval. Bajo el liderazgo de **Xi Jinping**, esta expansión, simbolizada por la presentación de avanzados buques de guerra y grandes ejercicios navales, se alinea con la propaganda nacionalista y el "sueño chino". Con aproximadamente 400 buques de guerra y submarinos, se proyecta que superará a la Armada de EE.UU. para 2030 e introducirá desafíos estratégicos para EE.UU. y sus aliados asiáticos, especialmente respecto a Taiwán.

10.2.3. Efectos de las políticas navales

Los efectos positivos del gasto en defensa se pueden dividir en dos grupos principales: los derivados del aumento de la demanda agregada y los efectos de difusión tecnológica en la industria (Cubel, 1994).

El gasto militar puede impulsar el crecimiento económico al generar demanda adicional, aumentando así la utilización del capital y del empleo. Esto puede tener un efecto multiplicador, estimulando el crecimiento económico a corto y largo plazo. Además, fomenta la innovación y el desarrollo tecnológico, especialmente en áreas como la industria de defensa, donde se promueve la investigación avanzada y la formación de expertos. Estas innovaciones pueden beneficiar a otros sectores, mejorando la eficiencia en la producción y reduciendo costos unitarios.

Sin embargo, el gasto en defensa también tiene implicaciones negativas, principalmente debido al desplazamiento de recursos que podría haberse destinado

a otros usos productivos. Esto representa un coste de oportunidad, especialmente si el gasto militar reduce el ahorro disponible para inversiones en otros sectores, creando desequilibrios en la balanza de pagos y potencialmente ralentizando el crecimiento. Además, hay una percepción de que el sector público, incluido el de defensa, puede ser menos productivo que el sector privado, lo que sugiere que un aumento en el gasto en defensa podría no ser la forma más eficiente de estimular el crecimiento económico. En el contexto de la construcción naval en España, si bien hubo períodos en que los gastos de defensa impulsaron la producción industrial, su impacto general fue limitado, indicado por un balance entre beneficios económicos directos y costos de oportunidad.

10.2.4. Consolidación de la base industrial

En las últimas tres décadas, la industria militar ha experimentado un proceso de consolidación extraordinaria. Uno de los países con una industria reseñable en la producción de defensa, los Estados Unidos, ha pasado de 51 a 5 principales contratistas en aeroespacial y defensa[348]. La Tabla 10.1 muestra la reducción de proveedores por producto (DoD, 2022).

Tabla 10.1: Consolidación del mercado de defensa norteamericano

Categoría	1990	2020
Misiles Tácticos	13	3
Aeronaves de ala fija	8	3
Satélites	8	4
Naval	8	2

Factores impulsores como la reducción de presupuestos de defensa, el incremento de los costos de investigación y desarrollo, y la Revolución en Asuntos Militares (RMA) han incentivado procesos de consolidación e internacionalización.

En Europa, la consolidación comienza como iniciativas nacionales las cuales, a pesar de los recelos por la pérdida de soberanía nacional y consecuencias políticas como el empleo, posteriormente han derivado en consolidaciones transfronterizas como *BAE Systems, European Aeronautic Defence and Space Company* (EADS), *Thales* y en 2001 la empresa *MBDA*[349]. En el sector aeronáutico, en forma de consorcio, el caso de éxito lo protagoniza *Airbus* como destacado ejemplo de cooperación internacional y transferencia tecnológica que ha permitido a Europa

[348] *Lockheed Martin, Boeing, Raytheon, Northrop Grumman* y *General Dynamics*.
[349] Proyecto conjunto de *BAE Systems*, *EADS* y *Leonardo*.

competir efectivamente en el mercado de la aviación civil, un sector previamente dominado por fabricantes estadounidenses como *Boeing*. Desde su fundación en 1970, como consorcio de compañías aeroespaciales de Francia, Alemania, España y, más tarde, el Reino Unido, permitió un nivel de colaboración inaudito que trajo como consecuencia una reducción de costos, un aumento del nivel de innovación y una diversificación para competir en múltiples segmentos del mercado.

Como en el caso anterior, la cooperación en la industria naval militar podría, en teoría, reducir costos y fomentar una fuerte competencia global. Pero es complicada y, rara vez, exitosa, como la relación de Navantia con la francesa *DCNS* (desde 2017 *Naval Group*), tras el lanzamiento de la clase **Scorpène**. También, como cada estado fija requisitos y expectativas únicas para su fuerza militar y, aunque están llamados a la cooperación y consolidación para mejorar la eficiencia y reducir los costos, en la práctica, alinear esos requisitos y expectativas ha probado ser una ardua tarea. La consolidación industrial ha alcanzado a los constructores navales; en España, desde el establecimiento del INI se venía haciendo con la política de adquisición de astilleros nacionales que converge en Navantia. Más recientemente, otros constructores navales, como el conglomerado industrial alemán *Thyssenkrupp* (TKMS) adquirió, desde su división de Sistemas Marinos, en 2022 el astillero de *Wismar* de *MV Werften* tras su quiebra. Estas compras no son exclusivas de los astilleros y sistemas de combate, pero la industria auxiliar y los proveedores de soluciones de CAD/CAM/CAE como la compra de FORAN, parte de la empresa de ingeniería y tecnología SENER, por parte del conglomerado *Siemens AG*. Los pequeños astilleros en Estados Unidos están consolidándose en respuesta a la demora de la Marina en conceder contratos y a la intensificación de la competencia en el sector. Por ejemplo, *Bollinger Shipyards* anunció la adquisición de *VT Halter Marine* y *ST Engineering Halter Marine Offshore*, una apuesta seguramente motivada por los citados retrasos en contratos. Es posible que esta decisión sea parte de un movimiento estratégico frente a la escasez de pedidos del sector comercial y la competencia en los contratos militares navales.

La consolidación puede tener graves consecuencias para las capacidades y el desarrollo, fomentadas por la menor competencia. Debido a los desafíos de suministro que se han identificado, especialmente tras la agresión a Ucrania en 2022, es evidente la necesidad de un nuevo enfoque en el fortalecimiento de la Base Industrial de Defensa. Esta puede incluir estrategias antimonopolio, limitar el bloqueo a proveedores, aumentar el número de proveedores y, como se experimentó tras la pandemia mundial de 2020, reforzar las cadenas de suministro. Desde una

visión europeísta, con la creciente influencia de la Comisión Europea y la paulatina supranacionalización de la agenda de defensa, por iniciativa del Fondo de Defensa Europeo (EDF), existe una necesidad de evaluar las gestiones sobre la transparencia, la legitimidad y la supervisión democrática, especialmente dada la notable influencia de la industria de la defensa y la tendencia a operar fuera del escrutinio público y parlamentario detallado (Csernatoni, 2021). A pesar de los avances en la consolidación e internacionalización de la industria, los retos y la fragmentación persisten, dejando espacio para futuras transformaciones y alianzas.

10.3. Costes y cadena de suministro

La introspección en los modelos económicos del sector naval y los atributos intrínsecos que modulan los costos de la construcción naval han revelado tendencias y causalidades discernibles que nutren nuestras tesis investigativas. Un estudio desplegado por *RAND* acerca de la progresión de los precios de los barcos de pasajeros encargados entre 1994 y 2005 ilustra como sus costos escalaban a un ritmo análogo al de los buques navales estadounidenses, experimentando un incremento cercano al 9% anual (RAND, 2006). Este fenómeno se encuentra ligado estrechamente al crecimiento en la envergadura de las embarcaciones demandadas, un efecto espejo de las exigencias del consumidor. La residual elevación en los precios ha oscilado levemente por encima de las tendencias de inflación usuales en los países manufactureros. Así, se consolida nuestra hipótesis que argumenta que el crecimiento que trasciende la inflación es mayormente propulsado por la persecución de optimización de la capacidad y del rendimiento.

Desde mediados del siglo XX, la economía de los buques navales ha observado una espiral inflacionaria del 7 al 11%, eclipsando de manera notable las métricas estándar de inflación, que oscilan entre el 4 y el 5%. Esta alza, fragmentada entre variables dictadas por la economía y el consumidor, irradia implicancias profundas para la Marina y la integridad de su flota, especialmente en un contexto donde los presupuestos destinados a la construcción naval posiblemente no experimentarán inflación en el futuro cercano. Aspectos económicos, tales como las tarifas de labor directa y los costos de los materiales, junto con factores orientados al consumidor como la complejidad y las particularidades de los buques, al igual que las estrategias de producción y adquisición, contribuyen de manera palpable a la escalada de costos. Las alternativas para mitigar o estabilizar la escalada de costos de las embarcaciones son diversas y exigen compromisos o inversiones, sin existir

recetas simplistas para su resolución. A pesar de que las capacidades y eficacia de los buques se han perfeccionado, los presupuestos restrictivos para la construcción naval actualmente demandan decisiones más arduas respecto a las capacidades y el volumen de buques.

El escenario tras la Guerra Fría ha propulsado una racionalización de la base industrial de defensa para acoplarse al presupuesto vigente, induciendo una consolidación notable en la construcción naval estadounidense, que ha incluido adquisiciones y decadencia de astilleros. La producción de barcos de la Marina de los Estados Unidos, actualmente limitada a productores nacionales por prerrogativas de seguridad, podría capitalizar la competencia e innovación internacionales, aunque esto podría suscitar desafíos relacionados con la tecnología y seguridad. Revisar la expectativa de vida útil diseñada de los buques (actualmente de al menos 30 años) podría resultar estratégico, ya sea acortándola a 20 años ante la evolución tecnológica vertiginosa o prolongándola más allá de 50 años con métodos de construcción modular, aunque cada opción demanda un análisis subsecuente para evaluar su viabilidad.

La industria del equipo marino juega un papel esencial en la cadena de suministro de la construcción naval, aportando aproximadamente el 70-80% del valor final de la producción de buques a través de procesos anteriores en la cadena de suministro. Históricamente, los astilleros eran una parte integral de la manufactura de equipos primarios; no obstante, los enfoques modernos implican la subcontratación de casi todas las etapas de la construcción naval, evolucionando así hacia "astilleros de ensamblaje". La cadena de suministro de la construcción naval puede estratificarse en segmentos: astilleros, proveedores de componentes, proveedores de materiales y diversos subcontratistas. Los principales proveedores incluyen acero, metales y productos de maquinaria de las industrias anteriores, mientras que los usuarios finales abarcan áreas como transporte marítimo, petróleo y gas en alta mar y reciclaje de buques. Con una estructura de distribución piramidal y compuesta por un gran número de proveedores y subcontratistas, la cadena de valor de la construcción naval se distingue por su complejidad, especialmente cuando se compara con otras industrias como la automotriz y la aeroespacial. Esta complejidad involucra entre 1.000 y 2.500 empresas en las bases de datos de compras, que pueden variar según el tamaño de la empresa y el tipo de buque (OECD, 2023). Los astilleros obtienen componentes marinos tanto de proveedores nacionales como internacionales, lo que refleja una utilización sustancial de

insumos externos, ya que la mayor parte del valor de un buque es agregado por los proveedores y no por los astilleros.

Por otra parte, mientras que el equipamiento marino engloba maquinaria, piezas y materiales utilizados en la construcción, la transformación y el mantenimiento de buques, el sector del equipamiento marino también incluye subsectores de servicios como ingeniería, diseño y consultoría. Sin embargo, no existe una clasificación internacional uniforme para la industria del equipamiento marino, lo que dificulta el análisis y la identificación del sector. Los proveedores de equipamiento marino, a menudo, cruzan varias categorías industriales y también pueden ofrecer servicios además de productos, incluyendo paquetes de servicios posventa y reparaciones in situ.

En un contexto más amplio, el sector marítimo está experimentando una "doble transición" transformadora significativamente influenciada por los esfuerzos de descarbonización y por la digitalización, que impactan los modelos de negocio, la construcción y operación de buques. Este texto proporciona una visión de los mercados globales y las cadenas de valor, detallando una industria de equipamiento marino altamente diversificada con variados mercados y partes interesadas. En particular, la industria cuenta con actores que van desde líderes del mercado global hasta especialistas localizados. Los porcentajes de cuota de mercado externo de maquinaria y equipos varían de un país a otro y Europa es un exportador neto notable de equipamiento marino a nivel mundial.

La complejidad y fragmentación de la cadena de suministro de construcción naval introducen vulnerabilidades y riesgos. La dependencia de proveedores extranjeros, por ejemplo, puede someter a la industria a presiones externas y desafíos en términos de calidad, cumplimiento de normativas y vulnerabilidades geopolíticas. Por lo tanto, es esencial que las políticas y estrategias sectoriales se formulen con una comprensión clara de las dinámicas de la cadena de valor y los desafíos y oportunidades que enfrentan los diversos actores en el espacio de la construcción naval.

Es necesario mencionar que lo que comúnmente se considera la plataforma o buque se suministra de forma independiente de los sistemas. Por lo tanto, la consideración de la plataforma como elemento necesario de proteger no se ha quedado relegado a otros ámbitos como pudiese ser la competición. También, es de suma importancia la adecuada integración entre sistemas, como la de los buques de guerra y las armas navales, donde una integración demasiado estrecha o

demasiado floja puede afectar la eficacia y la economía de las operaciones (Hasik, 2008).

10.3.1. Modelos de Cooperación

Los modelos de cooperación trasnacional en el mercado armamentístico han sido analizados por una variedad de autores, **Grundman y Hasik** proponen un modelo más fluido para el desarrollo de programas que buscan la independencia de la nacionalidad de los suministradores y la política (Grundman & Hasik, 2016). Estas alianzas se forman a menudo para compartir riesgos y costos, especialmente en proyectos aeroespaciales que requieren más capital del que incluso las grandes empresas pueden soportar solas. Las economías de escala han impulsado muchas actividades de alianzas en la industria aeroespacial europea. Las empresas pequeñas y medianas a menudo se alientan a formar alianzas para competir por proyectos que, de otra manera, serían demasiado grandes para abordar por sí solas. Sin embargo, las alianzas también conllevan costos de coordinación y contratación, que pueden ser significativos, especialmente cuando involucran a múltiples empresas. Para ser efectivas, estas alianzas deben ofrecer una combinación superior de riesgos y rendimientos, y son más adecuadas en situaciones donde hay un cambio considerable en procesos y objetivos, una capacidad moderada de proteger los activos intelectuales y una posibilidad moderada de obtener beneficios exclusivos de ciertos activos (Hasik, 2008).

Sin embargo, a pesar de las claras ventajas teóricas que supone la cooperación, estas iniciativas suelen encontrarse con el descrito como "problema de la acción colectiva"[350], cuya dependencia al "problema del agente-principal"[351] es abordado por **De Vore** quien concluye que existe una limitación al tratar de optimizar una ineficiencia en uno, inexorablemente tendrá un efecto negativo en el otro (De Vore, 2011).

La cooperación internacional ha tenido otros efectos positivos en la seguridad marítima enfocada a la construcción naval como se evidencia con las regulaciones referentes a la compartimentación de buques. Los criterios de compartimentación encuentran su origen en la *International marine conference* celebrada entre el 16

[350] Propuesta por el economista Mancur Olson. Ver: Olson, M. (1965). *The logic of collective action: public goods and the theory of groups.* Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press.

[351] Teoría desarrollada por Michael C. Jensen y William H. Meckling que se basa en la separación de los conceptos de propiedad y el control. Ver: Jensen, M. C., Meckling, W. H. (1976) T*heory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure. Journal of Financial Economics,* V. 3, No. 4, pp. 305-360.

de octubre y el 31 de diciembre de 1889 en Washington (International Marine Conference , 1889). En ella se encuentra:

> *"Ocean-going steam-vessels which carry passengers should be additionally protected by having efficient bulkheads, so spaced that when any two compartments be filled with water, the vessels will still remain in a seaworthy condition; and two at least of the amidships bulkheads should be tested by water-pressure to the height of the deck next above the water-line".*[352]

En la misma, también se introdujeron los conceptos que darían lugar a las regulaciones de *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea* (COLREGs) de 1972[353].

10.3.2. El fenómeno del espionaje y el arquitecto-espía

Una manera de transferencia tecnológica utilizada de manera generalizada, en el pasado y en la actualidad, es el espionaje. En el siglo XVIII, la información sobre el estado y técnica de la construcción naval del enemigo era adquirido en España a través de una combinación de intercambios y espionaje. Mientras que la captura de buques era la práctica favorecida por los británicos, el espionaje era la manera francesa (Ferreiro, 2007). En esta publicación se menciona la disyuntiva entre la preferencia del empleo de espías o la captura en término de eficacia. Bien se resalta que buscan objetivos diferentes, pero también se recalca una actitud menos "ilustrada" frente al conocimiento por parte de los ingleses, propio de su construcción naval[354].

El espionaje industrial francés y español, entre otros países, estuvo centrado en Inglaterra desde el siglo XVIII, debido al reconocimiento que este país había alcanzado al tomar el relevo del liderazgo tecnológico. Estos adoptaron medidas para proteger esa supremacía, tanto en la exportación de maquinaria, emigración de mano de obra especializada[355] como en la incorporación de extranjeros en

[352] Volume 2. Final Notes, General Division 2, *Regulations to determine the seaworthiness of vessels*, apartado 7, página 1377.

[353] En su versión en español, el *Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes* (RIPA). Entre ambos Reglamentos, de 1889 a 1972, hubo otros incluyendo el de 1910 fruto de la Maritime Conference de Bruselas (*Convention internationale pour l'unification de certaines règles en matière d'abordage*), la *International Conference SOLAS* de 1948 en Ginebra y la 1960 en Londres.

[354] Construcción menos basada en los avances teóricos sino en la práctica y experiencia de sus "shipwrights" o carpinteros de ribera.

[355] En 1719 se introduce una legislación que pena el seducir o persuadir a cualquier trabajador especializado en lana, hierro, acero, latón u otros metales, al igual que a artesanos o fabricantes como los relojeros.

puestos de aprendiz[356] (Harris, 2000). Eran los propios arquitectos navales los que asiduamente se convertían en espías y también se incluían otras nacionalidades, como los espías escandinavos que se aventuraron en países europeos para absorber conocimientos náuticos, así el sueco **Chapman** y el danés **Frantz Christopher Henrich Hohlenberg** (1765-1804). Entre los franceses más célebres se encuentran **Blaise Geslain**, quien se infiltró en la construcción naval holandesa y **Blaise Ollivier** (1701-1746), un dedicado espía industrial francés, que informó meticulosamente de las técnicas de construcción naval británicas y holandesas en la década de 1730. Este último no sólo fue espía, sino un consumado constructor naval. En España es bien conocido el espionaje por parte de **Jorge Juan** y **Ulloa**, los cuales seguían instrucciones de **Ensenada**, e incorporaron a los astilleros multitud de expertos de diversos oficios, como escultores, aparejadores, barrenistas, carpinteros, caldereros palafreneros, aserradores y herreros. Su misión de alguna manera emulaba al trabajo de **Colbert** quien, en el siglo anterior, había establecido una eficaz red de espionaje desplegada por Europa a la que se sumaron los arquitectos-espía **Geslain** y **Ollivier**.

Una de las innovaciones que los franceses intentaron adquirir fue el proceso de curvar la madera mediante vapor, además de la tecnología relacionada con el recubrimiento de cobre en los cascos[357], la laminación de cobre, la fabricación de pernos laminados en frío y la producción de poleas (Harris, 2000). El proteccionismo que las autoridades británicas mostraron frente a estos intentos franceses contrastaba con la actitud más relajada de la transferencia tecnológica hacia Rusia.

En el caso de los británicos, la ingeniería inversa parece que fue la táctica que prevalecía. No obstante, de sus astilleros no salían copias de dichos buques sino que adaptaban las soluciones técnicas que juzgaban más favorables. Ejemplo lo encontramos en el navío **Princesa** (1730), que logró la admiración del almirantazgo británico.

A menudo, los países cooperaban abiertamente, como se ha discutido tras los pactos de familia, o más moderno con el desarrollo de fábricas de hierro en *Le Creusot*, Borgoña, fruto de la asistencia abierta del industrial inglés **John Wilkinson** (1728-1808), que ayudó al maestro siderúrgico francés **François Ignace de Wendel** (1741-

[356] Harris hace una mención especial a los rusos que, aunque en un principio son los que causan la mayor preocupación, el estado de su industria no se considera una amenaza y es Francia el rival en años posteriores.

[357] Esta fue producto de la misión del cadete Henri Fulque, chevalier d'Oraison, a los astilleros británicos tras la guerra de los siete años. Esta misión fue encargada por el secretario de Estado Étienne François de Choiseul (1719-1785).

1795) al que en 1779 el ministro de Marina **Antoine de Sartine** (1729-1801) había encargado la dirección de las fundiciones de *Indret*.

En contraste con la rivalidad interna entre los constructores navales, las propuestas tecnológicas y de diseño atravesaban fácilmente las fronteras nacionales, facilitando una notable transferencia tecnológica internacional en la centuria previa a la Edad Contemporánea. Esto se hizo evidente a través de diversos medios, incluidas las misiones de espionaje y los viajes educativos, como los emprendidos por **Hohlenberg** y **Chapman**, que, aunque a veces estaban envueltos en un velo de secretismo, eran bastante comunes y en gran medida no se veían obstaculizados. Incluso en los casos de espionaje profesional, como la gira del constructor naval francés **Blaise Ollivier** a los astilleros británicos y holandeses en 1738, la transferencia de conocimientos técnicos fue aparentemente fluida y sin oposición. Además, los arquitectos navales a menudo buscaban empleo o hacían carrera en otros países, lo que facilitaba el intercambio de conocimientos y avances tecnológicos, como demuestra el movimiento de los constructores navales entre Gran Bretaña, los Países Bajos y Rusia, teniendo grandes ejemplos como **Euler** y el almirantazgo ruso, y posteriormente la actividad de **Samuel Bentham** y **Robert Fulton**. Estos intercambios de conocimientos técnicos e innovaciones, ya fuera en el empleo, en la formación o en misiones encubiertas pone de manifiesto el gran dinamismo de la arquitectura naval.

En los años anteriores a la Primera Guerra Mundial y en el contexto del progresivo crecimiento de la flota alemana, recurrieron al espionaje de los considerados, en ese momento, como la principal armada. A principios del siglo XX, en medio de una carrera armamentística naval y de crecientes tensiones internacionales, los imperios alemán y británico se dedicaron a actividades de espionaje y contraespionaje. La inteligencia naval alemana encargó a un famoso espía, **A.K. Graves**, que observara las bases y operaciones navales británicas e informara sobre ellas. Las actividades de **Graves** en Escocia fueron meticulosamente vigiladas por la inteligencia británica, lo que finalmente condujo a su detención y juicio. La necesidad de estar informado sobre el avance de marinas extranjeras era y sigue siendo crítico. Durante esos años, estaba disponible una publicación titulada *Taschenbuch Der Kriegsflotten*, inicialmente publicado en 1900 por **J. F. Lehmann Verlag** y firmada por **Bruno Weyer** (1857-1936) como libro de bolsillo. Esta ofrecía una descripción general del estado de las marinas del mundo e incluía información de las unidades junto con fotografías, esbozos, siluetas y láminas. Desde 1979, está publicado por la editorial *Bernard & Graefe*.

La transferencia tecnológica consentida ha convivido y convivirá con el espionaje, que puede confundirse dentro de la multitud de modelos de cooperación existentes. Es, por ello, que requiere unas directrices y definiciones claras a la hora de abarcar este tema tan complejo que puede tener consecuencias devastadoras para la seguridad nacional.

10.4. Transferencia Tecnológica

Actualmente, las armadas y los constructores navales vinculados exigen que la construcción se lleve a cabo dentro de sus propios territorios. Esto implica una transferencia de conocimientos técnicos, más allá de la mera venta de buques y equipos, lo que tiene el potencial de desarrollar la industria naval del país receptor y convertirlos de clientes en proveedores. Por lo tanto, amenazando la supremacía tecnológica y alterando el equilibrio de poder, al igual que permitiendo establecerse como potencia convencional y asimétrica.

En el ambiente académico, la utilización de la diplomacia para penetrar en las instituciones académicas y de investigación, para alimentar las líneas de investigación del país emisor, ha sido denunciado previamente (Joske A. , 2018).

La transformación de la guerra y los conflictos internacionales requiere una capacidad de respuesta ágil y flexible por parte de las fuerzas de defensa, las cuales enfrentan una presión presupuestaria cada vez mayor. Paralelamente, la digitalización en los ámbitos de la navegación comercial y militar está generando una marcada dependencia de las empresas hacia las nuevas tecnologías. Aunque las armadas han liderado en innovación, en años recientes el debilitamiento de la base industrial de defensa en muchos países occidentales ha conducido a la adquisición de recursos en el extranjero, al establecimiento de alianzas estratégicas temporales y a la privatización. Este proceso de internacionalización y privatización en las adquisiciones de defensa está intensificando la necesidad de políticas y una diplomacia efectiva que puedan atenuar las amenazas emergentes en este entorno de creciente colaboración.

10.4.1. Diplomacia Naval

La diplomacia es entendida en este contexto como algo más que una relación de Estado a Estado la cual tiene el potencial de cambiar la percepción y garantizar el acceso a los recursos y a las tecnologías de países terceros. Tal impacto se ha

evidenciado en las relaciones marítimas y también en otros sectores como la cultura, la tecnología y la educación.

Una fuerza naval constituye una herramienta crucial para la política exterior de cualquier nación. Aunque en tiempos de guerra su uso puede restringirse al apoyo de operaciones ofensivas, en tiempos de paz la libertad de movimiento representa, indudablemente, una ventaja significativa. Igualmente, contribuye al fortalecimiento de la economía y al aumento de la influencia global del país. La importancia del poder naval, "sea power", ha sido analizado en obras clásicas como *The Influence of Sea Power Upon History*, de **Alfred T. Mahan** (Mahan, 1894).

Al referirse a la Diplomacia Naval, se abarcan las operaciones realizadas en tiempos de paz, que suelen incluir aspectos como la disuasión, la coerción y la cooperación, entre otros. La disuasión y la coerción, en particular, tienen sus raíces en lo que históricamente se conoce como Diplomacia de Cañonero, aunque la disuasión es percibida de manera más positiva. Por lo tanto, es crucial diferenciar entre la diplomacia cañonera, con su enfoque más agresivo, y el uso menos hostil de la fuerza naval. Si nos remitimos a la obra de **James Cable** (1920-2001) *Gunboat Diplomacy, 1919-79 Political Applications of Limited Naval Force*, obtenemos la siguiente definición:

> *"La diplomacia de cañonero es el uso o la amenaza de una fuerza naval limitada, que no sea un acto de guerra, con el fin de asegurar una ventaja o evitar una pérdida, ya sea en la promoción de una disputa internacional o contra ciudadanos extranjeros dentro del territorio o la jurisdicción de su propio Estado" (Cable J. , 1981)*

A pesar de que este uso de la fuerza naval esté generalizado, es un tema frecuentemente obviado por las diferentes conferencias que regulan la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS en su acrónimo inglés), pero cuya necesidad y relevancia es cada vez más evidente en el contexto actual (Chang, 2018).

Además, las armadas participan en otras actividades que ejercen un impacto significativo en la influencia exterior y el desarrollo industrial. Una de estas actividades es la formación de coaliciones, una táctica provechosa que fomenta las relaciones entre los integrantes de diferentes marinas y la industria naval que las apoya. La tradición marítima, profundamente arraigada entre los marinos debido al entorno adverso en el que operan, genera un lazo de gran valor político que puede

ser aprovechado para propósitos operativos como ejercicios, operaciones conjuntas, prevención de conflictos y seguridad naval. Este vínculo también puede brindar oportunidades comerciales para la industria naval nacional. Las operaciones de coalición son particularmente efectivas cuando se integran en una estrategia más amplia que abarca medidas diplomáticas, militares y económicas (Till, 2009).

El empleo de militares para forjar "poder blando", identificado por **Nye** (2008) como "poder inteligente" cuando se combina con tácticas de "poder duro", despierta consideración en el contexto de la diplomacia. Los militares, además del poderío inherente que proyectan, facilitan una variedad de intercambios en tiempos de paz, como los entrenamientos conjuntos y los programas de asistencia con otras naciones, generando, de esta manera, un tipo distinto de influencia. Es vital considerar también la diplomacia de defensa preventiva (Rowlands, 2015) para comprender el espectro completo del compromiso internacional y cómo este se utiliza para adelantar los intereses nacionales.

Otra modalidad de utilización de la Armada para realizar actividades de poder blando son las embajadas flotantes. Estos buques se benefician del asilo extraterritorial y también pueden utilizarse como "armas" diplomáticas para reforzar las relaciones entre estados marítimos e influir en la percepción de la población.

10.4.2. Centros culturales y educación

Los centros culturales desempeñan un papel crucial en la proyección del "Soft Power" más allá de las fronteras nacionales, ofreciendo una plataforma para promover valores y establecer conexiones sociales y culturales. A través de la lente de **Nye** (2008), podemos observar la habilidad intrínseca de la cultura para atraer y conectar a través de valores universales. La intensificación en la promoción de los centros culturales por parte de China y Rusia, especialmente el Instituto Confucio (2004) y la Fundación *Russkiy Mir* (2007), a pesar de su juventud relativa en comparación con el *Institut Français* (1907), demuestra una clara estrategia para mejorar sus reputaciones internacionales. **Popovic et al** (2020) observan esta táctica con escepticismo, etiquetándola como “desacoplamiento institucional”, lo que genera un interesante punto de discusión sobre los diversos métodos de diplomacia cultural y su eficacia.

La diplomacia educativa, la cual encapsula intercambios académicos y colaboraciones, ha existido durante mucho tiempo, pero la globalización y los

imperativos ambientales y sociales están redefiniendo su alcance y naturaleza. La clausura de los centros de la Fundación *Russkiy Mir* en Ucrania en 2022 ejemplifica cómo las políticas nacionales e internacionales pueden afectar negativamente a estas iniciativas de diplomacia. No obstante, la habilidad de la organización y de otras iniciativas, como la *Rossotrudnichestvo*, para mantener sus operaciones, a través de redes de intermediarios bien desarrolladas, ilustra una resiliencia inherente y subraya la importancia de las estrategias de diplomacia educativa y cultural bien implementadas.

En el ámbito de la educación, las instituciones académicas juegan un papel vital al facilitar la cooperación internacional, ya sea atrayendo estudiantes internacionales, fortaleciendo su posición global o uniendo fuerzas en programas de investigación internacionales. La construcción de redes internacionales que promueve un flujo de información sin obstáculos es fundamental para enfrentar los desafíos futuros que se despliegan en horizontes a largo plazo. Es imperativo que tales redes y colaboraciones estén cimentadas en la confianza y orientadas hacia objetivos sustentables, minimizando los motivos ulteriores que podrían socavar estas relaciones internacionales.

10.4.3. Navegación Estratégica: China y la Ruta marítima de la seda

China ha articulado y manejado hábilmente su política naval a través de la "Iniciativa de la Ruta de la Seda del Siglo XXI", movilizando su poderío militar y, particularmente, su fuerza naval de rápido crecimiento. La Armada del Ejército de Liberación Popular (PLAN), con sus 335 unidades desplegables, no sólo plantea un desafío significativo para la hegemonía regional de Estados Unidos, sino también un dilema para sus veintidós Estados vecinos, siete de los cuales son limítrofes marítimos, y ha sido fuente de varias disputas marítimas en el Pacífico Occidental (O'Rourke, 2021). La geografía y la magnitud de China les presenta simultáneamente desafíos y oportunidades.

Paradójicamente, la iniciativa, a pesar de su contexto militar, promete favorecer la emergencia de una "economía azul" y propone una resolución pacífica a los conflictos. Con China posicionándose como el país con el mayor número de buques armadores y el tercero en tonelaje, solamente superado por Grecia y Japón (UNCTAD, 2021), la estrategia se alinea con el "círculo marítimo virtuoso" conceptualizado por **Geoffrey Till** (Till, 2009). Una de las fases de este ciclo, los

recursos marítimos, podría, sin embargo, generar conflictos, considerando los existentes intereses marítimos.

El trayecto de China, desde una defensa eminentemente costera hasta finales de los años 90 hacia operaciones de mar azul, puede ser trazado de vuelta a la adquisición de destructores de clase **Sovremenny** a Rusia, el cual ha sido su principal proveedor de tecnología militar desde la época de la Guerra Fría (Schwartz, 2015). Este cambio, influenciado por la crisis del Estrecho de Taiwán de 1996, indica una ascendencia en su política exterior y en sus actividades navales, sugiriendo un papel más activo en la diplomacia naval en el futuro (Heath, 2020).

Este notable crecimiento naval, sin embargo, no está exento de sus propios desafíos. Históricamente, la construcción naval china ha sido dependiente, en gran medida, de los insumos de naciones occidentales, abarcando desde armas hasta motores y electrónica. Las sanciones instauradas desde 1989, especialmente el persistente embargo de armas, interrumpieron significativamente la transferencia de tecnología que había beneficiado a China desde los años 70, cuando, bajo **Deng Xiaoping**, el país experimentó una liberalización económica y mejoró sus relaciones exteriores. Tras este revés, el presupuesto militar, que había ido en disminución tras la reforma, observó un marcado incremento (Bing-Fu & Liming, 2006) que perdura en la actualidad.

10.4.4. Las naves negras y la diplomacia de cañonero

La llegada de las Naves Negras o *kurofune* a las costas de Japón en 1853 es un episodio que marcó un giro en el curso histórico de la nación y, por ende, una reformulación en las relaciones internacionales del periodo. Bajo la égida del comodoro estadounidense **Matthew Perry** (1794-1858), estas embarcaciones, sin ser físicamente negras pero emanando densas columnas de humo oscuro, rompieron con más de dos siglos de aislacionismo japonés, conocido como *Sakoku*, e instigaron una nueva era de apertura y transformación. Este periodo de autoaislamiento, impuesto por el *Shogunato Tokugawa* (1603-1867), había sido una respuesta a las crecientes influencias extranjeras, especialmente las cristianas[358], y a los potenciales conflictos civiles asociados. Hasta ese momento, el único contacto comercial permitido de Japón con el mundo exterior se realizaba a través de los neerlandeses en la isla artificial de *Dejima*. La imponente aparición

[358] Iniciado por los portugueses en 1543.

de la flota de **Perry**, un adelanto mecánico y militar significativo para la época, no solo impresionó y creó ansiedad entre los japoneses, sino que también propulsó a la nación hacia negociaciones que, finalmente, culminaron en el *Tratado de Paz y Amistad* de 1854 entre Japón y EE.UU. Esta inusitada apertura no solo fue económica o política, sino que también indujo un flujo de intercambio cultural y tecnológico, provocando la inmersión de Japón en la modernidad[359] y el establecimiento de nuevas alianzas y tensiones globales que definirían el escenario geopolítico en los siglos sucesivos.

10.5. Los recursos

El aprovechamiento de los recursos en la historia de la humanidad evidencia tanto una evolución de los medios disponibles como de la adaptación necesaria. Esta adaptación no es solo un fenómeno físico, sino que se encuentra profundamente arraigada en la sociedad que realiza la deforestación, reflejando el modo de vida predominante en una época y lugar específicos (Williams, 2006). Como se ha desarrollado en los capítulos anteriores, la necesidad humana de madera para combustible, construcción, herramientas y preparación de tierras para la agricultura han sido los motores detrás de los cambios en el entorno forestal.

La transformación de la superficie terrestre no ha estado limitada al uso de la madera como materia prima, si no que desde la antigüedad, la minería ha sido una actividad humana con un impacto considerable en los recursos naturales. Las consecuencias no han sido sólo en la tierra, con ejemplos de minas de superficie o a cielo abierto, minas subterráneas, o pozos, en el mar como las submarinas, sino también en consecuencias indirectas como en los boques, debido a que, históricamente, las operaciones mineras han consumido grandes cantidades de madera, tanto para apuntalar los trabajos de minería como para procesos de fundición y desarrollo de infraestructura.

A medida que el desarrollo tecnológico ha avanzado, la demanda de ciertos materiales ha aumentado, mientras que otros se han vuelto obsoletos. Además, se han producido procesos de sustitución y estos avances tecnológicos también han facilitado la introducción de nuevos materiales. Ejemplos notables incluyen el aluminio y el acero, cuya utilización se ha expandido gracias a técnicas modernas que anteriormente no eran posibles. Es notable que, con la Revolución Industrial, el uso intensivo de materiales inorgánicos permite un desarrollo mayor que

[359] Conduciendo eventualmente a la era Meiji.

conlleva un uso parejo de materias primas finitas, lo que inexorablemente nos dirige al concepto de escasez.

10.5.1. Escasez de recursos

En el contexto de escasez, las narrativas se construyen estratégicamente y reflejan intereses específicos, al mismo tiempo que tienen un impacto real en la política y la inversión. El descuido interesado o no de los discursos políticos, que no reconocen las relaciones existentes entre los recursos sujetos a debate con el Estado y la Sociedad, llegan a ignorar las desigualdades históricas y estructurales (Scoones, Tsikata, Hall, & Smalley, 2014); al igual que las políticas nacionales e internacionales junto con los intereses económicos. No obstante, el acceso a los recursos desde la óptica del derecho, equidad y justicia no forman parte de este trabajo, pero cabe mencionar que son necesarios desde la perspectiva global del futuro de los recursos naturales. No obstante, se considera importante hacer la distinción entre la escasez absoluta, relativa y política. Mientras que la primera se considera una falta material, real e inevitable, la segunda se considera producto de una asignación subóptima y la tercera es creada por relaciones de poder. En este trabajo se han discutido todos estos casos en el ámbito de la construcción naval, pudiendo ejemplificarlo en deforestación, transición tecnológica y bloqueos navales respectivamente.

Hay una creciente inquietud por la escasez de elementos críticos esenciales para los productos de alta tecnología y los componentes destinados a las energías renovables. Esta demanda corre el riesgo de agotar los recursos minerales, lo que podría provocar subidas de precios, interrupciones del suministro y problemas geopolíticos. Esta escasez puede obstaculizar el cambio hacia la sostenibilidad si la escasez repercute en el crecimiento de las tecnologías verdes. Estos retos, a menudo considerados problemas perversos, requieren soluciones polifacéticas (Koehler, Bakker, & Peck, 2010). Por tanto, el diseño del presente y del futuro requiere de innovación que bien permita un uso eficiente de los materiales, una mayor vida útil o un mejor reciclaje de las unidades.

La preocupación por las restricciones impuestas por la limitación de los recursos naturales al crecimiento económico y del consumo se remonta a **Malthus** (1798) y **Jevons** (1865), que temían a los límites de la tierra y del carbón,

respectivamente[360]. Sus pesimistas predicciones no se materializaron, debido a los avances tecnológicos y de sustitución. Mientras que los economistas clásicos se centraban en las limitaciones de recursos que obstaculizaban el crecimiento, los economistas posteriores a la Segunda Guerra Mundial, en particular los teóricos neoclásicos, abrazaron el optimismo de recursos, creyendo en el poder del progreso técnico y la sustitución para sortear la aparente escasez de recursos. Esta creencia sustenta el paradigma de la sostenibilidad débil (Neumayer, 2000). Sobre la sustitución, que ponen de manifiesto el solapamiento entre teoría económica y el pragmatismo medioambiental, **Beckerman** ya hizo una crítica directa al reflexionar sobre la importancia económica de un recurso que concluye cuando no tiene uso en la producción (Beckerman, 1972).

La experiencia histórica ha desmentido a aquellos que preveían la escasez de recursos, aunque asumir que los triunfos pasados garantizan el éxito futuro conlleva sus riesgos. Por tanto, persiste el debate entre optimismo y escepticismo sobre los recursos, al ser una discusión acerca de cómo la limitación de estos y su reemplazo afectarán al crecimiento económico venidero, ponderando lo aprendido en experiencias anteriores frente a las dudas que presenta lo que está por venir. La capacidad de la economía para superar las limitaciones de recursos debidos a factores como los avances tecnológicos o las sustituciones, no requiere que todas sus proposiciones sean válidas por separado, sino simplemente una combinación de ellas para evitar la catástrofe económica. La certeza del futuro progreso tecnológico y de las posibilidades de sustitución, especialmente en una era de cambios rápidos, sigue siendo desconocida, lo que constituye la esencia del desacuerdo entre optimistas y pesimistas de los recursos como discutía **Lecomber** (Lecomber, 1975).

En la actualidad, la polución y el agotamiento de recursos naturales emergen como amenazas significativas para la economía y la sociedad, como fue analizado en el informe[361] del Club de Roma y otros estudios subsecuentes que destacan la insostenibilidad de un crecimiento exponencial en un sistema de recursos finitos.

La gestión de recursos, tanto renovables como no renovables, y el control de la polución, demanda una reconciliación de los objetivos económicos con la preservación del medio ambiente. Pese a existir soluciones sostenibles para mitigar la escasez de recursos, su implementación global plantea dudas sobre su viabilidad

[360] Otros como David Ricardo quien se centra en la escasez de la tierra y la renta, desde la perspectiva de la economía política. Ver: *On the Principles of Political Economy and Taxation* (1817).

[361] *Los límites al crecimiento* (1972).

práctica y económica, debido a que estas tecnologías requieren grandes transformaciones en infraestructura y logística para satisfacer las crecientes demandas energéticas.

El progreso técnico mejora la eficiencia en el uso de recursos naturales, aumentando la producción sin extinguir las reservas finitas, y reduce los costos de extracción, haciéndolo económicamente viable incluso para recursos de menor calidad. Sin embargo, este progreso es objeto de debate, balanceándose entre el optimismo y el escepticismo sobre su sostenibilidad a largo plazo.

Los diálogos contemporáneos luchan con la paradoja de aprovechar la abundancia natural para aliviar la escasez y, al mismo tiempo, reconocer y negociar los límites planetarios.

Las narrativas de la escasez han explorado el potencial de la innovación humana para superar los límites de los recursos, pero también han reconocido los retos y las limitaciones de las soluciones tecnológicas, ya que los recursos no son infinitamente sustituibles y los avances tecnológicos no pueden contrarrestar indefinidamente las limitaciones de los recursos.

La escasez puede diseñarse y manipularse dentro de las estructuras sociales y políticas para promover intereses específicos, a menudo perpetuando las desigualdades.

A lo largo de los siglos, la demanda de metales ha aumentado exponencialmente. La preocupación por la disponibilidad de materias primas estratégicas se intensificó durante la Primera Guerra Mundial, lo que derivó en la creación de listas de materiales esenciales para la defensa nacional. En 1939, se definieron las distinciones entre materiales estratégicos, críticos y esenciales, teniendo en cuenta su disponibilidad, su importancia para la defensa nacional y los problemas de aprovisionamiento durante la guerra, que requerían medidas de control, de conservación y de distribución (Schmidt, 2018).

Las materias primas fundamentales, incluyendo metales, minerales y otros materiales naturales, se integran profundamente en nuestra vida cotidiana, siendo vitales para la economía y presentando riesgos significativos en el suministro. En el contexto europeo, el acceso a estas materias primas se convierte en una cuestión de seguridad estratégica, especialmente a la luz del *Pacto Verde* y la nueva estrategia industrial para Europa. Estos esfuerzos proponen fortalecer la autonomía estratégica del continente, al tiempo que se advierte sobre los posibles desplazamientos de dependencia de los combustibles fósiles a estas materias

primas esenciales, las cuales son predominantemente suministradas desde el extranjero y están sometidas a una competencia global creciente. La vulnerabilidad por la escasez de materias primas también se trató en la *Declaración de Versalles* de marzo de 2022. En ella, la UE se compromete a asegurar el abastecimiento de materias primas fundamentales a través de varias estrategias. Esto incluirá la formación de asociaciones estratégicas, la exploración de la creación de reservas estratégicas y la promoción de la economía circular y la utilización eficiente de los recursos (Comisión Europea, 2020).

La minería de metales, fundamental para las sociedades modernas y esencial para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, se enfrenta a un dilema de sostenibilidad debido a la disparidad temporal entre la vida útil de las minas y los procesos geológicos que forman los yacimientos. El debate sobre el agotamiento de los metales sigue siendo controvertido, con estimaciones de un suministro limitado a 50 años. Sin embargo, entender las reservas y recursos minerales muestra una realidad más compleja. Las reservas, definidas como metales económicamente extraíbles, son solo una parte del metal potencial en un lugar y pueden aumentar con nuevos descubrimientos y conversiones de recursos. Esta dinámica es influenciada por factores económicos, ambientales, sociales y de gobernanza, sugiriendo una disponibilidad continua de metales y desafiando la idea de una oferta finita. Al igual que se sugiere que pese al aumento del uso de metales, las reservas también crecen, manteniendo estables los ratios reserva-producción (Jowitt, 2020).

El abastecimiento de la industria con materias primas minerales, sobre todo metales, es un reto debido a su limitada disponibilidad en el planeta y a la contaminación ambiental derivada de su extracción. Incluso los recursos renovables, como los bosques, se agotaban a medida que la madera alimentaba las explotaciones mineras y los hornos de fundición.

Explorar la dinámica de desarrollo y gestión de proyectos mineros revela un desafío en el contexto de las industrias extractivas. La evaluación del potencial económico de las rocas mineralizadas ahora se entrelaza con factores Ambientales, Sociales y de Gobernanza (ESG). Estos factores inciden significativamente en la viabilidad de los proyectos mineros en términos de riesgos y conflictos. Por ello, a pesar de que en la década de 1970 la preocupación por la escasez de recursos a escala mundial se convirtiese en un tema principal, este estaba centrado en la necesidad de conservación y reciclaje. Esta ansiedad ha virado a los costes medioambientales

y económicos asociados a su extracción, en perjuicio de la disponibilidad de materias primas.

La economía circular, enfocada en minimizar los residuos y maximizar el uso de recursos, ha ganado aceptación en los debates globales, aunque su comprensión y aplicación varían. Inicialmente centrada en la reducción del impacto ambiental y el agotamiento de recursos, ahora abarca implicaciones económicas más amplias, como el aumento de la riqueza y el empleo.

Las empresas desempeñan un papel fundamental en la interacción dinámica de la gestión de los riesgos relacionados con los recursos y en la mejora de la eficiencia con la que se utilizan estos recursos. Esta gestión es la piedra angular de las redes de suministro sostenibles. Sin embargo, el reto reside en que el mercado no siempre tiene en cuenta el impacto medioambiental asociado a la explotación de los recursos y a la gestión de los residuos. Aunque mecanismos como el Régimen Comunitario de Comercio de Derechos de Emisión (RCDE UE) y los tributos sobre los residuos abordan determinados impactos ambientales, no abordan todo el espectro, particularmente cuando recurrimos a yacimientos de recursos de menor calidad (Defra, 2012). Esta ineficiencia en el funcionamiento del mercado deja a menudo a las empresas más pequeñas, sobre todo a las PYME, en una situación de vulnerabilidad debido a su restringida capacidad financiera y a su escaso conocimiento de soluciones alternativas. Estas empresas se enfrentan a un laberinto de adquisición de recursos, complicado por las maniobras geopolíticas, que puede provocar la volatilidad de los precios y la interrupción de la cadena de suministro. Para contrarrestar estos retos, la innovación es esencial, no sólo en el ámbito de los avances tecnológicos, sino también en el de las prácticas sostenibles que pueden allanar el camino para acceder a los recursos no renovables sin comprometer el potencial futuro.

El debate sobre los retos climáticos y medioambientales ha trascendido las fronteras nacionales y constituye un tema crucial en los debates sobre seguridad mundial. La colaboración internacional es clave y las naciones se esfuerzan por adaptar la diplomacia de los recursos a las necesidades regionales, al tiempo que defienden la conservación de los recursos a través de una gestión adecuada. La defensa de los mercados abiertos y la lucha contra las restricciones comerciales son fundamentales para mantener un flujo constante de recursos. Para ello, se requiere un esfuerzo concertado que fomente la transparencia en el comercio de materias primas, minimice el despilfarro y promueva el uso eficiente de los recursos en todos los ámbitos. Los países con abundancia de recursos naturales maximizan sus

capacidades de extracción, mientras que los que tienen recursos limitados emplean estrategias de eficiencia y diplomacia para asegurar sus necesidades. A pesar de que los gobiernos tienden a abstenerse de participar directamente en el almacenamiento o la exploración de recursos, prefiriendo abordar las implicaciones de la escasez de recursos para la seguridad nacional y colaborar con la industria y la ciudadanía con el fin de garantizar la disponibilidad de los recursos.

10.5.2. Guerra y los recursos

En la historia de los conflictos internacionales, el control de los recursos naturales ha desempeñado un papel crucial, como lo demuestra el trabajo de **Bakeless** (1921) sobre las causas de las guerras modernas entre 1878 y 1918, que sugiere que el control de fuentes de materias primas esenciales ha sido un motivo económico común para la guerra. Esta relación entre recursos y conflictos ha sido ampliamente documentada en la literatura académica, incluyendo obras clásicas como las ya citadas *A Study of War* (Wright, 1942) y *Statistics of Deadly Quarrels*[362] de **Richardson** (1960), que discuten las causas económicas de la guerra, incluyendo el control de recursos esenciales.

La transición de recursos estratégicos ha sido un factor determinante en la historia militar y política. Hacia finales del siglo XIX, el carbón era el material estratégico más importante, necesario para alimentar las marinas de guerra y los ferrocarriles del mundo. Del mismo modo, el petróleo emergió como la fuente térmica para el transporte internacional, especialmente para la navegación naval, lo que desequilibró la balanza hacia el otro lado del Atlántico con una dependencia estadounidense y la necesidad de ampliar la influencia política sobre los países ricos en petróleo en Medio Oriente (Kemp, 1978). El papel del petróleo en la causalidad de conflictos modernos es significativo, como lo desarrolla **Jeff D. Colgan** en *Fueling the Fire* (2013), que examina cómo el petróleo puede conducir a la guerra a través de diferentes vías, incluyendo la estructura de propiedad y del mercado, la política de los productores y las preocupaciones de acceso de los consumidores. **Colgan** sugiere que entre un cuarto y la mitad de las guerras interestatales desde 1973 están vinculadas al petróleo, aunque no todas estas guerras son causadas directamente por este.

[362] Richardson aplicó, de manera pionera, métodos cuantitativos a las relaciones internacionales, analizando conflictos desde 1809 hasta 1950.

En el campo de la teoría, *A Dynamic Theory of Resource Wars* (Acemoglu & al., 2012) desarrolla una teoría dinámica sobre las guerras por recursos, examinando las condiciones bajo las cuales pueden prevenirse, enfocándose en la interacción entre la escasez de recursos y los incentivos para la guerra en un contexto de compromiso limitado. Este trabajo se suma a la extensa literatura que argumenta que la degradación ambiental, iniciado por **Homer-Dixon** es una causa mayor de conflictos y guerras por recursos (Homer-Dixon, 1991; 1999). La humanidad, al amanecer del tercer milenio, se enfrenta a desafíos complejos y multifacéticos que involucran la geopolítica y la gestión de recursos naturales. Tras la Guerra Fría, el pensamiento de seguridad se ha tenido que adaptar a una realidad cambiante, con un enfoque más amplio que incluye no solo aspectos militares sino también económicos, sociales y ambientales. Los cambios medioambientales alarmantes, como el incremento de la temperatura en Europa y la elevación del nivel del mar, junto con la competencia por recursos vitales como el agua y el petróleo en regiones estratégicas, ejemplifican la urgencia y la complejidad de estos desafíos.

Por otro lado, *Is Strategy an Illusion?* de **Richard K. Betts** cuestiona la efectividad de la estrategia en la guerra y la política, dada la imprevisibilidad y complejidad inherentes a ambos campos. Este análisis resalta la importancia de comprender la naturaleza, a menudo, ilusoria de la estrategia en la formulación de políticas de seguridad y exteriores (Betts, 2000).

El reparto de los recursos tiene un feroz enemigo en las teorías de Política de Poder (*Machtpolitik*), en las que se justifica el uso la fuerza económica, política o militar para preservar el interés nacional sobre otros estados. Como las defendidas por **Otto von Bismarck** (1815-1898) y su "Blut und Eisen"[363].

10.5.3. El papel de la Defensa en la conservación ambiental

Los responsables de la marina de guerra defendieron la conservación de los montes por razones puramente estratégicas debido a su necesidad de extraer un recurso tan crítico hasta el siglo XIX como era la madera. En este trabajo se han expuestos leyes y normativas relevantes con sus variadas consecuencias, que, en ocasiones, han derivado en conflictos sociales por el acceso a esos recursos que se protegían para garantizar el suministro en la defensa del estado. El uso de los espacios rústicos para la defensa ha variado significativamente, pasando de extracción de recursos a un uso fundamental de adiestramiento. En España, estos espacios

[363] Del discurso de Von Bismarck en septiembre de 1862 solicitando un mayor presupuesto para la defensa.

suman aproximadamente 135.000 hectáreas según fuentes del Ministerio de Defensa (2023), y están repartidos por todo el territorio nacional.

La militarización de los espacios de biodiversidad no ha estado exenta de las presiones de los movimientos ecologistas[364]. Esto fue principalmente palpable a lo largo de las décadas de 1960 y 1970, en las que se asociaba la militarización con devastación y esterilidad, una perspectiva que se vio opuesta por una ironía de la historia. Inusitadamente, las fuerzas armadas comenzaron a formar una alianza no planeada con la conservación ecológica, en una suerte de conservación por serendipia. Estos terrenos militares, en cierta medida, aislados del desarrollo comercial y del acceso público, se erigieron como refugios no anticipados para la vida silvestre y hábitats amenazados en las tierras civiles, a menudo alteradas por la agricultura basada en agroquímicos, el turismo y la urbanización. Mas aún, con la necesidad de zonas amplias de seguridad, debido a la naturaleza de la actividad militar, su uso es incluso inferior al de zonas restringidas que también impiden el uso de otras actividades antrópicas.

Esta protección pasiva del medio ambiente también ha sido favorecida por acciones proactivas. El Ministerio de Defensa Británico ejemplifica el uso prominente de acciones para el impacto ambiental de sus actividades. Se podría decir que el Comité *Nugent* de 1971-73 para la gestión de los terrenos de Defensa se convierte en el origen de una eficaz política de conservación. Esta fomentó en dos años la creación de treinta y cinco grupos de trabajo, al igual que el boletín informativo *Sanctuary* con su primer número en enero de 1975[365]. Otros países como Francia y Estados Unidos tuvieron así mismo iniciativas de conservación y propaganda con el objetivo de aplacar la opinión pública, pero con menos éxito que las británicas (Coates & al., 2011).

La naturaleza contaminante de una parte de la actividad militar ha convertido en un importante desafío la divulgación efectiva de los resultados positivos de la protección de las zonas para la defensa. Estas manifestaciones de las actividades ecológicas de sus tierras son necesarias, pero se perciben como un medio para contrarrestar las percepciones negativas y legitimar su control sobre territorios extensos. En España, un caso de éxito se encuentra en el Archipiélago de Cabrera al sur de Mallorca, pese a ser gestionado por el Ministerio de Medio Ambiente, fue protegido por su valor estratégico militar. La protección inintencionada de especies

[364] No sólo movimientos ecologistas a nivel no gubernamental, sino supranacional como la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano (CNUMAH), conocida como Conferencia de Estocolmo en 1972.
[365] Desde 2011 la publicación está en línea.

autóctonas, dio lugar al crecimiento de la población de la mariposa azul de *Alcon*[366] en Francia y al camarón Hada en las islas británicas, convirtiendo este fenómeno en una paradoja medioambiental.

La creciente preocupación por el deterioro ambiental ha sido progresiva y ha involucrado entidades internacionales, naciones y comunidades locales. Estas han invitado a colaboraciones entre lo militar y lo ambiental, desde los mismos gobiernos y estados, a grupos de conservación civiles, cuyos esfuerzos se han orientado en mitigar el impacto negativo del desarrollo sobre el entorno.

El Ministerio de Defensa de España se apoya en diversas legislaciones y directivas de los recursos naturales y los territorios bajo su custodia, entre las que se encuentran la *Directiva 107/1997* y la *Instrucción 56/2011*[367]. Estas incluyen la formación y la concienciación, y se implementan sistemas de gestión ambiental (SGA) bajo la norma ISO 14001 para monitorear y mejorar la calidad ambiental en instalaciones militares. Con el objetivo de preservar y potenciar el patrimonio natural, el enfoque es multifacético, abarcando desde la prevención de la contaminación hasta la preservación de la biodiversidad y el patrimonio arqueológico en diferentes áreas militares. Cuando estos espacios dejan de ser útiles para la defensa nacional, son transferidos a la sociedad civil para su gestión u ofrecidos para su utilización manteniéndose dentro de los activos del Ministerio de Defensa.

A nivel europeo, España dispone de la red ecológica Natura 2000 como instrumento para la conservación de la biodiversidad. Esta establece Zonas Especiales de Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA).

Pese a que la eficacia y la sinceridad del ecologismo militar a veces son cuestionadas y a que la cooperación puede encontrarse con desafíos, la participación de la sociedad civil en las iniciativas de conservación militares establece un nexo único entre los mundos aparentemente dispares[368]: el de la preparación militar y el de la gestión ecológica.

[366] Campo de entrenamiento francés de *Lande d'Ouée.*

[367] Modificada en la Instrucción 59/2014.

[368] No obstante, la doctrina militar exige que se reduzca el rastro dejado por una maniobra, por tanto, el abandonar un espacio en un estado mejor o igual al que se hallaba previamente.

10.6. Madera en la actualidad

La madera como el principal material de construcción de buques y embarcaciones está siendo evaluado como alternativa en el contexto del impacto ambiental de la industria naval. El material de construcción es un elemento a considerar de máxima relevancia debido a su directa influencia en el ciclo de vida del buque. Desde su impacto en el diseño estructural, la producción, la operación y su desguace y reciclaje.

La producción de la materia prima, si es cultivada ex profeso, tiene un valor en la captura y el almacenamiento de carbono. Por ello, la madera puede ser una alternativa más respetuosa con el medio ambiente desde un análisis de ciclo de vida (LCA). Incluso mayor en embarcaciones de 15-18 metros de eslora, comparado con las aleaciones de aluminio (Pommier, 2016). Desde una perspectiva de Potencial de Calentamiento Global (GWP), es posible apreciar ciertas ventajas de utilizar madera como material de construcción cuando se considera el dióxido de carbono secuestrado en la madera (Hill & Dibdiakova, 2016).

En el ámbito de la construcción civil, se defiende para reducir la "huella de carbono" a pesar de que su empleo como material estructural en edificios cuenta con detractores desde su baja resistencia al fuego, su durabilidad o sus propiedades mecánicas. Entre sus ventajas se encuentran: el menor peso de los pisos, permitiendo un diseño menos cargado para los cimientos y acomodar una mayor cantidad en una ampliación del edificio o su idoneidad en lugares con riesgo sísmico. También ofrece una ventaja en la prefabricación (ARUP, 2019). Su diseño, al igual que en la construcción naval, es radicalmente diferente debido a sus propiedades físicas comparado con los más comunes acero y hormigón (Ramage & al., 2017). La principal materia prima del acero es el mineral de hierro, extraído mediante minería a cielo abierto y calentado a temperaturas extremadamente altas. Tanto para el cemento como para el acero, la minería a cielo abierto y los combustibles fósiles utilizados en el procesamiento tienen severos impactos ambientales. No obstante, ambas industrias trabajan en reducir su huella ecológica.

La producción de madera ha estado sometida durante centurias a un control, debido a su valor estratégico desde el punto de vista de la construcción naval. En la actualidad, ese control se debe a razones de sostenibilidad y a protección medioambiental, con la finalidad de garantizar un suministro desde los bosques y selvas. En Europa y América del Norte, la madera proviene principalmente de los

bosques de coníferas (Dickson & Parker, 2014). Sin embargo, los bosques tropicales suponen un mayor desafío al sufrir las consecuencias de la deforestación, principalmente por la creciente demanda de espacio agrícola y bioenergía, realidad que se ha tratado de paliar con iniciativas como el REDD+ (Unión Europea, 2015), al igual que mediante certificaciones internaciones de procedencia sostenible[369]. La deforestación de bosques tropicales está abocada a persistir o incluso acelerarse, especialmente en áreas con una gran masa forestal (Busch & Engelmann, 2017).

Las restricciones de organizaciones supranacionales, como la Unión Europea, respecto al uso de conservantes de madera como creosota y el arseniato de cobre cromado, exigen que otros medios sean explorados para proteger la madera. Esto es necesario desde un punto de vista de durabilidad natural y resistencia ante nuevos y antiguos desafíos.

10.6.1. Madera en España desde el siglo XX

A partir de la década de 1960, la modernización económica redujo el uso de leña, pero amplió el consumo de madera para construcción. El régimen influyó notablemente en los patrones de uso de la madera, al implantar un modelo forestal centrado en el monocultivo de coníferas, cuyos efectos calaron en las políticas posteriores a la era de la UE (Iriarte-Goñi, 2013). Además, el aumento del consumo de madera no se correlacionó linealmente con la deforestación debido a los complejos y variados impactos sobre los bosques españoles.

El análisis del consumo de madera durante este periodo es crucial para comprender estas transformaciones. La leña, utilizada como fuente de energía, y la madera como materia prima, tuvieron trayectorias distintas. Mientras que el consumo de leña se mantuvo elevado hasta la década de 1960, debido a las dificultades para extender las redes energéticas modernas, el uso de la madera como materia prima experimentó un crecimiento lento, pero continuo.

A partir de la década de 1960, el consumo de leña se desplomó, pero la demanda de madera como materia prima se disparó, impulsada por la modernización económica y la expansión de los usos industriales de la madera. Los avances tecnológicos desempeñaron un papel importante en este cambio. Las nuevas tecnologías facilitaron el desarrollo de nuevos productos y aplicaciones madereras,

[369] Siendo los internacionales más reconocidos: el *Forest Stewardship Council* (FSC) y *Programme for Endorsement of Forest Certification* (PEFC). Existiendo certificados nacionales como el *Sustainable Forestry Initiative* (SFI), *Canadian Sustainable Forestry* (CSA) o el *Malaysian Timber Certification Council* (MTCC).

contribuyendo al aumento del consumo de madera como materia prima. Las innovaciones en el aserrado, los tratamientos químicos y la producción de contrachapado y pasta de madera para papel influyeron significativamente en los patrones de uso de la madera.

10.6.1.1. Ikea y los bosques

Más alejado del ámbito naval, pero no forestal, encontramos a Ikea. El fabricante sueco de muebles es conocido por su estrategia de integración vertical, que ha repercutido notablemente en la gestión forestal. La integración vertical de Ikea le permite controlar varias fases del proceso de producción y distribución, lo que se traduce en una mayor eficiencia y unos costes menores.

Ahora bien, es importante examinar cómo se entrecruzan estas prácticas con su compromiso con una gestión forestal responsable. En el pasado, Ikea se ha enfrentado a polémicas y escándalos relacionados con su abastecimiento de madera y su gestión forestal. Entre los incidentes más notables cabe destacar los siguientes la tala ilegal de madera en Rusia[370] y en bosques ucranianos[371]. Los escándalos revelaron desafíos en la cadena de suministro de Ikea y cuestionaron su sostenibilidad. La empresa ha respondido fortaleciendo su compromiso con la obtención responsable de madera, imponiendo requisitos más estrictos a los proveedores y aumentando inversiones en programas de conservación forestal. Aunque los problemas resaltan la importancia de supervisión constante, Ikea está enmendando deficiencias pasadas y mejorando prácticas. La empresa se esfuerza por un abastecimiento responsable, apoyo a la silvicultura sostenible y conservación. La colaboración sectorial, regulaciones gubernamentales y la demanda de productos sostenibles son también cruciales para fomentar prácticas forestales responsables globalmente.

10.6.2. La amenaza del Teredo continúa: Obra civil

Entre las amenazas históricas se encuentra la del *teredo navalis* que, desde la década de los 90, este acreditado barrenador, ha obligado a sustituir espigones de la costa del mar Báltico debido a los considerables daños que estos han sufrido. Durante 150 años, originalmente con madera de pino local, han constituido una medida crucial de protección costera, pero esta especie invasora persiste debido a

[370] El autor se refiere al escándalo de su firma *ExportLes Group* que incumplió las concesiones entre 2012 y 2018 y que llevaron a la denuncia por parte de *Global Forest Watch.*

[371] Basado en el informe de *Earthsight* de 2018.

su capacidad reproductiva y su supervivencia en condiciones variables de salinidad y temperatura, no obstante la causa exacta de su presencia sostenida sigue siendo difícil de determinar (Lippert & al., 2017). Su rápida madurez y alto potencial reproductivo conduce a una amplia propagación y colonización de los sustratos de madera disponibles. Como especie marina, dos factores determinantes son la temperatura y la salinidad. Mientras los datos históricos sugieren un rango de 15-25°C para el crecimiento y la reproducción, la salinidad todavía no está completamente evidenciada, causada por su imprevista supervivencia en baja salinidad[372].

El cambio climático, especialmente el aumento gradual de la temperatura del mar Báltico y las entradas esporádicas de agua salina, apuntan a una posible alteración de la distribución del *teredo* en el futuro, lo que requiere una investigación y un seguimiento continuos para mitigar sus consecuencias destructivas en las estructuras de madera del mar Báltico. Ambas iniciativas presentan consecuencias económicas muy importantes que, a pesar del posible uso de maderas duras tropicales frente al más vulnerable pino europeo, suponen gastos millonarios pues se hace preciso mantener y reemplazar las infraestructuras dañadas, sin contar con los posibles daños de estructuras arqueológicas.

La construcción naval histórica se apoyaba fuertemente en la elección cuidadosa de especies de árboles, seleccionadas por su disponibilidad local y propiedades específicas de la madera. Un desafío significativo, para la preservación de barcos y estructuras de madera sumergidas, es el daño causado por gusanos perforadores. Para proteger estas estructuras de infestaciones de gusanos, es crucial implementar métodos de protección efectivos. Estos incluyen el uso de maderas resistentes a los gusanos, aplicaciones de tratamientos químicos y medidas estructurales. Es necesario un enfoque balanceado para emplear tipos de madera históricos y asegurar su conservación ante amenazas biológicas en ambientes marinos, manteniendo su valor arqueológico (Müller, 2010). La vigilancia continua de los pecios sumergidos y la aplicación oportuna de medidas protectoras son esenciales para salvaguardar estos valiosos tesoros históricos y culturales subacuáticos de la destrucción provocada por la carcoma.

[372] Se puede considerar una salinidad de mínima y máxima toleradas por los adultos: 5-6 g/L y 35-39 g/L(Lippert & al., 2017).

10.6.3. Carpintería naval y el carpintero de ribera

El término "carpintero" proviene del latín *carpentarius*, relacionado con la construcción de carros. Tradicionalmente, los carpinteros se clasificaban en tres grupos[373]: carpinteros de lo prieto, de lo blanco y de ribera, este último especializado en la construcción de embarcaciones. La carpintería de ribera es un oficio ancestral en la historia de la navegación, con un patrimonio significativo. Este arte ha sido clave para el desarrollo humano, dejando huellas culturales. La transmisión de conocimientos se hacía de generación en generación o mediante la relación maestro-aprendiz, con una lenta evolución en herramientas y métodos. Estos artesanos, al establecer astilleros, asumieron la responsabilidad de construir embarcaciones de madera, marcando una era donde este material predominó hasta el siglo XIX. Con el tiempo, la madera fue gradualmente sustituida por hierro y acero, simbolizando un cambio significativo en los métodos constructivos que se acrecentó con la sustitución de la propulsión primero de vapor y, tras ella, de los motores diésel.

Los astilleros, inicialmente ubicados en playas sin infraestructura fija, evolucionaron en España hacia instalaciones más permanentes y estables a partir de los años cuarenta (Juan-García Aguado, 2021). Esta evolución favoreció una mayor constancia en las condiciones de trabajo para los carpinteros de ribera. Además, estos constructores navales desempeñaban roles empresariales que requerían la participación activa en negociaciones y contratos. A pesar de la rica historia y de la importancia cultural de la carpintería de ribera, esta se limitó principalmente a pequeñas embarcaciones de pesca, transporte, deportivas y servicios portuarios. La aparición de materiales más modernos como el acero, aluminio y las resinas reforzadas con fibras de vidrio marcó un cambio gradual en las preferencias de construcción y señaló la necesidad de apoyo y modernización para preservar este arte tradicional.

Hoy en día, a pesar de la disminución de carpinteros activos, su legado técnico y cultural sigue siendo relevante. La vida laboral y personal de los carpinteros de ribera se entrelazaba, profundamente, con el oficio pasando frecuentemente de una generación a otra. Esto resalta la naturaleza integral de la carpintería de ribera en la comunidad, donde los astilleros no solo eran centros de trabajo sino también espacios de vida y transmisión de habilidades y conocimientos artesanales.

[373] En la carpintería también se podría incluir a los vigoleros y a los entalladores, pero se salen de esta clasificación más tradicional.

Para preservar este legado, en los últimos años se han realizado eventos que incluyen exposiciones de barcos tradicionales de madera y diversas actividades relacionadas con su construcción y operación. También proyectos europeos, como el *All Hands On Deck* (AHOD), buscan revitalizar y enlazar las técnicas tradicionales de la carpintería de ribera en Europa y, de alguna manera, responder a las transiciones profesionales debido a las crisis laborales de las últimas décadas y aprovechar el crecimiento del sector en regiones donde se valora la carpintería naval de madera por su sostenibilidad. La formación que aboga se apoya en una transmisión de conocimiento a través de contenidos digitales rompiendo con la tradicional enseñanza personal a un repositorio que incluye textos, libros, imágenes y videos formativos. Por tanto, pese a la evidente sustitución por otros materiales y métodos, representa una oportunidad de preservar el patrimonio cultural marítimo europeo.

El oficio de carpintero de ribera, transmitido tradicionalmente entre generaciones o a través de la relación maestro-aprendiz, ha sido fundamental en la construcción naval hasta la llegada del siglo XIX, donde comenzaron a asumir roles de diseño. Este conocimiento abarca desde la selección del árbol hasta la finalización de un barco, incluyendo el uso de herramientas y técnicas que han perdurado en el tiempo. Estos artesanos han sido claves en la creación de embarcaciones de madera, adaptando sus conocimientos a las exigencias de navegabilidad y seguridad. A pesar de que la crisis de la actividad en los años 70 condujo a un declive en la construcción de barcos de madera, algunos artesanos mantuvieron viva la profesión, centrada en reparaciones y preservando un legado de destreza y conocimiento marítimo.

En algunos casos, la supervivencia de la carpintería de ribera está ligada a la pesca que resulta esencial en la construcción de embarcaciones de madera utilizadas en la pesca del atún rojo salvaje. Un ejemplo son los astilleros tradicionales de Barbate que, a pesar de la creciente preferencia por materiales prefabricados, preservan un conocimiento inestimable y mantienen viva una tradición marítima que, sin la pesca de almadraba, corre el riesgo de desaparecer.

La carpintería es un arte que continua vigente en la construcción naval, no solo para la fabricación de mobiliario en la habilitación del buque, sino también para elementos como cubiertas o, incluso, componentes de las gradas y diques. La madera ha sido el material usado en buques tan modernos cómo el LHD **Juan Carlos I**, el cual empleó madera de pino para forrar los 1.000 metros cuadrados de superficie del dique inundable (Figura 10.1).

Figura 10.1: Dique LHD Juan Carlos I. Fuente: JICOFER (Armada Española)

La construcción de embarcaciones tradicionales se conserva en todo el mundo. Por ejemplo, en Grecia, este conocimiento ha sido transmitido de generación en generación, principalmente a través de la tradición oral. La construcción de barcos de madera cuenta con una extensa tipología, plasmación de diferentes usos, tradiciones y estéticas. Dependiendo de la estructura de la popa, hay barcos de popa afilada como el *Trehantiri*, que es ampliamente reconocido y data de 1658 en *Hydra*. Otras embarcaciones similares incluyen el *Gatzao, Botis* y *Trata*. Hay barcos de popa de *transom* como el *Perama*, que tenía una pequeña popa transversal en la parte superior del tallo, y barcos de popa elíptica como el *Karavoskaro*. Otros tipos tradicionales son: *Bombarda, Gaïta, Hydraiki* y *Sakoleva*.

La madera es el material principal en la construcción de barcos incluyendo el roble, el abeto, el eucalipto y la teca[374]. Además de la madera, se utilizan otros materiales naturales, como metales (hierro, cobre), productos vegetales (alquitrán, resina, cáñamo) y productos animales (grasa animal).

En la fabricación tradicional de barcos griegos, predominan dos métodos: el método de molde único (*monochnaro*) y el método de plantillas (*sala*). El *monochnaro* permite al constructor de barcos configurar la forma de todas las costillas de la parte central de un barco. Esta técnica implica patrones transmitidos generacionalmente para moldear partes del barco, refinando la forma final del casco. Por otro lado, en el método sala, el carpintero naval diseña perfiles de las partes principales del esqueleto del barco, utilizando plantillas para copiar las

[374] Otros incluyen: la morera salvaje (Mournia o Skamnia) tiene 610 kg/m³, la acacia 750 kg/m³, el despotaki (Melia, Fraxos) 650 kg/m³, el roble entre 690 y 770 kg/m³, el abeto blanco 380 kg/m³, el abeto (spruce) 450 kg/m³, el eucalipto oscila entre 850 y 900 kg/m³, mientras que el iroko, el olmo (Karagatsi/Ftelia) y el niangon presentan 650 kg/m³. El castaño y el meranti tienen 580 kg/m³, el cedro 570 kg/m³, el ciprés 550 kg/m³, el lardzino, la caoba y el pino griego varían entre 500 y 650 kg/m³, siendo las variedades de Samos y Mytilene las más apreciadas en el pino griego. El pino de Oregón y el robolo tienen 520 kg/m³, pitching 640 kg/m³, el tejo 900 kg/m³ y la teca 720 kg/m³.

líneas en la madera. Aunque sala es considerado el método de diseño más avanzado, el método de moldeado tradicional todavía se usa en la construcción de barcos pequeños.

10.6.3.1. Indonesia y maderas alternativas

En Indonesia, al ser un vasto archipiélago, el transporte entre islas depende crucialmente de barcos de madera, esenciales para la conectividad económica. Las embarcaciones tradicionales, construidas con maderas duraderas como el palo de hierro de borneo (*Eusideroxylon zwageri*), el laban (*Vitex pinnata*), la teca (*Tectona grandis*) o la instia (*Instia bijuga*) se enfrentan el desafío del agotamiento de estas especies promovido por su valor comercial. Esto ha llevado a una búsqueda de maderas alternativas para la construcción de estas embarcaciones (Dewi & al., 2020). Los estudios de sustitución de maderas enfatizan la necesidad de propiedades similares, más allá del aspecto, para garantizar la calidad y seguridad en la construcción naval. La relevancia de los estudios botánicos se destaca en este contexto, ya que son fundamentales para la identificación precisa de estas maderas. Esto es crucial para evitar confusiones causadas por los nombres tradicionales de las especies. Además, debido a los requisitos específicos de los distintos componentes de los barcos, cada uno demanda especies de madera particularmente adecuadas para su función. Esto subraya la importancia de una selección meticulosa, basada en un conocimiento técnico profundo.

10.6.4. Legado de los bosques históricos

Los bosques de Suecia están incluidos en lo que se considera el Gran Bosque del Norte, que abarca territorios de Rusia, Canadá, EE.UU., Suecia y Finlandia, es un almacén crucial de dióxido de carbono y representa un tercio de la superficie forestal mundial. Suecia ha logrado una hazaña ambiental: a pesar de proporcionar el 10% de la madera del comercio mundial, para 2018 duplicó su masa forestal en menos de un siglo. El secreto radica en su gestión forestal ya que por cada árbol talado, se planta otro, generando un superávit anual de 30 millones de metros cúbicos de madera. Tras el declive forestal en los siglos XIX y XX, debido a la expansión agrícola y la industrialización, las políticas y tecnologías modernas han permitido a Suecia tanto proteger como aprovechar sus bosques así como generar empleo en la industria maderera. Sin embargo, el enfoque ha suscitado críticas. Aunque Suecia reforesta, a menudo lo hace con monocultivos, principalmente de pino contorta, lo que limita la biodiversidad. Estos bosques cultivados carecen de

la diversidad natural que ofrecen los bosques vírgenes y, por tanto, amenazan la biodiversidad del ecosistema.

Por ello, es clave equilibrar las demandas industriales con la protección medioambiental y la biodiversidad. Los bosques plantados en el siglo XVIII y XIX están llegando a su madurez y están sirviendo nuevas funciones sociales que los visionarios responsables de los montes y bosques de marina jamás se hubiesen imaginado.

El roble ha sido históricamente apreciado en la construcción naval por su resistencia y su grano recto. En Suecia, tras las guerras napoleónicas, hacia 1830, la Corona sueca buscó lugares donde cultivar roble para futuros barcos. En la isla de *Visingsö* encontraron las condiciones perfectas y, a lo largo de una década, se plantaron 300.000 robles, anticipando su uso en el siglo XX. Para garantizar la idoneidad del roble para los barcos, se plantaron otras especies de árboles entre los robles para promover el crecimiento vertical. Sin embargo, cuando los robles maduraron, la Armada había pasado a utilizar cascos de hierro y acero.

En una nota similar, la reparación de la catedral de *Notre-Dame* tras el devastador incendio de 2019, tiene un nexo naval inesperado. Los bosques franceses de **Colbert**, durante el reinado de **Luis XIV**, que alimentaron la marina de guerra desde el siglo XVII y han alcanzado su madurez, proveerán del roble para su reparación. Pese a una cierta oposición popular, más por ignorancia que por un razonamiento ecológico, debido al necesario mantenimiento de los bosques, la icónica aguja será erigida empleando ocho troncos de 3 pies de ancho y más de 60 pies de alto. Para ello, esbeltos árboles del bosque de *Bercé*, de notable tradición naval, tienen una ligera curva que los hace ideales para este fin. En otros casos, la madera se aprovecha de desastres ecológicos, como *mountain pine beetle* cuyos árboles, o mejor dicho, su madera cubrió el *Richmond Olympic Oval* durante los Juegos Olímpicos de *Vancouver* de 2010.

El olmo, una especie que encontró su lugar en la construcción naval, debido a su flexibilidad y durabilidad bajo el agua, se enfrentó a la grafiosis, también conocida como *Dutch Elm Disease* (DED), que causó severos daños en Europa desde la primera década del siglo XX y en España desde su introducción en los años treinta. En el plano nacional, se crea un Programa español para la Conservación de los Olmos en el año 1986, cuyos resultados se han centrado más en tolerancia al hongo causante de la grafiosis que a la eliminación del mismo.

Como se ha discutido en anteriores capítulos, la madera como solución a conflictos armados no desaparece en el siglo XIX. Durante las dos guerras mundiales se emplearon grandes cantidades de madera para alimentar la producción naval. Aun así, su importancia como material no tenía nada que ver con la requerida por las armadas anteriormente. Su uso dependía más de una razón económica o estratégica, al ser empleada para una construcción más veloz (McNeill, 2004).

10.7. Desguace

En el ciclo de vida de un buque moderno, como de cualquier otro producto fabricado, es ineludible incluir su recuperación al menos parcial. Esta se realiza mediante el denominado desguace. La industria del desguace naval ha evolucionado desde los tiempos en que los barcos se quemaban o abandonaban hasta convertirse en un proceso científico en la actualidad. Las primeras prácticas de desguace consistieron en desmantelar barcos varados para obtener materiales, pero, más tarde, se convirtió en una industria. En la época de los Tudor, se desmantelaban barcos de guerra en desuso en astilleros, reutilizando las piezas recuperables, como se ha ejemplificado en el capítulo seis con el taller *Wheelwright's Shop* de *Chatham*. Sin embargo, el desguace moderno es más estructurado y rentable. La introducción de los quemadores de oxiacetileno revolucionó el sector al cortar eficazmente las planchas de acero. Ahora las empresas desguazan meticulosamente los barcos, recuperando materiales valiosos, muebles y maquinaria. Las subastas previas al desguace se han convertido en algo habitual, sobre todo en el caso de barcos famosos. Los buques de guerra obsoletos también son lucrativos para el desguace. El crecimiento de la industria está impulsado por la demanda de acero.

El desguace de embarcaciones ha representado históricamente una práctica económica y logística fundamental a nivel mundial; sin embargo, también se ha convertido en foco de diversas controversias y debates públicos relacionados con las condiciones laborales y el impacto medioambiental asociado. Desde la década de 1940 hasta la década de 1960, el panorama de los puertos en el sur de Europa estaba frecuentemente marcado por escenas de desmantelamiento de navíos. Posteriormente, esta actividad se trasladó a naciones asiáticas como Japón, Corea y Taiwán debido, entre otros factores, a los menores costos laborales y a una demanda doméstica de acero. En la década de 1980, el liderazgo del desguace naval vira hacia India, Bangladesh y Pakistán que se consolidaron como los principales centros globales de desguace naval, lugar que mantienen, debido a la baja sofisticación y uso de playas o lodazales intermareales.

El sudeste asiático continúa siendo un centro principal de reciclaje de buques a nivel mundial. De ellos un ejemplo se encuentra en Bangladés, cuya industria se enfrenta a multitud de desafíos, que se pueden agrupar en aspectos de seguridad, salud y medio ambiente. A pesar de que el reciclaje de buques principalmente involucra el uso de acero estructural inocuo, también genera una variedad de materiales potencialmente peligrosos como amianto y otros sólidos peligrosos, junto con residuos como aguas residuales, aceite y sustancias indiferenciadas. Estos materiales, si no se manejan adecuadamente, pueden representar riesgos significativos tanto para los trabajadores como para el medio ambiente. Los trabajadores, a menudo carentes de habilidades y entrenamiento básico, están expuestos a innumerables peligros, desde caídas de placas y objetos hasta la inhalación de gases tóxicos, mientras que las prácticas laborales inseguras y la falta de procedimientos de trabajo estandarizados contribuyen a una frecuencia elevada de accidentes y problemas de salud en el lugar de trabajo (Zakaria, Ali, & Hossain, 2012). A nivel medioambiental, las técnicas inseguras y poco sistemáticas de desmantelamiento de barcos liberan contaminantes al mar y al entorno circundante, mientras que la mala gestión de materiales tóxicos y desechos amplifica los daños ecológicos. En vista de estos desafíos, es crucial que la industria adopte un enfoque más sistemático y seguro hacia el desmantelamiento de barcos, garantizando no solo la seguridad y el bienestar de los trabajadores, sino también mitigando su impacto ambiental a través de un manejo y disposición más seguro y regulado de los materiales tóxicos y de los residuos generados en el proceso. Sin embargo, la transición hacia prácticas de reciclaje de navíos más éticas y ecológicas se ve complicada por diversos desafíos, entre ellos, la claridad regulatoria, la certificación y, posiblemente, la más importante, las consideraciones económicas.

Desde el prisma de la economía circular, la industria y los reguladores están evaluando la ruptura del modelo económico lineal, en respuesta al crecimiento demográfico y a los desafíos ambientales, a una basada la eliminación de residuos, conservación de los materiales en uso y regenerar sistemas naturales. Este concepto, que ya ha emergido en diversos sectores, es aún incipiente en la industria naval. Los esfuerzos de descarbonización en la industria marítima apuntan a alcanzar cero emisiones netas para 2050, lo que exige rediseñar o adaptar los barcos existentes para nuevas tecnologías y combustibles. La circularidad en el terreno marítimo encuentra un aliado en el reciclaje de buques, cuyo ciclo de vida debe ser ajustado para integrarse en estos principios, con un diseño que optimice

el uso de recursos, facilite la reutilización de componentes y promueva la reparación y renovación.

El crecimiento de la flota global junto con las más estrictas normativas medioambientales llevó al Consejo Marítimo Internacional y del Báltico (BIMCO) a estimar que desde 2023 a 2032 el reciclaje de buques se duplicaría, alcanzando una cifra de más de 15.000 en esa década (Rasmussen, 2023). A pesar de que más del 95% de las emisiones de carbono de la navegación ocurren actualmente durante la fase operativa debido a la combustión de combustible, se espera que la descarbonización de la industria cambie este equilibrio, llevando a que las emisiones de carbono de los componentes, la construcción y el reciclaje ocupen una mayor proporción de las emisiones totales del ciclo de vida de un barco (SSI, 2021). El reciclaje de buques es un proceso crítico para recuperar el acero y proporcionar importantes insumos para diversos sectores. Aunque el acero, que llega a representar más del 80% del peso en rosca del buque, es reciclable, el ciclo de vida de este en los buques tiende a seguir una trayectoria lineal, con reciclaje final y renovación para otras industrias. Por tanto, pese a la recuperación del recurso, falla en la adaptación la circularidad al salir fuera del ciclo. No obstante, en un concepto más global de la industria se podría considerar esa retroalimentación.

El comercio marítimo internacional y el reciclaje de buques están estrechamente relacionados con la sostenibilidad global. El reciclaje de buques, impulsado por la demanda y precios del acero, es un proceso crítico influenciado por el mercado, la capacidad de reciclaje y una variedad de regulaciones y políticas a nivel mundial. El desguace de barcos ha aumentado globalmente debido a factores como la crisis económica y el crecimiento de la flota mercante. Este proceso, que incluye el desmantelamiento y reciclaje de componentes, varía en método, con opciones más seguras, pero costosas, como el desguace a flote y en dique seco, y otras más azarosas y económicas como la varada voluntaria, comunes en países menos industrializados.

Las industrias de desguace y reciclaje de buques (SBRI) reintroducen materiales de buques al final de su vida útil en la economía, pero presentan desafíos medioambientales y sanitarios significativos (Barua & et. al., 2018). Debido al incremento de regulaciones más estrictas en algunos países, muchos buques son enviados a regiones con normas más laxas con el fin de reducir costos. Por tanto, debido al incremento de regulaciones ambientales y de seguridad en países como China y Turquía, el desguace se ha concentrado en el subcontinente indio, particularmente, en *Gadani*, Pakistán, *Alang*, India, y *Chittagong*, Bangladesh,

que se han convertido en centros donde la exposición a peligros físicos y materiales tóxicos despiertan el clamor internacional. La contaminación, marina y terrestre, junto con las lamentables condiciones laborales que, pese a las preocupaciones éticas y medioambientales, se enfrentan a la necesidad de materiales reciclables y a la contribución de esta industria al desarrollo económico local.

Entre los astilleros especializados en reciclaje de Turquía está *Leyal Ship Recycling Group*, con sede cerca de *Aliaga* (Turquía), es una entidad notable en el sector del reciclado de buques, especializada en el reciclado de chatarra metálica desde principios de los años ochenta. *Leyal*, una de las mayores instalaciones de desguace de buques de Turquía, procesa más de 100.000 toneladas ligeras al año en su extensa área de operaciones de 6 hectáreas. *Leyal*, plenamente autorizada y regulada por las autoridades turcas, recicla de forma competente diversos tipos de buques y unidades *offshore*, cumpliendo la normativa internacional y europea. Ha desempeñado un papel pionero en la aplicación del Reglamento Europeo sobre el traslado de residuos en Turquía y colabora activamente con la Asociación Internacional de Reciclaje de Buques y BIMCO.

La empresa Surus Inversa, en colaboración con el astillero *Leyal*, gestionó la descontaminación del portaaviones **Príncipe de Asturias** (1982) de la Armada Española antes de su envío a Turquía (Figura 10.2). Tras adquirir el buque por 2,7 millones de euros en el año 2017, Surus y *Leyal* iniciaron el desmantelamiento y reciclaje. Este proceso incluyó la eliminación de materiales peligrosos, la inertización de combustibles y el manejo de residuos sólidos. Además, se realizó una subasta benéfica que recaudó fondos para Caritas Castrense, la Fundación Museo Naval y la Asociación Nuestra Señora del Carmen, cumpliendo con los principios de responsabilidad social y de preservación histórica, en línea con la Responsabilidad Social Corporativa. Para entonces, el buque se había dado de baja oficialmente en 2013 y contenía un estimado de 8,5 millones de kilos de metal útil para ser reciclado, distribuidos en 6.157.045 kilos de acero, 830.729 kilos de hierro, 636.774 kilos de cobre con aislamiento, 427.134 kilos de cobre limpio, 306.830 kilos de aluminio, 143.954 kilos de acero inoxidable, 63.514 kilos de bronce, 4.243 kilos de zinc y 2.097 kilos de plomo.

En España, al igual que en el resto de Europa, el reciclaje de buques como industria está casi extinto, con un número limitado de empresas y aún más limitada actividad. Ejemplo de ello es la empresa almeriense, aunque con operaciones en Las Palmas, Logiscrap que también entró en la licitación del desguace del portaviones. Esta planta de desguace de buques cesó su actividad en 2023.

Figura 10.2: Portaaviones Príncipe de Asturias (R-11) previo a su desguace. Fuente: Surus

Con la inclusión de tres nuevos astilleros situados en Turquía, la Comisión Europea ha ampliado la *Onceava edición de la lista europea de instalaciones de reciclado de buques*[375], que ofrece un mayor número de alternativas para el futuro desguace a los propietarios de buques con pabellón de la Unión Europea. La lista, actualizada en esta edición, comprende 48 instalaciones en todo el mundo, principalmente en Europa con 38 instalaciones, Turquía con 9 y los Estados Unidos con 1. Desde finales de 2018, la normativa de la UE obliga a utilizar instalaciones autorizadas para todos los grandes buques de navegación marítima bajo pabellón de un estado miembro de la UE.

Para ello se introduce el concepto de economía circular que propone una mentalidad centrada en reciclar, renovar, reutilizar y reducir, que se conoce como las 4 R. Para ello, la fase de diseño se convierte en crítica, donde se incide en el uso eficiente y la longevidad de los materiales Este cambio sistémico exige un pensamiento amplio para optimizar todo el ciclo de vida de los buques y sus materiales, garantizando la sostenibilidad y reduciendo el impacto ambiental. La transformación hacia un modelo sostenible en la industria naval constituye un imperativo tanto ambiental como socioeconómico en nuestra era. La creciente urgencia por mitigar el impacto climático y avanzar hacia modelos operativos más sostenibles exige un desarrollo de la tecnología de diseño y construcción, en esa línea se encuentran las soluciones de diseño que se discuten a continuación.

[375] *Commission Implementing Decision (EU) 2023/1562 of 27 July 2023 amending Implementing Decision (EU) 2016/2323 establishing the European List of ship recycling facilities pursuant to Regulation (EU) No 1257/2013 of the European Parliament and of the Council.*

10.8. Industria 4.0 y los materiales de construcción naval

Desde la introducción de las disciplinas científicas en el proceso de construcción naval, se ha buscado la optimización de los recursos humanos y materiales. La actual crisis medioambiental ejerce una presión adicional sobre la gestión global de los recursos y una atención especial al aprovisionamiento y a la utilización de los materiales. La conocida como Industria 4.0[376], cimentada en los principios de la Revolución Digital (o Tercera Revolución Industrial) es una transformación que establece una nueva relación entre el mundo físico y digital, y va a requerir de una respuesta integrada (Schwab, 2015). La introducción de este concepto, otrora más especializado, motiva un mayor interés por los sectores ajenos a la producción industrial y facilita el que sea relanzado a nivel global (Pfeiffer, 2017).

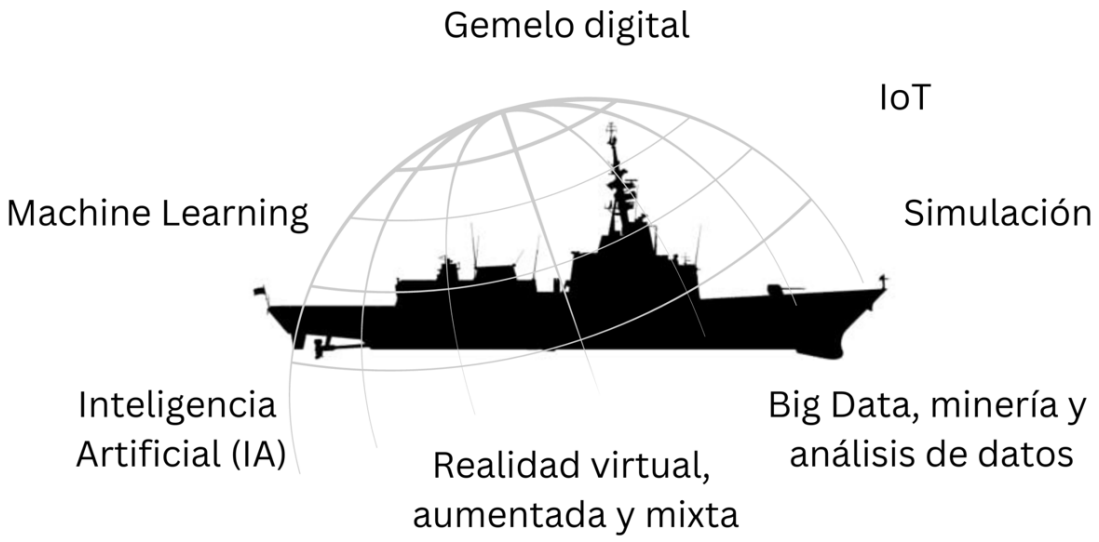


Figura 10.3: Tecnologías asociadas con la Industria 4.0. Fuente: Elaboración propia

La introducción del "internet de las cosas" (IoT) en el entorno productivo estimula la creación de los sistemas ciber físicos (CPS) y es considerada una parte fundamental de esta nueva etapa industrial. Sin embargo, este término deja lugar a la ambigüedad[377] y, junto con el uso de técnicas de marketing, refuerza la confusión para definir con rigor un nuevo término. (Drath & Horch, 2014). Otros elementos aplicados a la construcción naval se muestran en la Figura 10.3. Dado el valor estratégico, económico y social del sector naval, es preciso que se incorpore este sector a la Cuarta Revolución Industrial.

[376] Esta denominación aparece por primera vez en la *Hannover Messe* de abril de 2011; que se trata de una feria de automatización industrial. Concepto utilizado por el Ministerio Federal de Investigación alemán desde 2009.

[377] Especialmente con conferenciantes como Henrik von Scheel, quienes han ido sumando conceptos y tecnologías, al igual que defienden la idea de las tres olas de madurez correspondientes a los años 2009-2016, 2016-2025 y 2025-Futuro.

El interés de la industria naval en esta revolución industrial es manifiesto, hecho que el autor pudo comprobar de primera mano desde su posición de responsable técnico de la *Royal Institution of Naval Architects*, además de su labor como organizador en noviembre de 2019 de la conferencia internacional *Marine Industry 4.0* en la ciudad holandesa de Róterdam. En este evento, profesionales de la implementación de nuevas tecnologías en la industria naval tuvieron un espacio para el debate que incluía la sensorización, tecnología de redes, automatización, inteligencia artificial, realidad aumentada/mixta, fabricación aditiva, gemelos digitales, uso de herramientas CAD y monitorización, al igual que la sinergia entre las diferentes tecnologías. Un área que despertó gran interés y sigue siendo parte del debate que comparten organismos nacionales, internacionales, no gubernamentales y la industria, es la formación de la futura mano de obra. Las destrezas, incluyendo la especialización y digitalización, que demandarán los procesos productivos de esta nueva transformación de la industria tienen el gran desafío del origen y adaptación de las enseñanzas técnicas y, en este caso, las navales. Adicionalmente y, a pesar de la disponibilidad tecnológica, se requieren cambios sociales y regulatorios para la incorporación de algunas tecnologías como pueden ser los buques autónomos[378]. Este debate fue una parte esencial[379] de la conferencia internacional *Autonomous Ships 2022* organizada en marzo/abril de 2022 en el Museo Marítimo Nacional de *Greenwich* en Londres, que seguía la estela de una conferencia anterior[380].

Gracias al aumento de la competitividad de los centros de producción, la introducción de las prácticas que definen la Industria 4.0 puede permitir deslocalizarse a regiones donde sus costes, especialmente los laborales, los hacen actualmente deficitarios. También pueden ofrecer mayor fiabilidad, gestión de residuos y contaminación y, lo que es muy importante, una reducción del consumo de materiales y energía (Smit, Kreutzer, Moeller, & Carlberg, 2016). Esto resulta de suma importancia en el análisis centrado en la escasez de materiales, que busca tanto un uso eficiente, como opciones de diseño que permitan la sustitución, reutilización o supresión de los recursos más limitados. Las nuevas tecnologías se apoyan en un conjunto limitado de materiales y, por tanto, se exponen al riesgo de

[378] La Organización Marítima Internacional (OMI) aprobó en su 104ª sesión del *Maritime Safety Committee* (MSC) la elaboración de un reglamento para los buques de superficie autónomos (MASS, por sus siglas en inglés)(Octubre 2021). Se han desarrollado avances en la futura normativa informados en MSC105 (Abril 2021) y MSC106 (Noviembre 2022).

[379] Entre otros temas: la prevención de colisiones, la navegación, la fiabilidad y el mantenimiento de los sistemas.

[380] El autor organizó una conferencia de buques autónomos durante las jornadas del 17 y del 18 junio 2020, cuyas presentaciones grabadas son accesibles en las plataformas digitales de la *Royal Institution of Naval Architects*.

ser deficitarios. Estos materiales de la era del silicio[381] (Shane, 1982), han sido identificados por diferentes organismos, incluida la comisión europea que en 2020 ya incorporó treinta materiales. Teniendo en cuenta que en el año 2011 ese número era de catorce, veinte en 2014 y veintisiete en 2017, se infiere la constante monitorización y preocupación por el suministro de las materias primas fundamentales.

Con el aumento de la dependencia en las tecnologías basadas en IoT, también se ha producido un incremento de la ciberdelincuencia y, por tanto, de la necesidad de proteger los activos desde el enfoque de la ciberseguridad. Por consiguiente, hay un esfuerzo renovado de concienciar, detectar, prevenir y responder a tales amenazas, debido al riesgo que suponen para las infraestructuras críticas, los datos y las cadenas de suministro. La industria marítima no es ajena a este reto y la Organización Marítima Internacional (OMI) tanto ha publicado una guía[382] para la gestión de la ciberseguridad, como adoptó, en junio de 2017, una resolución para los sistemas de gestión de la seguridad existentes, según el código ISM (*International Safety Management*). Otros organismos, como el *International Association of Classification Societies* (IACS) han suministrado sus propias recomendaciones mientras que, en otros casos, las directrices se han propuesto por el interés de múltiples entidades privadas en un ejercicio de autorregulación industrial[383]. Finalmente, un estándar que se está introduciendo es el ISO/IEC 27001, se trata de una publicación conjunta de la *International Organization for Standardization* (ISO) y la International Electrotechnical Commission (IEC). De este modo, la ciberseguridad está adquiriendo una posición fundamental en la digitalización de la industria marítima la cual está dando sus primeros pasos para la adaptación de tecnologías como el *Blockchain* o el uso de un libro mayor para registrar y controlar las transacciones, así como las estrategias de confianza cero.

Aunque la promesa de la Industria 4.0 se basa en la rapidez, inteligencia y sostenibilidad, estas no son posibles sin una adecuada integración de las tecnologías y de los procesos disponibles. Asimismo, requiere de personal formado

[381] O era de la información/conocimiento/informática, siguiendo el estilo de las tres edades (Piedra, Bronce y Hierro) de Christian Jürgensen Thomsen, no debe confundirse con el Mito de las Edades de Hesíodo.

[382] *Guidelines on maritime cyber risk management* MSC-FAL.1/Circ.3.

[383] *The Guidelines on Cyber Security Onboard Ships* (2017), producido por BIMCO, *Chamber of Shipping of America*, *Digital Containership Association*, *International Association of Dry Cargo Shipowners* (INTERCARGO), *InterManager*, *International Association of Independent Tanker Owners* (INTERTANKO), *International Chamber of Shipping* (ICS), *International Union of Marine Insurance* (IUMI), *Oil Companies International Marine Forum* (OCIMF), *Superyacht Builders Association* (Sybass) y *World Shipping Council* (WSC).

tanto en el manejo de las herramientas como en la nueva metodología de trabajo que requerirán.

Cuando se menciona la Industria 4.0 en el sector de la construcción naval, el empleo de la robótica es un elemento que se incluye rápidamente, algo nada sorprendente debido al origen antes mencionado. Ciertamente es una parte visible del llamado astillero 4.0, pero la novedad radica en el espacio intangible o digital que impregna todos los procesos. Los robots[384] se benefician de avances en mecánica, software, sensores y electrónica los cuales pueden contribuir a reducir tiempo y costes. El empleo de la robótica y automatización para labores de corte, soldadura, preparación de superficies, izado de cargas pesadas, limpieza e inspección entre otras, permite que se supla la escasez de mano de obra como que se reduzca la exposición de personal a riesgos asociados a la producción. Esto último es de gran importancia en el caso de los espacios confinados, donde los robots industriales más pequeños pueden tener un gran impacto. La elevada inversión de capital se ha identificado como un gran reto importante para la introducción de estos sistemas. Estos pueden resultar prohibitivos en las operaciones pequeñas y medianas si se incluyen los costes de mantenimiento e integración, especialmente si hay un bajo rendimiento de la inversión (ROI).

La construcción naval y, especialmente, el papel del ingeniero naval, representan un carácter integrador, que requiere utilizar las múltiples herramientas disponibles, tanto físicas, como la robótica o la fabricación aditiva, como estrictamente digitales, así el IoT/Big Data/Análisis de datos/Minado de datos, y buscar sinergias entre ellas.

Un aspecto de gran trascendencia en la construcción naval se encuentra en la cadena de suministro, que se apoyará en diferentes etapas materiales como la producción, el almacenamiento y la logística. La transformación digital de los astilleros y empresas auxiliares permite un mayor control de la planificación de recursos empresariales, conocida por sus siglas ERP, y por tanto adquirir información sobre los procesos para mejorar la productividad y la gestión energética y de materiales. Por tanto, esta digitalización permite alimentar el flujo de información estratégica utilizada para la toma de decisiones y los procesos de integración vertical y horizontal.

[384] Con este término se incluyen todos los segmentos como son los articulados, los cartesianos, los cilíndricos, los colaborativos, los polares y SCARA. Se espera un crecimiento de los robots colaborativos (cobot) debido a sus reducidas dimensiones y a la oportunidad de interactuar con los operadores humanos.

El concepto de cadena de suministro puede ser perfeccionado mediante la introducción de la conocida como cadena de valor, que responde a las necesidades de sostenibilidad y ciclo de vida que la industria en su conjunto demanda en la actualidad. Este permite también considerar valores que no son estrictamente económicos o monetarios para dar una perspectiva de ciclo de vida mostrando el valor para el cliente.

En resumen, estas tecnologías tienen potencial de ser empleadas para identificar, evaluar y mejorar el rendimiento de los procesos, sistemas y productos industriales, al igual que para velar por su correcto funcionamiento y mantenimiento.

10.8.1. Caso práctico: Incorporación del CAD a las fases iniciales de diseño

Una aplicación práctica considerada durante el desarrollo de la presente tesis doctoral (Perez-Martinez & Pérez Fernández, 2021; 2023), es el empleo de las herramientas CAD (*Computer Aided Design*) como solución integrada, por lo tanto, su utilización desde la fase temprana de diseño conceptual hasta la producción de las unidades. En el proceso de diseño naval no existe aún consenso referente al empleo de los sistemas CAD en 3D en las primeras etapas del diseño, a pesar de no ser un concepto nuevo y que el debate se remonta a décadas atrás (Garcia, Fernandez, & Torroja, 1994; Aarnio, 2000). A pesar de ello, los avances significantes en las herramientas CAD de los últimos años, incluida la capacidad de integración de diferentes módulos, justifican su incorporación en las fases iniciales de diseño. Además, la generación temprana de un modelo digital, a partir del cual se desarrolla el proyecto a través de todas las fases de diseño y producción, mejora la calidad del diseño, aporta mayor precisión y reduce el riesgo de incoherencias.

La creación de los archivos de formas, de cálculos hidrostáticos, de definición de volúmenes, estabilidad (intacta y en avería) y otros conceptos de arquitectura naval tienen precedente en el diseño básico: los materiales, en su forma de planchas y perfiles, especificados en etapas posteriores. Dada la naturaleza iterativa del diseño naval, el recálculo automático de todos los elementos es una ventaja permitida por la descripción topológica que resulta en un ahorro de tiempo considerable. También la topología permite la rápida asignación de múltiples

atributos (incluidos el material, el alma, el escantillonado y la orientación del espesor) a los elementos estructurales.

Con el fin de generar más fácilmente una *Material take-off list* (MTO)[385], se incorporan funciones como la creación automática del predesarrollo de la chapa y la representación sólida (incluido el espesor) de las chapas curvas y planas.

Dado que los objetivos de sostenibilidad de la industria de la construcción naval están impulsando la eficiencia energética y de los materiales, al igual que las prácticas medioambientales que abarcan todo el ciclo de vida del buque, las mejoras en estos dominios se están convirtiendo en una prioridad. Los avances técnicos que se están desarrollando en el contexto de la industria marítima 4.0 (Gemelo Digital, Internet de las cosas, Realidad Virtual, Aumentada y Mixta, Inteligencia Artificial, *Big Data, Data mining, Data Analytics, Machine Learning,* Fabricación Aditiva, Autonomía y Simulación) permiten mejorar la conexión entre el activo real y el diseño. Estudios recientes sugieren que el uso de un modelo 3D en forma de gemelo digital aumentará la productividad en un 20%, debido a la definición temprana de los equipos y a la reducción del consumo de energía y de accidentes registrados (Kunkera, Opetuk, Hadžić, & Tošanović, 2022). Por otra parte, la definición temprana de los materiales necesarios permite alinearse con la planificación de las necesidades de materiales y las prácticas justo a tiempo (JIT). Cada etapa del proceso de construcción naval tiene un consumo de recursos y un componente de residuos asociados que se benefician de la definición temprana que ofrece el empleo de herramientas 3D, puesto que permite una mejor aplicación de las estrategias centradas en la coordinación y el control de los procesos operativos. Igualmente, puede servir de apoyo a las actividades de evaluación y seguimiento que no sólo permitirán optimizar el consumo de materiales, sino también controlar los residuos y la contaminación durante la construcción.

La solución propuesta se basa en un modelo que conserva la geometría y, por tanto, los atributos de los elementos que integran el producto. El modelo 3D del buque se desarrolla como un componente crítico del trabajo de ingeniería y puede emplearse como apoyo visual y ser aprovechado para extraer datos que proporcionen el aprovisionamiento de materiales y la producción.

[385] La "*Material Take-Off list*" alude a una lista de materiales que incluyen cantidades y tipos, es decir, los artículos para la compra o el aprovisionamiento y utilizada como referencia para el cálculo del coste de los materiales. Contrasta con la "*Bill of Materials*" que define los componentes para la construcción y la fabricación.

Además de las ventajas en la definición de espacios del buque, de posicionamiento de equipos y de cálculos de arquitectura naval, existe una clara ventaja en cuanto al análisis de alternativas de diseño y a la obtención de información material anticipada, resultante del uso de la topología. Por tanto, es posible obtener la estimación temprana de materiales, pesos, soldaduras y pintura. Teniendo en cuenta que la mayor parte de los costes de un buque se comprometen durante las primeras fases de diseño, adquirir esta información en una fase temprana es sumamente provechoso.

La integración entre herramientas de gestión del ciclo de vida del producto (PLM) y distintos sistemas CAD representa otro avance notable. Las PLM pueden gestionar desafíos como la trazabilidad, los cuales están sujetos a todos los procesos como la gestión de procesos, la configuración y el ciclo de vida de control y liberación. Asimismo, su empleo puede permitir que se reduzcan lo que se conoce como "soluciones isla" (Seppälä, 2021; Bitomsky & al., 2022).

Al margen de la integración eficaz con las herramientas de análisis de elementos finitos, otras ventajas son el examen rápido de diversos diseños y la determinación preliminar del peso, las soldaduras, la pintura y otros recubrimientos y los materiales. Facilita también la definición del armamento, incluyendo la disposición general y la de los compartimentos cruciales, y mejora la coordinación entre distintas disciplinas. El objetivo último es simplificar la transición hacia el diseño detallado y permitir la reutilización de la información generada en los distintos procesos.

Una crítica común al empleo de esta solución y a favor del empleo 2D radica en la potencia de cálculo para gestionar los modelos, cada vez más detallados, tarea asignada a las computadoras actuales. No obstante, la incorporación de nuevos procesadores (*CPU/GPU*[386]) permiten absorber la creciente demanda gráfica y de computación. Asimismo, en cuanto al software, se van desarrollando sistemas operativos especialmente adaptados para dispositivos móviles (como *Android* o *IOS*), los cuales aportan una interfaz que ofrece funcionalidades avanzadas.

La solución propuesta aporta beneficios tangibles, pues optimiza el proceso al reducir el tiempo dedicado al diseño y, en consecuencia, el coste asociado. Por otra parte, beneficiará a la etapa de aprovisionamiento del proceso y favorecerá la optimización de los materiales de acuerdo con las políticas sostenibles, como pueden ser los Objetivos de Desarrollo Sostenible incluidos en la Agenda 2030 para

[386] CPU: Unidad central de procesamiento. GPU: Unidad de procesamiento gráfico.

el Desarrollo Sostenible. De este modo, se puede promover el cumplimiento de los objetivos medioambientales, según la responsabilidad social corporativa, sin comprometer otros objetivos comerciales.

> "Han caído ustedes en un error deplorable. Han pensado que se ahorrarían dinero, pero lo que se ahorran es gloria"[387]

11. Conclusiones

El fragmento del discurso de Víctor Hugo (1802-1885) que adorna el título, refuerza el espíritu de este capítulo de conclusiones. El fomento de la educación, en este caso particular la naval, es la llave para la "gloria" a la que hace referencia.

Esta tesis comenzó como una búsqueda de patrones de construcción debido a la escasez material cuya existencia está adecuadamente documentada. Aun así, en multitud de casos, al menos hasta el siglo XIX, pudo suplirse con el consumo nacional o territorios de ultramar como en el caso español. La popularización del hierro y del acero, así como la propulsión mecánica, provoca una situación de dependencia que, aunque en algunos periodos pueda considerarse mayor o menor, continua hasta nuestros días. La naturaleza internacional de la industria marítima, al igual que la búsqueda del menor coste de producción, han creado un frágil equilibrio de suministro que evidencia esa dependencia.

Se ha visto la dependencia de los materiales bien pronto, pero más aún la iniciativa de importación de los mismos con un ejemplo temprano en el Antiguo Egipto. La carpintería egipcia se caracterizó por la importación de madera, aunque existían algunas especies autóctonas, estas no cubrían las necesidades de consumo y propiedades requeridas. Los cambios en el suministro de materias primas y en los sistemas de transporte son clave para comprender el desarrollo económico. Particularmente, la Revolución Industrial puso de relieve cómo la transición de los recursos orgánicos a los inorgánicos podía catapultar el potencial de crecimiento industrial y, con ello, las sociedades. La transformación en el suministro de materias primas cambió el avance industrial, desafiando teorías económicas previas. Con el aumento de los precios de la madera, debido a su escasez, se impulsó el uso del carbón como alternativa, lo que tuvo un impacto significativo en industrias como la construcción naval. La disponibilidad de carbón no solo proporcionó energía a diversas industrias, sino que también propició innovaciones como la máquina de vapor, transformando radicalmente los procesos de fabricación y el transporte.

[387] Discurso de Víctor Hugo en la Asamblea Constituyente, 10 de noviembre de 1848 en respuesta a las propuestas de reducción del presupuesto especial de las ciencias, las letras y las artes.

El concepto de los límites del crecimiento ha evolucionado a partir de la preocupación por el agotamiento de los recursos naturales, que es una idea que ha estado presente desde la Ilustración y los primeros economistas clásicos. Estos pensadores reconocieron que la tierra y sus recursos, siendo finitos, podrían convertirse en un límite para el crecimiento económico y la expansión demográfica. Sin embargo, el enfoque contemporáneo sobre los límites del crecimiento va más allá del simple agotamiento de los recursos e incorpora consideraciones más amplias sobre la capacidad de carga del planeta, la sostenibilidad ambiental y las consecuencias del cambio climático. Este cambio en la percepción refleja un entendimiento más profundo de las interacciones entre los sistemas humanos y naturales y una creciente preocupación por las implicaciones a largo plazo del modelo de desarrollo predominante. La industria marítima debe, por tanto, incluirse en la economía circular.

Una extraordinaria proporción de esta tesis versa sobre la madera. Su importancia, como elemento de construcción básico, se ve también reforzada por su etimología, al encontrar su origen en el latín *materia* como concepto general. A lo largo de la historia, la relación entre los seres humanos y los bosques ha estado intrincada. Los impactos humanos más significativos sobre los bosques surgieron de la necesidad de tierra y madera, a menudo intensificada en tiempos de guerra. Durante siglos, la madera fue vital para las fortificaciones y los buques de guerra, por lo que el acceso a determinados tipos de bosques era crucial. Esta dependencia modificó los bosques en cuanto a composición de especies y tamaño. A finales del siglo XIX, los avances en armamento y construcción, junto con la introducción de barcos de hierro y acero, redujeron la importancia estratégica de la madera. Eso no significa que los bosques perdiesen su importancia, pues estos siguen desempeñando un papel destacado, tanto en los conflictos como el mundo rural.

La interacción entre los precios, la disponibilidad de recursos y la innovación tecnológica se convirtió así en la fuerza motriz de los profundos cambios económicos que se produjeron durante la Revolución Industrial. Según avanzaron los siglos, los metales comenzaron a tener una mayor importancia, una gran transición en la construcción naval. En Francia, este aumento quedó reflejado en la duplicación de la cantidad de elementos metálicos, desde mediados del siglo XVII al XVIII. Este incremento en el peso y el costo refleja la creciente dependencia de los materiales metálicos en la construcción naval, impulsada por la necesidad de barcos más fuertes, más armados y más duraderos para la guerra naval. A su vez, este cambio

en los materiales y técnicas influyó considerablemente en el diseño naval, así como en el desarrollo de la industria metalúrgica de la época.

Las potencias vencedoras de la Segunda Guerra Mundial, en particular la norteamericana e inglesa, gozaron de una ventaja inicial debido a su flota y capacidad de construcción. No obstante, su construcción estaba basada en prácticas laborales intensivas, heredadas de décadas anteriores, que empezaron a quedarse en desventaja frente a nuevos competidores. Los astilleros japoneses, con procesos más eficientes y un enfoque en diseños estandarizados, cambiaron el panorama de la industria. Tras unas décadas de liderazgo japonés, pese a su poco competitiva industria siderúrgica, este es desbancado por los astilleros modernos y eficientes de Corea del Sur, cuyo liderazgo ha quedado compartido con China; mientras que la construcción naval occidental ha quedado relegada a buques de guerra y a otros buques especializados. Han sido las técnicas de fabricación y diseño el factor diferenciador que, a pesar de la importancia del precio del acero, han permitido el liderazgo en tonelaje de los competidores orientales. Desde la Segunda Guerra Mundial hasta principios del siglo XXI, la industria de la construcción naval ha experimentado varios ciclos de auge y caída. Pese a los cambios en la tecnología y la economía global, el acero ha permanecido como el material principal en la construcción de buques, jugando un papel crucial en la evolución y adaptación de la industria a los cambiantes desafíos y oportunidades.

La industria de la construcción naval, un sector vital para el comercio global y la economía marítima, enfrenta desafíos significativos marcados por desequilibrios entre la oferta y la demanda, así como por la influencia de las políticas gubernamentales. La industria naval ha sido históricamente cíclica, con períodos de alta demanda seguidos por tiempos de exceso de capacidad. Este patrón se ha agravado en las últimas décadas a causa de factores como las fluctuaciones en la economía global, los cambios en las rutas comerciales y la volatilidad de la demanda de tipos específicos de buques. Como resultado, la industria ha experimentado una sobreproducción significativa, llevando a una disminución en los precios de los buques y afectando negativamente a la rentabilidad general. Las políticas gubernamentales han tenido un papel fundamental en esta dinámica. En un esfuerzo por apoyar sus industrias nacionales, varios gobiernos han implementado medidas como subvenciones directas, préstamos con condiciones favorables y otras formas de asistencia financiera. Estas políticas, aunque vitales para la supervivencia de los astilleros nacionales, han contribuido a la sobrecapacidad del mercado y han distorsionado la competencia. En el ámbito de

la Marina Mercante, el crecimiento del comercio global junto con las nuevas regulaciones medioambientales genera a los astilleros una necesidad de anticipar su capacidad a esas nuevas exigencias. Países como China, Corea del Sur y Japón han dominado la industria, pero actualmente se enfrentan a desafíos relacionados con la sobrecapacidad y presiones competitivas. Idealmente se requiere de una cooperación internacional más sólida para lograr un equilibrio más sostenible en la industria y controlar la sobrecapacidad. Una industria de construcción naval equilibrada y sostenible, no solo es crucial para la economía global, sino también para el medio ambiente y la sociedad en general. La adopción de estrategias bien diseñadas y la cooperación internacional serán clave para asegurar un futuro más prometedor para esta fundamental industria.

Desde antiguo, la creación de una industria próspera de construcción naval se encuentra intrínsecamente vinculada a diversos factores críticos. Primero, es imperativo que exista una tradición marítima consolidada que internalice el conocimiento de diseño y construcción de naves, así como un dominio del conocimiento tecnológico avanzado pertinente a la época. Segundo, es vital tener acceso a materia prima, como lo fue la madera, los metales o el cáñamo, con costes asumibles. Tercero, es crucial contar con lugares aptos para la construcción y botadura de buques. Cuarto, se requiere financiamiento para apoyar la construcción de barcos que representan una inversión de capital considerable.

La escasez de material es grave, pero más aún lo es la falta de conocimiento científico. Tras la paridad tecnológica reinante en las potencias europeas del siglo XVIII y principios de XIX, la supremacía en la construcción naval británica estuvo íntimamente ligada al avanzado estado de la construcción de plantas propulsoras y no tanto a su capacidad de producir cascos de hierro y acero. Esta logró mantener su dominio hasta la Primera Guerra Mundial.

El despertar tecnológico de la Ilustración no sólo trae el avance de las ciencias, sino que también rompe una barrera real ante el conocimiento de la práctica de la construcción naval. Esta se encontraba reservada a los maestros constructores, o carpinteros de ribera, cuya sabiduría era compartida de manera tradicional en relación de binomio maestro-aprendiz o padres-hijos. Es, por tanto, que el arte y la ciencia de la construcción naval moderna son el resultado del ingenio de científicos a quienes debemos tanto el avance de la ciencia como la forma de interactuar con el mundo y de concebir la educación. Por ello, para poder apreciar la ingeniería naval moderna en el aprendizaje del oficio de Arquitecto Naval e Ingeniero

Marítimo, empleando la nomenclatura actual, la inclusión del conocimiento histórico se presenta, no como una ventaja, sino como una necesidad.

Es necesario puntualizar que, en algunas ocasiones, se ha tomado la preferencia extranjera frente al talento nacional. En casos tan llamativos como la incorporación de Gautier a la construcción naval española, a quien, a pesar de una trayectoria que no era especialmente brillante, se le otorgan unos poderes inauditos frente a constructores más experimentados como Jorge Juan; aunque, tal vez, necesario para acometer las imperiosas reformas que se le habían encomendado. Es común observar que, en la extensa bibliografía naval, las aportaciones a la construcción naval, desde el prisma europeo, parecen estar centradas en Francia e Inglaterra. Es ciertamente una visión sesgada del fascinante desarrollo de la construcción naval en la que la transferencia tecnológica fue constante y las diferentes técnicas que se aplicaron respondían a las necesidades y capacidades regionales. También es importante resaltar que, aunque la Ilustración acoge al despertar científico y con ella la aparición de la ingeniería naval moderna, esta es propiciada por la necesidad de exploración y la ambición de dominio del espacio descubierto.

Asimismo, este trabajo destaca que los nuevos materiales en la construcción naval no siempre cuentan con un origen técnico en el campo académico o formal, esto es especialmente evidente en la construcción de buques de hierro. Personalidades como Brunel traen la innovación tanto al campo naval como al civil, pero desde planteamientos más atrevidos. No debe sorprender al lector, cuando este ingeniero se posicionó en contra de las normas en la construcción con el pretexto de que podían llevar a una solución que distase de la óptima. En este trabajo se ha dado una gran importancia a las publicaciones y a la educación naval en general. La justificación es simple, esta es la base de la ciencia de la que hoy gozamos. Hubiese sido imposible incluir todas las publicaciones desde 1700, pero se ha tratado de que, mediante la selección por parte del autor, se percibiese el valor científico en el momento de su creación y su impacto en las generaciones posteriores de diseñadores y constructores navales.

España lideró los mares hasta el siglo XVIII, llegó a Trafalgar en una crisis económica que la sumió en un largo periodo de letargo tecnológico. A pesar de los múltiples intentos por devolver la gloria en los dos siglos posteriores, las continuas luchas internas y diversas crisis económicas debilitaron a España y a su marina. Es también una lección sobre la necesidad de proteger la base industrial frente a intereses extranjeros, pues estos pueden tener consecuencias inesperadas y

duraderas. De alguna manera, se puede entender el siglo XIX como el inicio del fin o del declive de la Marina Española, pero también como el inicio de las lecciones de superación. El impacto de las derrotas navales de San Vicente y Trafalgar es obvio, pero la escasez de recursos económicos y la voluntad política tuvieron un impacto mayor. A eso se le sumó la falta de personal, el bien más preciado, que se apoyaba en el impopular sistema de matrícula de mar.

El dominio marítimo, gracias a los materiales, es indudable, pero el apoyo gubernamental y el fomento de la iniciativa privada, científica y mercantil, se presentan como elementos imprescindibles para el crecimiento. La reflexión más importante que ofrece esta tesis, fuera de las claras influencias de los materiales destacados y de la naturaleza cíclica de la economía mundial, es la importancia de la defensa de la base industrial. De poco sirve la adquisición de unidades altamente especializadas si no existe una industria fiable para mantenerlas y replicarlas. Más aún, esta última resulta de extrema importancia para asegurar la soberanía nacional sobre la capacidad naval.

Asimismo, parece lógico pensar que los buques financiados por el erario público, y con destino de la defensa, no sólo deban ser construidos en los astilleros del país, sino que también empleen a proveedores nacionales a lo largo de toda la cadena de suministro.

A nivel estratégico, la construcción civil y militar debe estar alineada con las capacidades de construcción. Es decir, siguiendo con los acertados comentarios de Sir John Parker, la eficiencia está en el volumen y, por ende, el fomento de la construcción para consumo nacional y exportación debe ser una prioridad que sólo se consigue mediante una oferta competitiva. Aquí, indiscutiblemente, entran las políticas de fomento industrial que permitan la creación de capacidad, pero no un sobredimensionamiento de la industria. El mercado de construcción naval agrava las crisis debido al crecimiento desmedido de la capacidad, de los precios y de las prácticas comerciales y financieras cuestionables, lo que plantea desafíos significativos para la industria y requiere de acciones reguladoras y de política a nivel internacional. Como sector debe ser sufragado cuando su recuperación sea más onerosa, es decir, se debe evaluar el coste de mantenimiento frente al coste de sustitución.

Con China, las ambiciones marítimas occidentales se enfrentan a un reto sin precedentes, que podría reajustar la dinámica del poder naval, no solo en Asia, sino en todo el mundo. Esto es debido a las políticas gubernamentales que aspiran no

sólo al crecimiento de la flota, sino de la industria y de las rutas comerciales. Estas políticas, que se desarrollan a largo plazo, cimentan el crecimiento y la relevancia de su presencia naval.

En este trabajo se han mencionado variadas políticas y estrategias navales, pero de la que más se puede aprender es de la gestión de bosques. A pesar de la clara oposición de la población local y de personalidades a lo largo de los siglos, esta política, claramente intervencionista, era a largo plazo. Una manera de luchar contra la naturaleza cíclica de la industria naval es mediante estrategias con mayor temporalidad, cada vez más complicadas en un entorno político tan gravemente polarizado como el actual. Resulta necesario aportar claridad y orientación al futuro de la construcción naval y ofrecer seguridad. Una manera de estimular el crecimiento económico y la influencia exterior es mediante la modernización de la flota, la estimulación de la industria de construcción naval y la mejora de las capacidades de la defensa.

Es prioritario fomentar las capacidades nacionales de diseño e ingeniería en el sector de la construcción naval. Por tanto, es la protección de la base industrial la que debe primar sobre otras iniciativas como el control sobre la transferencia tecnológica. Con ello, no se debe caer en el error de pensar que la debida vigilancia no haya de ser observada, para que la tecnología y las infraestructuras críticas queden protegidas de adquisiciones extranjeras, debido a la multifacética naturaleza de la transferencia de tecnología. Es esencial que el gobierno, la academia y la industria establezcan un marco de trabajo colaborativo que sea autosuficiente, cubriendo financiación, objetivos de proyectos y recursos humanos. Se debe priorizar la proactividad para prevenir la adquisición extranjera de tecnologías e infraestructuras críticas. Aunque la colaboración internacional en estos programas permite que los costes y los riesgos queden compartidos y soportados por los socios, incluyendo los gastos derivados de la investigación y del desarrollo, gracias a la economía de escala, debe primar la economía de aprendizaje. En la construcción naval, la colaboración entre la Marina Mercante y la militar es esencial. Los programas de defensa enfrentan el desafío de equilibrar la innovación con costos sostenibles, pero es importante considerar su potencial con el fin de aportar beneficios económicos y tecnológicos a largo plazo, contribuyendo indirectamente a la seguridad nacional.

La influencia del sector académico en la seguridad nacional es significativa, especialmente en la investigación de tecnologías críticas. Al establecer programas de investigación y desarrollo, se debe considerar esta relación. Pese a que los

estudiantes e investigadores extranjeros son vitales para el avance tecnológico y sirven como herramientas de diplomacia pública, es crucial establecer políticas globales para evitar la fuga de información sensible. Del mismo modo, retener a estos talentos debe ser una prioridad. En cuanto a los objetivos globales, como la estrategia OMI 2050, para reducir emisiones de gases de efecto invernadero, se necesita una colaboración transnacional, más allá de las metas individuales de cada país. Proyectos en áreas como estas requieren cooperación a todos los niveles y un intercambio fluido de información entre el gobierno, la industria y el mundo académico.

El propio título queda, de alguna manera, negado por las reflexiones que se derivan del análisis presentado; no es una evolución desde la óptica darwinista. Los buques no tienen descendencia, sino que responden a las necesidades impuestas por la sociedad y se desarrollan como procesos de adaptación en el medio desde los materiales accesibles. La evolución de las flotas europeas es una respuesta a la clara interconexión entre el comercio y la marina. Por tanto, entran en el contexto de las estrategias comerciales y económicas como son el mercantilismo y la competencia por el espacio marítimo. Este trabajo aborda el desarrollo de la construcción naval desde el prisma español, mostrando cómo los avances en materiales han impulsado esta industria y han establecido la estrecha relación entre los recursos disponibles y la construcción naval. En el ámbito militar, la construcción naval ha servido como herramienta diplomática y económica, destacando su importancia en la política exterior y en la influencia global de las potencias marítimas. Se hace preciso resaltar que los casos de transferencia tecnológica en este campo han tenido impactos notables a nivel nacional e internacional siendo abordados en el presente trabajo.

La integración de la ciencia en la construcción naval ha resultado en la optimización de los recursos humanos y materiales, una medida crucial frente a la actual crisis ambiental. Es evidente la necesidad de incorporar al sector naval en la revolución industrial moderna, aunque esto implica el significativo desafío de capacitar adecuadamente a la fuerza laboral en tecnologías emergentes como sensorización, automatización e inteligencia artificial. Se debe evitar la desconexión entre la adquisición de herramientas avanzadas y la formación adecuada del personal que las utilizará. La Industria 4.0, al mejorar la eficiencia y la gestión de recursos, contribuye a la reducción del consumo de materiales y energía. Sin embargo, esto trae consigo retos, como la dependencia de materiales escasos y la imperiosa necesidad de fortalecer la ciberseguridad. Avances en

digitalización y robótica están liderando la reducción de costos y de riesgos laborales. La implementación de herramientas digitales, como el uso de CAD desde las fases iniciales de diseño, se ha vuelto esencial para la eficiencia y sostenibilidad en la construcción naval, alineándose así con las prácticas medioambientales y los objetivos de desarrollo sostenible.

Una aportación derivada de la colaboración interinstitucional durante el proceso de investigación ha sido la revelación del navío Vittorio como ejemplo de transferencia tecnológica, el cual se desarrolló de manera encubierta, y de su única reproducción conocida. Esta, de alguna manera, entra en conflicto con las anteriores consideraciones del Blasco de Garay como primer buque militar contratado por una fuerza extranjera en el Reino Unido.

Durante el transcurso de la investigación, se han obtenido referencias históricas que aportan evidencias sobre la cantidad de madera requerida en la construcción de los buques. Estas han venido tanto de informes de los constructores navales, de cronistas y de estudiosos. Para este trabajo se ha considerado que utilizar esas referencias no aportaba valor a la exposición, debido a que se espera que estudios posteriores completen las deficiencias que un análisis general tendría. Por tanto, se sugiere el cálculo detallado de todos los elementos, tomando en consideración la sensibilidad de las especies empleadas y de los procesos de corte, transporte y preparación de las piezas. Posteriormente, para conocer el consumo real de madera, se deberá extraer de la cubicación de los árboles empleados.

No se ha ahondado en los detalles constructivos de los buques desde el siglo XX, en los que las diferentes soluciones para reducir el escantillonado, refuerzos y otros elementos estructurales, han permitido un uso racional del acero y otros materiales. Esto se debe a que son una respuesta económica más que de disponibilidad y existe amplia literatura que versa sobre la optimización estructural. Es, por ello, que un trabajo con ambición completista podría desarrollar el perfeccionamiento estructural. Adicionalmente, las fuentes empleadas han sido mayoritariamente texto escrito, en las que las imágenes han aportado un apoyo al trabajo de los diversos creadores. El autor considera que una línea futura de investigación será la investigación de fuentes pictóricas que respalden los análisis expuestos acerca del progreso de la construcción naval, en particular, los primeros 150 años el periodo que comprende este trabajo.

La historia naval de España refleja un desarrollo complejo y significativo, mientras que, en los siglos XVI a XVIII, la política naval de España se centró en fortalecer

su flota para la defensa y expansión del Imperio, por medio de la introducción de diseños innovadores como galeones y navíos de línea. El siglo XIX fue un periodo de declive debido a conflictos y crisis, y a la lenta adaptación del hierro y del vapor al igual que a los esfuerzos por lograr una paridad tecnológica. El siglo XX vio una importante modernización y expansión, culminando con España como una potencia naval competitiva a nivel internacional. Este desarrollo histórico refleja la evolución de la industria naval española en respuesta a cambios políticos, tecnológicos y económicos a lo largo de los siglos. El siglo XXI, del que se ha cubierto casi un cuarto, en el momento de escribir este trabajo, nos enfrenta a nuevos desafíos, tanto en los límites de crecimiento industrial de la tierra como en los generados por la propia sociedad con las regulaciones medioambientales y con el equilibrio económico y comercial de las potencias marítimas.

Es, por ello, que este trabajo ha tratado de favorecer una visión holística de la construcción naval que permita a otros investigadores enriquecer esta área de conocimiento.

"Vous êtes tombés dans une méprise regrettable, vous avez cru faire une économie d'argent, c'est une économie de gloire que vous faites"[388]

Conclusions

The excerpt from a speech by Victor Hugo (1802-1885) that adorns the title reinforces the spirit of this concluding chapter. The promotion of education, in this particular case naval education, is the key to the "glory" alluded by the author.

This thesis originated as quest to identify construction patterns caused by material scarcity, whose existence has been adequately documented. Nevertheless, in many cases, at least until the 19th century, it was satisfied with domestic consumption or overseas territories, as in the case of Spain. As iron and steel and mechanical propulsion became more widespread, it led to a dependency which, although in some periods may be considered to be greater or lesser, continues to this day. The international nature of the maritime industry, as well as the pursuit of lower production costs, have created a fragile balance of supply which reflects this dependence.

The dependency on materials was recognized early on, notably with a primary example of their importation in Ancient Egypt. Egyptian carpentry was marked by the importation of wood; while there were some native species, they did not meet the consumption needs and required properties. Changes in the supply of raw materials and transport systems are key to understanding economic development. Particularly, the Industrial Revolution highlighted how the transition from organic to inorganic resources could catapult the potential for industrial growth, and with it, societies. The transformation in the supply of raw materials changed industrial advancement, challenging previous economic theories. With the rising prices of wood due to scarcity, coal usage was promoted as an alternative, significantly impacting industries like shipbuilding. Coal's availability provided energy to various industries and fostered innovations such as the steam engine, radically transforming manufacturing processes and transportation.

The concept of growth limits has evolved from concerns over the depletion of natural resources, a notion present since the Enlightenment and early classical economists. These scholars recognised that the earth and its finite resources could

[388] Fragment of the address by Victor Hugo to the Constituent Assembly, 10 November 1848 in response to proposals to reduce the special budget for science, literature, and the arts. Which translates to "You have made a regrettable mistake: you thought you were saving money, but you are actually saving glory".

become a limit to economic growth and demographic expansion. However, the contemporary focus on growth limits transcends mere resource depletion. It incorporates broader considerations of the planet's carrying capacity, environmental sustainability, and climate change consequences. This shift in perception reflects a deeper understanding of the interactions between human and natural systems and growing concern over the long-term implications of the prevailing development model. The maritime industry must therefore be included in the circular economy.

A substantial portion of this thesis deals with wood ("madera" in spanish). The importance of wood, as a basic construction element, is also reinforced by its etymology, originating from the Latin "materia" as a general concept. Throughout history, the relationship between humans and forests has been intricate. The most significant human impacts on forests arose from the need for land and wood, often intensified during times of war. For centuries, wood was vital for fortifications and warships, making access to certain types of forests crucial. This dependence altered forests in terms of species composition and size. By the late 19th century, advancements in weaponry and construction, along with the introduction of iron and steel ships, reduced the strategic importance of wood. However, forests did not lose their significance, as they continue to play an important role in armed conflicts and in rural communities.

The interplay between prices, resource availability, and technological innovation thus became the driving force behind the profound economic changes during the Industrial Revolution. As centuries progressed, metals began to gain greater importance, marking a major transition in shipbuilding. In France, this increase was reflected in the doubling of metallic elements onboard from the mid-17th to the 18th century. This rise in weight and cost reflects the growing dependence on metallic materials in shipbuilding, driven by the need for stronger, more heavily armed, and more durable ships for naval warfare. This change in materials and techniques significantly influenced naval design and the development of the metallurgical industry at the time.

The victorious powers of World War II, particularly the American and English, initially enjoyed an advantage due to their fleet and construction capacity. However, their construction was based on labour-intensive practices inherited from previous decades that began to fall behind new competitors. Japanese shipyards, with more efficient processes and a focus on standardised designs, changed the industry landscape. After decades of Japanese leadership, despite its

less competitive steel industry, Japan was overtaken by the modern and efficient shipyards of South Korea, whose leadership has been shared with China, while Western shipbuilding has been relegated to warships and other specialized vessels. Manufacturing and design techniques have been the differentiating factor, which, despite the importance of steel prices, have allowed the tonnage leadership of Eastern competitors. From World War II to the early 21st century, the shipbuilding industry experienced several boom-and-bust cycles. Despite changes in technology and the global economy, steel has remained the main material in ship construction, playing a crucial role in the industry's evolution and adaptation to changing challenges and opportunities.

The shipbuilding industry, a vital sector for global trade and the maritime economy, faces significant challenges marked by imbalances between supply and demand, as well as the influence of government policies. The maritime industry has historically been cyclical, with periods of high demand followed by times of excess capacity. This pattern has been exacerbated in recent decades due to factors such as fluctuations in the global economy, changes in trade routes, and the volatility of demand for specific types of ships. As a result, the industry has experienced significant overproduction, leading to a decrease in ship prices and negatively affecting overall profitability. Government policies have played a fundamental role in this dynamic. In an effort to support their national industries, various governments have implemented measures such as direct subsidies, loans with favourable conditions, and other forms of financial assistance. These policies, while vital for the survival of national shipyards, have contributed to market overcapacity and distorted competition. In the field of merchant shipping, the growth of global trade along with new environmental regulations create a need for shipyards to anticipate their capacity for these new demands. Countries like China, South Korea, and Japan have dominated the industry, but face challenges related to overcapacity and competitive pressures. Ideally, stronger international cooperation is required to achieve a more sustainable balance in the industry and control overcapacity. A balanced and sustainable shipbuilding industry is crucial not only for the global economy but also for the environment and society in general. The adoption of well-designed strategies and international cooperation will be key to ensuring a more promising future for this fundamental industry.

From ancient times, the creation of a prosperous shipbuilding industry has been intrinsically linked to various critical factors. First, it is imperative to have a consolidated maritime tradition that internalises ship design and construction

knowledge, as well as mastery of the relevant advanced technological knowledge of the time. Second, it is vital to have access to raw materials, such as wood, metals, or hemp, at affordable costs. Third, suitable locations for ship construction and launching are crucial. Fourth, financing is required to support shipbuilding, which demands a considerable capital investment.

Material scarcity is serious, but even more so is the lack of scientific knowledge. After the technological parity prevailing among European powers in the 18th and early 19th centuries, British naval construction supremacy was closely linked to its advanced state of propulsion plant construction, rather than its ability to produce iron and steel hulls. This dominance was maintained until World War I.

The technological awakening of the Enlightenment not only brought advances in science but also broke a real barrier to knowledge of naval construction practice. This was reserved for master builders, or shipwrights, whose wisdom was traditionally shared in a master-apprentice or father-son relationship. Therefore, the art and science of modern shipbuilding are the result of the ingenuity of scientists to whom we owe both the advancement of science and the way we interact with the world and conceive education. Therefore, to appreciate modern naval engineering in learning the trades of Naval Architecture and Marine Engineering, using current nomenclature, the inclusion of historical knowledge is presented, not as an advantage, but as a necessity.

It should be noted that, on some occasions, foreign preference has been taken over national talent. In cases as striking as the incorporation of Gautier in Spanish naval construction, who, despite a career that was not especially brilliant, was given unheard-of powers over more experienced constructors like Jorge Juan. Perhaps necessary to undertake the vital reforms that had been entrusted to him. It is common to observe that, in the extensive naval bibliography, the contributions to shipbuilding from the European perspective seem centred on France and England, it is certainly a biased view of the fascinating development of shipbuilding in which technological transfer was constant and the different techniques applied responded to regional needs and capabilities. It is also important to highlight that although the Enlightenment embraces the scientific awakening, and with it the emergence of modern naval engineering, this is prompted by the need for exploration and the ambition to dominate the discovered space.

Also, this work highlights that the origin of new materials in shipbuilding has had a non-technical origin in the academic or formal sense. This is especially evident in the construction of iron ships. Personalities like Brunel brought innovation to both the naval and civil fields, but from more daring approaches. It should not surprise the reader when he was against the norms in construction with the pretext that they can lead to a solution that is far from optimal. In this work, great importance has been given to publications and naval education in general. The justification is simple, this is the basis of the science we enjoy today. It would have been impossible to include all publications since 1700, but an attempt has been made to ensure that, through the author's selection, the scientific value at the time of their creation and their impact on subsequent generations of designers and naval builders could be perceived.

Spain ruled the seas until the 18th century, arriving at Trafalgar in an economic crisis that plunged it into a long period of technological lethargy. Despite multiple attempts to restore glory in the following two centuries, continuous internal struggles and various economic crises weakened Spain and its navy. It is also a lesson on the need to protect the industrial base against foreign interests, which can have unexpected and lasting consequences. In some ways, the 19th century can be seen as the beginning of the end or the decline of the Spanish navy, but also the beginning of lessons in overcoming. The impact of the naval defeats of San Vicente and Trafalgar is obvious, but the scarcity of economic resources and political will had a greater impact. This was compounded by the lack of personnel, the most precious asset, which relied on the unpopular system of maritime conscription ("matrícula de mar").

Maritime dominance, thanks to materials, is obvious, but government support and the promotion of private, scientific, and commercial initiatives are presented as essential elements for growth. The most important reflection offered by this thesis, apart from the clear influences of the highlighted materials and the cyclical nature of the global economy, is the importance of defending the industrial base. Little use is the acquisition of highly specialized units if there is no reliable industry to maintain and replicate them. Moreover, it is of utmost importance to ensure national sovereignty over naval capacity.

It also seems logical to think that ships financed by public funds and destined for defence should not only be built in the country's shipyards but also employ national suppliers throughout the supply chain. Strategically, civil, and military construction must be aligned in construction capabilities. That is, following Sir

John Parker's accurate comments, efficiency is in volume and, therefore, the promotion of construction for domestic consumption and export must be a priority that can only be achieved through a competitive offer. Here undoubtedly enter industrial promotion policies, which allow the creation of capacity but not an oversizing of the industry.

The shipbuilding market exacerbates crises due to excessive growth in capacity, prices, and questionable commercial and financial practices, posing significant challenges to the industry and requiring regulatory and policy actions at an international level. As a sector it must be subsidised when its recuperation is more onerous. In other words, the cost of maintenance should be assessed against the cost of replacement.

With China, Western maritime ambitions face an unprecedented challenge that could readjust the dynamics of naval power, not only in Asia but around the world. This is due to government policies that aspire not only to fleet growth but also to the industry and trade routes. These long-term policies lay the groundwork for the growth and relevance of their naval presence.

In this work, various naval policies and strategies have been mentioned, but the one that can be learned the most from is forest management. Despite the clear opposition of the local population and personalities over the centuries, this openly interventionist policy was long-term. One way to fight against the cyclical nature of the naval industry is through long-term strategies, increasingly complicated in a political environment as severely polarized as the current one. It is necessary to provide clarity and guidance for the future of shipbuilding and offer security. One way to stimulate economic growth and foreign influence is through the modernization of the fleet, the stimulation of the shipbuilding industry, and the improvement of defense capabilities.

It is a priority to promote national design and engineering capabilities in the shipbuilding sector. Therefore, the protection of the industrial base must take precedence over other initiatives such as control over technology transfer. With this, one should not fall into the error of thinking that due surveillance should not be observed, so that technology and critical infrastructures are protected from foreign acquisitions, due to the multifaceted nature of technology transfer. It is essential that the government, academia, and industry establish a collaborative work framework that is self-sufficient, covering funding, project objectives, and human resources. Proactivity should be prioritized to prevent foreign acquisition

of critical technologies and infrastructures. Although international collaboration in these programs allows costs and risks to be shared and borne by partners, including research and development expenses, thanks to economies of scale, the economy of learning must prevail. In shipbuilding, collaboration between merchant and military shipping is essential. Defense programs face the challenge of balancing innovation with sustainable costs, but it is important to consider their potential to contribute economic and technological benefits in the long term, indirectly contributing to national security.

The influence of Academia on national security is significant, especially in the research of critical technologies. When establishing research and development programs, this relationship must be considered. Although foreign students and researchers are vital for technological advancement and serve as tools for public diplomacy, it is crucial to establish global policies to prevent the leakage of sensitive information. Likewise, retaining these talents should be a priority. As for global objectives, such as the IMO 2050 strategy to reduce greenhouse gas emissions, transnational collaboration is needed, beyond the individual goals of each country. Projects in areas like these require cooperation at all levels and a fluid exchange of information between government, industry, and academia.

The title itself is somewhat contradicted by the reflections elicited from the analysis presented, as it is not an evolution in the Darwinian sense. Ships do not reproduce, but rather respond to societal needs and develop as an adaptive process in the environment using available materials. The evolution of European fleets is a response to the clear interconnection between commerce and naval power. Thus, they fit within the context of commercial and economic strategies, such as mercantilism and competition for maritime space. This work addresses the development of naval construction from a Spanish perspective, demonstrating how advances in materials have propelled this industry and established a close relationship between available resources and naval construction. In the military realm, naval construction has served as a diplomatic and economic tool, underscoring its importance in foreign policy and the global influence of maritime powers. It is necessary to highlight that cases of technological transfer in this field have had notable impacts at both national and international levels, as discussed in this work.

The integration of science into naval construction has resulted in the optimization of human and material resources, a crucial measure against the current environmental crisis. There is a clear need to incorporate the naval sector into the

modern industrial revolution, although this entails the significant challenge of adequately training the workforce in emerging technologies such as sensorisation, automation, and artificial intelligence. The disconnect between the acquisition of advanced tools and the proper training of personnel to use them must be avoided. Industry 4.0, by improving efficiency and resource management, contributes to the reduction of material and energy consumption. However, this also brings challenges, such as the dependence on scarce materials and the urgent need to strengthen cybersecurity. Advances in digitalization and robotics are leading to reduced costs and occupational risks. The implementation of digital tools, such as the use of CAD from the initial design phases, has become essential for efficiency and sustainability in naval construction, aligning with environmental practices and sustainable development goals.

A contribution derived from cross-institutional collaboration during the research process has been the uncovering of the ship Vittorio as an example of technology transfer, which was developed covertly, and of its only known reproduction. This, to some extent, conflicts with earlier considerations of the "Blasco de Garay" as the first military ship contracted by a foreign force in Great Britain.

During the course of the research, historical references have been obtained that provide evidence about the amount of wood required in the construction of ships. These have come from reports of naval builders, chroniclers, and scholars. For this work, it was considered that using these references did not add value to the exposition, as it is expected that subsequent studies will complete the deficiencies that a general analysis would have. Therefore, it is suggested to perform a detailed calculation of all the elements, considering the sensitivity of the species used and the processes of cutting, transporting, and preparing the pieces. Subsequently, to understand the actual consumption of wood, the cubic measurement of the trees used must be determined.

The constructive details of ships since the 20th century, where various solutions to reduce scantlings, reinforcements, and other structural elements, have allowed a rational use of steel and other materials, have not been delved into. This is because they are more of an economic response than of availability, and there is extensive literature on structural optimisation. Therefore, a work with completist ambition could delve into structural refinement. Additionally, the sources used have been primarily written text, where images supported the work of various authors. The author considers that a future line of research is the study of pictorial sources that

support the analyses of the progress of naval construction exposed. In particular, the first 150 years of the period covered by this work.

The naval history of Spain reflects a complex and significant development. In the 16th to 18th centuries, Spain's naval policy focused on strengthening its fleet for defense and expansion of the empire, introducing innovative designs such as galleons and ships of the line. The 19th century was a period of decline due to conflicts and crises, and the slow adaptation of iron and steam, as well as efforts to achieve technological parity. The 20th century saw significant modernization and expansion, culminating with Spain as a competitive naval power internationally. This historical development reflects the evolution of the Spanish naval industry in response to political, technological, and economic changes over the centuries. The 21st century, of which nearly a quarter has been covered at the time of writing this work, presents us with new challenges, both in the limits of industrial growth of the earth and those generated by society itself with environmental regulations, the economic and commercial balance of maritime powers.

Therefore, this work has sought to favour a holistic view of naval construction that that will allow other researchers to enrich this field of study.

Referencias

Aarnio, M. (2000). Early 3-D Ship Models Enables New Design Principles and Simulations. *1st International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT).* Potsdam, Germany.

Academia Española. (1933). *Diccionario histórico de la lengua española. Tomo I.* Madrid : Imprenta de librería y casa editorial Hernando (S.A.).

Acemoglu, D., & al. (2012). A Dynamic Theory of Resource Wars. *The Quarterly Journal of Economics*, 283-331.

Achzet, H., & Helbig, C. (2013). How to evaluate raw material supply risks—an overview. *Resources Policy*, 435-447.

Adams, K. A. (1971). Blue Water Rafting. *Forest & Conservation History, Volume 15, Issue 2*, 16-27.

Albion, R. G. (1926). *Forests & Sea Power: The Timber Problem of the Royal Navy 1652-1862.* Cambridge: Harvard University Press.

Alfaro Zaforteza, C. (2012). Sea Power and Technology Transfer: The Spanish Navy and the Thames Shipyards, 1844-1850. En R. Owen, *Shipbuilding and Ships on the Thames: Proceedings of the Fourth Symposium* (pp. 97-109). London: Lavenham Press.

Alfaro Zaforteza, C. (2020). El Cuerpo de Ingenieros y la reconstrucción de la Armada durante el reinado de Isabel II. *Revista general de marina, Vol. 279*, 359-372.

Allen, R. C. (1979). International Competition in Iron and Steel, 1850-1913. *The Journal of Economic History. Vol. 39, No. 4*, 911-937.

Allen, R. C. (2001). The Great Divergence in European Wages and Prices from the Middle Ages to the First World War. *Explorations in Economic History*, 411-447.

Allevato, E., Elda Ermolli, R., & di Pasquale, G. (2009). Woodland exploitation and Roman shipbuilding. *Méditerranée, 112*, 33-42.

Álvarez-Maldonado Muela, R. (2012). Planes y Construcciones Navales desde el final de la Guerra Civil hasta 2012. *Revista General de Marina*, 299-320.

Álvarez-Nogal, C., & Prados de la Escosura, L. (2013). The Rise and Fall of Spain (1270-1850). *The Economic History Review*, 1-37.

Alzola y Minondo, B. d. (1894). *Las Primas a la construcción naval y a la navegación. Estudio relativo a los recursos de que la industria nacional dispone para las Construcciones y Armamentos Navales.* Bilbao: Imprenta de la Casa de Misedicordia.

Anca Alamillo, A. (2004). *Historia de la armada española del primer tercio del siglo XIX: importación versus fomento (1814-1835).* Madrid: Instituto de Historia y Cultura Naval.

Anca Alamillo, A. (2010). El primer vapor de la Armada Española. *Revista general de marina. Vol. 259*, 613-618.

Andrews, D. (2018). The Sophistication of Early Stage Design for Complex Vessels. *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects. Int. J. Marit. Eng., 160*, 1-72.

Apestegui, C. (1998). *La arquitectura naval entre 1660 y 1754. Aproximación a los aspectos tecnológicos y su reflejo en la construcción en Guipúzcoa.* Donostia: Diputación foral de Guipuzkoa.

Apestegui, C. (2001). Arquitectura y construcción navales en la España Atlántica, el siglo XVII y primera mitad del XVIII. Una nueva sistematización. *Trabalhos de Arqueologia 18 - Proceedings. International Symposium on Archaeology of Medieval an Modern Ships of Iberian-AtlanticTradition. Hull remains, manuscripts and ethnographic sources* (pp. 163-212). Lisboa: Instituto Portugués de Arqueología.

Aragón Ruano, Á. (2001). *El bosque guipuzcoano en la Edad Moderna.* Donostia: Aranzadi Zientzia Elkartea.

Aragón Ruano, Á. (2019). "Ríos de madera". Recursos forestales e hídricos para la Real Armada durante el siglo XVIII en Guipúzcoa y Navarra. *Tiempos modernos: Revista Electrónica de Historia Moderna*, 426-455.

Aragon Ruano, A., Reichert, R., & Wing, J. (2019). Maderas para el rey: avances, resultados, propuestas. *Ohm : Obradoiro De Historia Moderna, (28)*, 7-26.

Aranda y Antón, G. d. (1999). *La carpintería y la industria naval en el siglo XVIII.* Madrid: Instituto de Historia Naval.

Artíñano y de Galdácano, G. d. (1920). *La arquitectura naval española.* Madrid: El Autor.

ARUP. (2019). *Rethinking Timber Buildings.* London: ARUP.

Åström, S.-E. (1970). English timber imports from Northern Europe in the eighteenth century. *Scandinavian Economic History Review, 18:1*, 12-32.

Attman, A. (2011). The Russian market in world trade, 1500-1860. *Scandinavian Economic History Review* , 177-202.

Bagwell, P. (1988). *The Transport Revolution 1770-1985.* London: Routledge.

Bakeless, J. E. (1921). *The Economic Causes of Modern War: A Study of the Period: 1878-1918.* New York: Moffat, Yard and company.

Baldwin, D. (1980). Interdependence and Power: A Conceptual Analysis. *International Organization, Vol. 34, No. 4, 34*(4), 471-506.

Baldwin, D. (2020). *Economic Statecraft: New Edition.* Princeton: Princeton University Press.

Bamford, P. W. (1956). *Forests and French Sea Power: 1660-1789.* Toronto: University of Toronto Press.

Barlow, P. (1824). *An essay on magnetic attractions, and on the laws of terrestrial and electro magnetism.* London: J. Mawman & J. Taylor.

Barlow, P. (1867). *A treatise on the strength of materials.* London: Lockwood.

Barua, S., & et. al. (2018). Environmental hazards associated with open-beach breaking of end-of-life ships: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25:30880-30893.

Basch, L. (1972). Ancient Wrecks and the Archaeology of Ships. *International Journal of Nautical Archaeology*, 1-58.

Baudot Monroy, M. (2013). Asientos y política naval. el suministro de víveres a la armada al inicio de la guerra contra Gran Bretaña, 1739-1741. *Studia Historica. Historia Moderna*, 127-158.

Baudot Monroy, M. (2018). "Navíos, Navíos, Navíos". La Política Naval de Julián de Arriaga, (1754-1759). In J. Marchena, & J. Cuño, *Vientos de guerra. Apogeo y crisis de la Real Armada, 1750-1823* (pp. 1-34). Sevilla: Editorial Doce Calles.

Beatty, F. (1955). The Scientific Work of the Third Earl Stanhope. *Notes and Records of the Royal Society of London, 11(2)*, 202-221.

Beckerman, W. (1972). Economists, Scientists, and Environmental Catastrophe. *Oxford Economic Papers 24 (3)*, 327-344.

Belov, A. (2014). A new construction type from Ship 17, Thonis-Heracleion. *International Journal of Nautical Archaeology, 43*, 314-329.

Bennett, J. (2009). *Sailing into the Past - learning from replica ships.* Barnsley: Seaforth Publishing.

Betts, R. K. (2000). Is Strategy an Illusion? *International Security, 25(2)* , 5-50.

Biescas Ferrer, J. (1989). La economía española durante el periodo franquista. *Gerónimo de Uztariz*, 65-76.

Bing-Fu, C., & Liming, Z. (2006). The Determinants of China's Defense Expenditure Before and After Transition. *Conflict Management and Peace Science, 23:3*, 227-244.

Bitomsky, J., & al. (2022). Digital Enterprise Platform-Enabling Efficient CAD, PLM, ERP Integration on Shipyards. *20th International conference on computer applications in shipbuilding ICCAS* (pp. 49-57). Yokohama, Japan: The Royal Institution of Naval Architects.

Black, J. (2005). *Introduction to Global Military History: 1775 to the Present Day.* Abingdon: Routledge.

Blumenthal, T. (1976). The Japanese Shipbuilding Industry. In H. Patrick, *Japanese Industrialization and Its Social Consequences* (pp. 129-160). Berkeley: University of California Press.

BOE. (1941, Septiembre 25). Ley de 25 de Septiembre de 1941 por la que se crea el Instituto Nacional de Industria. *Boletín Oficial del Estado. Jefatura del Estado*. Madrid.

Borges, L. (2014). Biodegradation of wood exposed in the marine environment: Evaluation of the hazard posed by marine wood-borers in fifteen European sites. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 97-104.

Bowen, F. C. (1938). The Shipbreaking Industry. In C. Winchester, *Shipping Wonders of the World.* London: Amalgamated Press.

Broadbridge, S. (1977). Shipbuilding and the State in Japan since the 1850s. *Modern Asian Studies*, 601-13.

Brown, D. K. (2015). *Before the Ironclad: Warship Design and Development, 1815-1860*. Barnsley: Seaforth Publishing.

Brown University. (2011). An Introduction to Maritime Archaeology Lectures. Joukowsky Institute for Archaeology and the Ancient World. Providence, Rhode Island.

Browning, B. (1879, December). The Canal Boats Act, 1877. *The British Medical Journal*, 1046.

Buell, A. C. (1906). *The memoirs of Charles H. Cramp.* Philadelphia and London: J. B. Lippincott Company.

Busch, J., & Engelmann, J. (2017). Cost-effectiveness of reducing emissions from tropical deforestation, 2016-2050. *Environmental Research Letters, 13*(1).

Busquets Artigas, J., de la Fuente de Pablo, P., & Pujol i Hamelink, M. (2013). Un informe sobre silvicultura de Jorge Juan (1763). *Actas del I Congreso de Arqueología Naútica y Subacuática Española* (pp. 495-498). Cartagena: Arqueología Subacuática Española.

Bustos Rodríguez, M. (2017). El traslado de la Casa de la Contratación y del Consulado de Indias y sus efectos en el contexto de la nueva planta de la Marina y del comercio americano. *Studia Historica: Historia Moderna, 39(2)*, 115-152.

CA. (2012). Finding HMS Namur: Solving the mystery of the ship beneath the floor. *Current Archeology. 273. December.*, 12-19.

Cable, J. (1981). *Gunboat Diplomacy, 1919-79 Political Applications of Limited Naval Force .* New York: Palgrave Macmillan.

Cabrera de Aizpuru, F. (2003). *Modelos teóricos y métodos de cálculo para el comportamiento estructural de los navíos construidos a la española y a la inglesa (1710-1760).* Madrid: E.T.S.I. Navales (UPM).

Cameron, R., & Neal, L. (2005). *Historia económica mundial desde el Paleolítico hasta el presente.* Madrid: Alianza Editorial.

Carriazo Ruiz, J. (1999). El término fragata en el paso del español clásico al moderno. *Revista de lexicografía*, 33-44.

Carrillo Castillo, B. (2001). *Boats of the World.* Oxford, New York: Sean McGrail.

Casals Costa, V. (2005). Conocimiento científico, innovación técnica y fomento de los montes durante el siglo XVIII. In Manuel Silva Suárez, *El Siglo de las luces : de la industria al ámbito agroforestal* (pp. 453-500). Zaragoza: Real Academia de Ingeniería .

Casson, L. (1963). Ancient Shipbuilding: New Light on an Old Source. *Transactions of the American Philological Association*, 28-33.

Cervera Pery, J. (1979). *Marina y política en la España del siglo XIX.* Madrid: Editorial San Martín.

Cervera Pery, J. (2012). La sociedad española de construcción naval (1909-1939). Treinta años de esfuerzos compartidos. *Revista general de marina, Vol. 263*, 228-240.

Chang, Y.-C. (2018). The '21st Century Maritime Silk Road Initiative' and naval diplomacy in China. *Ocean and Coastal Management*(153), 148-156.

Chapman, F. H. (1820). *A Treatise on Ship-Building, with Explanations and Demonstrations Respecting the Architectura Navalis Mercatoria.* Cambridge: J. Smith.

Churruca, C. D. (1805). *Instruccion sobre punterias, para el uso de los baxeles del rey.* Madrid: Imprenta Real.

Clark, G. (2003). The price history of English agriculture, 1209-1914. *Research in Economic History*, 41-123.

Coates, P., & al. (2011). Defending Nation, Defending Nature? Militarized Landscapes and Military Environmentalism in Britain, France, and the United States. *Environmental History, 16(3)*, 456-491.

Coello Lillo, J. L. (1991). *Buques de la Armada española. La ayuda americana y el programa de modernización.* Madrid: Aldaba Ediciones.

Colgan, J. D. (2013). Fueling the Fire: Pathways from Oil to War. *International Security, 38(2)*, 147-180.

Comisión Europea. (2020). *Resiliencia de las materias primas fundamentales: trazando el camino hacia un mayor grado de seguridad y sostenibilidad.* Bruselas: Comisión Europea.

Couser, P., & al. (2009). Hypothetical Reconstruction of an Ancient Egyptian Sea-Going Vessel from the Reign of Hatshepsut, 1500BCE. *Historic Ships Conference.* London: The Royal Institution of Naval Architects.

Cramp, C. (1894). *American Shipbuilding and Commercial Supremacy and other papers.* Philadelphia: Moyer & Lesher.

Creasman, P. (2006). Ship Timber: Forests and Ships in the Iberian Peninsula during the Age of Discovery. *2006 Symposium Annual Meeting of the Society for Historical Archaeology* (pp. 235-248). Casal de Cambra: Caleidoscópio.

Creasman, P. P. (2013). Ship Timber and the Reuse of Wood in Ancient Egypt. *Journal of Egyptian History, 6(2)*, 152-176.

Creasman, P. P. (2015). Exposing Ancient Egyptian Shipbuilders' Secrets. In C. Graves-Brown, *Egyptology in the Present* (pp. 13-38). Swansea: Classical Press of Wales.

Crespo Solana, A. (2017). La intendencia de marina y el «gobierno de la contratación»: el sueño naval de José Patiño y Rosales (1717-1736). *Studia Historica: Historia Moderna, 39(2)*, 75-114.

Croumbie Brown, J. (1883). *French forest ordinance of 1669; with historical sketch of previous treatment of forests in France.* Edinburgh: Oliver and Boyd.

Crouzet, F. (1964). Wars, Blockade, and Economic Change in Europe, 1792-1815. *The Journal of Economic History, Vol. 24*, 567-588.

Csernatoni, R. (2021). *The EU's Defense Ambitions: Understanding the Emergence of a European Defense Technological and Industrial Complex.* Bruselas: Carnegie.

Cubel, A. (1994). Los efectos del gasto del Estado en la industria de construcción naval militar en España, 1887-1936 . *Revista de historia industrial*, 93-120.

Cubeles, A., Moreno Navarro, I., & Nadal i Roma, E. (2012). Noves descorbertes arqueològiques a la Drassana Reial de Barcelona. *Revista de Catalunya*, 117-139.

Daly, A., Domínguez-Delmás, M., & van Duivenvoorde, W. (2021). Batavia shipwreck timbers reveal a key to Dutch success in 17th-century world trade. *PLOS ONE 16(10): e0259391.*

Davies, C. (1965). The Administration of the Royal Navy under Henry VIII: The Origins of the Navy Board. *The English Historical Review, vol. 80, no. 315*, 268-288.

Davies, P. N. (1985). The Rise of Japan's Modern Shipping Industry. *Australian Association for Maritime History*, 45-56.

Davies, P. N. (2009). The Writings of Peter N. Davies. In *The Development of the Japanese Shipping Industries in the Post-War Era* (pp. 82-99). Liverpool: Brill.

de Aranda Antón, G. (1999). *La carpinteria y la industria Naval en el siglo XVIII.* Madrid: Cuadernos Monográficos del Instituto de Historia Naval N° 33.

de Aranda, G. (1990). *Los bosques flotantes: historia de un roble del siglo XVIII.* Madrid: ICONA.

de Bordeje y Morencos, F. (1989). La Marina durante la primera mitad del siglo XIX. *La España marítima del siglo XIX* (pp. 7-32). Madrid: Instituto de Historia y Cultura Naval.

de Gaztañeta e Iturribalzaga, A. (1992). *Arte de fabricar reales (edición comentada del manuscrito original).* Barcelona: Lunwerg.

de Juan Fuertes, C. (2017). Técnicas de arquitectura naval de la cultura fenicia. *SPAL: Revista de prehistoria y arqueología de la Universidad de Sevilla*, 59-86.

de la Torre del Río, R. (1991). Entre 1898 y 1914: La orientación de la política exterior española. *Política española y política naval tras el desastre (1900-1914)* (pp. 7-21). Madrid: Armada Española.

de Salas y Rodriguez, F. (1864). *Marina española de la Edad Media : bosquejo histórico de sus principales sucesos en relación con la historia de las Coronas de Aragón y de Castilla.* Madrid: T. Fortanet.

de Salas, J. (1864). *Marina española de la Edad Media. Tomo I.* Madrid: Establecimiento Tipográfico de T. Fortanet.

De Vore, M. R. (2011). The Arms Collaboration Dilemma: Between Principal-Agent Dynamics and Collective Action Problems. *Security Studies 20 (4)*, 624-662.

Defra. (2012). *Resource Security Action Plan: Making the most of valuable materials.* London: Department for Environment, Food and Rural Affairs.

Dewi, L. M., & al. (2020). Inventory of wooden ship materials and determination of its alternative materials through wood properties approach: case studies in the Riau Islands, the Northern and Southern Coast of Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 415*.

Díaz Lorenzo, J. C. (2018). *La construcción naval en España en el siglo XX (1900-1975). Vicisitudes y desafíos tecnológicos. El caso de Compañía Trasatlántica Española.* A Coruña: Universidad de La Coruña.

Díaz Ordóñez, M. (2019). Las nuevas periferias americanas en la circulación de cáñamo y jarcia para la construcción naval militar española en el siglo XVIII. *Magallánica : revista de historia moderna*, 181-202.

Dickson, M., & Parker, D. (2014). *Sustainable timber design.* Oxford: Taylor & Francis.

DoD. (2022). *State of Competition within the Defense Industrial Base.* Washington: Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition and Sustainment.

Dominguez-Delmas, M., Rich, S., Daly, A., Nayling, N., & Haneca, K. (2018). Selecting and Sampling Shipwreck Timbers forDendrochronological Research: practical guidance. *The International Journal of Nautical Archaeology*, 1-14.

Donoso, R. (1957). Autenticidad de las Noticias Secretas de América. *Revista de Historia de América, No. 44*, 279-303.

Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or Hype? *Industrial Electronics Magazine, IEEE, 8*(10.1109/MIE.2014.2312079), 56-58.

Ducoing, C., & Olsson-Spjut, F. (2021). The energy transition in the Swedish iron and steel sector, 1800-1939. *Journal of Energy History/Revue d'Histoire de l'Énergie*.

Echigo, K. (1958). Development of Postwar Japanese Shipbuilding Industry and Revival of Monopoly—Particularly, Problems of Rationalization and Grouping in the Industry. *Kyoto University Economic Review, 28(2)*, 35-58.

Edgerton, W. F. (1923). Ancient Egyptian Ships and Shipping. *The American Journal of Semitic Languages and Literatures*, 109-135.

Enríquez Fernández, J., & Sesmero Cutanda, E. (2000). *Informes de Cristóbal de Barros y Esteban de Garibay sobre la construcción naval en la cornisa cantábrica (1569).* San Sebastián: Itsas Memoria. Revista de Estuios Marítimos del País Vasco.

Escudero, A. (1999). Dos puntualizaciones sobre la historia de la siderurgia española entre 1880 y 1930. *Revista de Historia Industrial Nº15*, 191-200.

Esgueva Gómez, A. (2006). *Nicaragua en los documentos. Tomo I 1523-1857.* Managua: IHNCA - Instituto de Historia de Nicaragua y Centroamérica, UCA - Universidad Centroamericana.

European Commission. (2021). *Communication on a new approach for a sustainable blue economy in the EU Transforming the EU's Blue Economy for a Sustainable Future. COM(2021) 240 final. .* Bruselas: European Commission.

Farinosi, F., & al. (2018). An innovative approach to the assessment of hydro-political risk: A spatially explicit, data driven indicator of hydro-political issues. *Global Environmental Change*, 286-313.

Farr, G. E., & Bostwick, B. F. (1991). *Shipbuilding at Cramp & Sons.* Philadelphia: Philadelphia Maritime Museum.

Fernández de Navarrete, M. (1851). *Buscar: Biblioteca Marítima Española, t. II* (Vol. 2). Madrid: Viuda de Calero.

Fernández Duro, C. (1880). *A la mar madera.* Madrid: Imprenta, Estereotipia y Galvanoplastia de Aribau y C.ª (Sucesores de Rivadeneyra).

Fernández Duro, C. (1894). *La Marina de Castilla desde su origen y pugna con la de Inglaterra hasta la Refundición en La Armada Española.* Madrid: El progreso editorial.

Fernández Duro, C. (1895). *Armada Española desde la Unión de los Reinos de Castilla y Aragón.* Madrid: Sucesores de Rivadeneyra.

Fernández González, F. (2000). Astilleros: de los barcos antiguos a los galeones. *Aulas del mar. Arqueología Subacuática.* Cartagena.

Fernández González, F. (2007). España cara al mar: ingenieros y técnicos para la Armada y el comercio marítimo. In M. Silva Suárez, *El Ochocientos : Pensamiento, profesiones y sociedad* (p. 710). Zaragoza: Real Academia de Ingeniería.

Fernández González, F. (2015). La construcción Naval en la Corona de Aragón. *Cuaderno nº72 del Instituto de Historia y Cultura Naval*, 33-65.

Fernández Izquierdo, F. (1989). Astilleros y construcción naval en la España anterior a la Ilustración. *Jornadas de Historia Marítima. Instituto de Historia y Cultura Naval*, 35-62.

Ferreiro, L. (2007). Spies Versus Prize: Technology Transfer between Navies in the Age of Trafalgar. *The Mariner's Mirror, 93:1*, 16-27.

Ferreiro, L. D. (2007). *The Birth of Naval Architecture in the Scientific Revolution, 1600-1800.* Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Ferreiro, L. (2010). Evolution and Revolution in Spanish and Chilean Shipbuilding from the Cold War to the 21st Century: A Study in International Technology Transfer in the Naval Industries. *International Journal of Naval History, Volume 8*.

Ferreiro, L. (2020). *Bridging the Seas: The Rise of Naval Architecture in the Industrial Age, 1800-2000*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Flórez de Setién y Huidobro, E. (1765). *La España Sagrada. Tomo XX. Historia Compostelana.* Madrid: Imprenta de la Viuda de Elíseo Sanchez.

Fontanel, J., & Bensahel, L. (1992). La guerre économique. *Arès, vol. XIII, n° 4, décembre*, 9-50.

García de Palacio, D. (1587). *Instrucion nauthica, para el buen uso, y regimiento de las Naos, su traça, y gouierno conforme à la altura de Mexico.* Ciudad de México: En casa de Pedro Ocharte.

García Fernández, N. (2005). Bosques, maderas y barcos para la armada durante el ministerio de Antonio Valdés. Semejanzas y diferencias con Inglaterra. In A. Guimerá, & V. Peralta, *El equilibrio de los imperios: de Utrecht a Trafalgar* (pp. 761-778). Madrid: Fundación Española de Historia Moderna.

Garcia, L., Fernandez, V., & Torroja, J. (1994). The Role of CAD/CAE/CAM in engineering for production. *8th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding ICCAS'94.* Bremen.

Gay, J. (1988). Le Fer Dans La Marine En Bois : L'exemple de La Flotte de Guerre Française (1665-1815). *Histoire & Mesure, vol. 3, no. 1*, 53-86.

Gerschenkron, A. (1962). On the Concept of Continuity in History. *Proceedings of the American Philosophical Society, vol. 106, no. 3*, 195-209.

Gican. (2023). *World Defence Shipbuilding Study 2022.* París: Euronaval.

Glasgow Herald. (1947, Junio 6). Shipbuilding Shortage. *Glasgow Herald*, p. 4.

Goldstein, L. (1962). Evidence and Events in History. *Philosophy of Science, 29(2)*, 175-194.

Gómez Alén, J. (2019). La construcción naval en España, 1950-2019: una introducción general y notas sobre los sistemas constructivos en NAVANTIA/Ferrol. *Anuario Centro De Estudios Económicos De La Empresa Y El Desarrollo*, 63-98.

Gonzalez Fernandez, M. (2021). Galeras, galeazas y galeotas en el siglo XVI. *Revista General de Marina, 281/2*, 277-297.

González García, A. (2020, Agosto-Septiembre). Los bosques flotantes. Gestión de los montes por parte de la Armada. *Revista General de Marina*, 261-272.

González García, O. (2016). El vapor de ruedas "Cid": de pionero de la navegación comercial a vapor a primer vapor hospital. *Sanidad militar: revista de sanidad de las Fuerzas Armadas de España,* 235-245.

González Prieto, L., & González-Pumariega Solís, P. (2015). The Asturian Miminig company, la primera gran siderúrgica moderna española. Construcción y puesta en funcionamiento de la factoría y el alto horno de Mieres. *Revista de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero*, 1-10.

González, A. R. (1991). Política Naval Europea a comienzos del siglo XX. *Política española y política naval tras el desastre (1900-1914)* (pp. 23-38). Madrid: Instituto de Historia y Cultura Naval .

Goodwin, P. (1998). The Influence of Iron in hip Construction: 1660 to 1830. *The Mariner's Mirror, 84:1*, 26-40.

Goujon, L. (1803). *Des bois propres aux constructions navales, manuel à l'usage des agens forestiers et maritimes.* Paris: Chez Goujon Fils.

Gourvish, T. R. (1980). *Railways and the British Economy 1830-1914.* London: Macmillan Press Ltd.

Granier, H. (1990-1995). La Pensée navale française dans la première moitié du XVIIe siècle 1600-1661', in Hervé Coutau-Bégarie. In H. Coutau-Bégarie, *L'évolution de la pensée navale* (pp. 37-53). Paris: FEDN.

Grundman, S., & Hasik, J. (2016). Innovation Before Scale. *The RUSI Journal, 161:5*, 4-10.

Guiteras, P. J. (1927). *Historia de la Isla de Cuba. Tomo 1.* Habana: Cultural.

Gutiérrez Molina, J. L. (2016). *La industria que cambio una ciudad. 125 años de astillero de Cádiz y la moderna construcción naval en el sur de España. (1891-2016).* Madrid: Navantia.

Hamilton, E. (1934). *American Treasure and the Price Revolution in Spain, 1501-1650.* Cambridge MA and London England: Harvard University Press.

Harris, C. (2019). *The "A1" Reputation of the Lloyd's Register of Shipping. Case Study.* Said Business School. Oxford: University of Oxford.

Harris, J. (2000). *Industrial Espionage and Technology Transfer Britain and France in the 18th Century.* New York: Routledge.

Harris, M. D. (2015). Revisiting (Some of) the Lasting Impacts of the Liberty Ships via a Metallurgical Analysis of Rivets from the SS "John W. Brown". *Journal of The Minerals, Metals & Materials Society. Volume 67, Issue 12*, 2965-2975.

Harrison, J. (1976). El coste de oportunidad del Programa Naval español de 1907 ¿pantanos o acorazados? *Hacienda Pública Española / Review of Public Economics*, 111-122.

Hasik, J. (2008). *Arms and Innovation: Entrepreneurship and Alliances in the Twenty-First Century Defense Industry.* Chicago, IL: University of Chicago Press.

Hasslöf, O. (1972). Main Principles in the Technology of ShipBuilding. In O. Hasslöf, H. Henningsen, & A. Christensen, *Ships and Shipyards, Sailors and Fishermen: Ships and Shipyards, Sailors and Fishermen: Introduction to Maritime Ethnology* (pp. 27-72). Copenhagen: Copenhagen University Press.

Hauser, M. (1890). Influence Économique Légèreté dans la Construction de Navires. *Bulletin de l'Association technique maritime et aéronautique*, 17-47.

Heath, T. R. (2020). *Winning Friends and Influencing People: Naval Diplomacy with Chinese Characteristics.* Newport, Rhode Island: CMSI China Maritime Reports. 8.

Hill, C. A., & Dibdiakova, J. (2016). The environmental impact of wood compared to other building materials, 7:4. *International Wood Products Journal*, 215-219.

Hirama, Y. (1991). Japanese Naval Preparations for World War ll. *Naval War College Review. Vol. 44, No. 2.*, 63-81.

Holmes, G. C. (1906). *Ancient and modern ships.* London: Wyman and Sons.

Homer-Dixon, T. F. (1991). On the Threshold: Environmental Changes as Causes of Acute Conflict. *International Security, Vol. 16, No. 2*, 76-116.

Homer-Dixon, T. F. (1999). *Environment, scarcity, and violence.* Nueva Jersey: Princeton University Press.

Hormaechea, C., Rivera, I., & Derqui , M. (2012). *Los galeones españoles del siglo XVII - Tomo II.* Barcelona: Associació d'Amics del Museu Marítim de Barcelona.

Houptjose, S., & Ortiz-Villajos, M. (1998). *Astilleros Españoles 1872-1998. La Construcción Naval en España .* Madrid: Editorial LID.

Hourani, G. F. (1975). *Arab Seafaring in the Indian Ocean in Ancient and Early Medieval Times.* New York: Octagon Press.

House of Commons. (1792). January 1792 to November 1792. *Journals of the House of Commons v.48, 1792-1793*, 278-365.

House of Commons. (1803). *Journals of the House of Commons. Jan.-Nov. 1792. Volume 47.* London: House of Commons.

Hoxie, R. (1906). Historical Method vs. Historical Narrative. *Journal of Political Economy, Vol. 14, No. 9*, 568-572.

Hunt, H. W. (1943). Seagoing Concrete. *Scientific American 169, no. 5*, 205-207.

Hurley, E. N. (1927). *The Bridge to France.* Philadelphia & London: J. B. Lippincott Company.

Ida, K. (1980). Origin and development of iron and steel technology in Japan. *HSDP-JE Series. United Nations*, 1-81.

IMO. (2009). *Hong Kong International Convention for the Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships.* London: International Maritime Organization (IMO).

International Marine Conference. (1889). Protocols of proceedings of the International marine conference: held in Washington, D.C. October 16 to December 31, 1889. (p. 842). Washington D.C.: Govt. Print. Off.

Iriarte-Goñi, I. (2013). Forests, Fuelwood, Pulpwood, and Lumber in Spain, 1860-2000: A Non-Declensionist Story. *Environmental History, 18(2)*, 333-359.

J.A.S. (1931). El aluminio y sus aleaciones en las construcciones navales. *Ingeniería Naval. Revista Técnica de la Asociación de Ingenieros Navales*, 339-349.

Jacquelard, C. (2016). Quelle histoire pour Cavite, le port de Manille (XVIe-XVIIe siècle) ? *Crónica de 1344 / Les ports de la monarchie espagnole - Amérique / Semblanzas de los conquistadores*.

Janžekovič, I. (2020). The rise of state navies in the early seventeenth century: a historiographical study. *Journal for Maritime Research*, 183-208.

Jensen, J. K. (1977). *Ferrocement as a Material. Intern Rapport No. 7602.* Aalborg: Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitet.

Jones, C. (2019). *The Development of the Eu Security-Industrial Complex.* Amsterdam: Transnational Institute.

Joske, A. (2018). *Picking flowers, making honey.* Canberra: Australian Strategic Policy Institute.

Journal of Ferrocement. (1989). Ferrocement Vessels in China. *Journal of Ferrocement*, 239-249.

Jowitt, S. M. (2020). Future availability of non-renewable metal resources and the influence of environmental, social, and governance conflicts on metal production. *Commun Earth Environ 1, 13*, 1-8.

Juan y Ferragut, M. (2008). La armada y el factor naval en la guerra de la independencia. *Cátedra "Jorge Juan" ciclo de conferencias*, 111-134.

Juan-García Aguado, J. M. (2021). *La carpintería de ribera en Galicia (1940-2000).* A Coruña: Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións.

Juan, J., & Ulloa, A. (1826). *Noticias secretas de América.* Londres: Imprenta de R. Taylor.

Kappa. (1846). The "Blasco de Garay" - Oscillating Steam Engines. *Mechanics' Magazine and Journal of Science, Arts, and Manufactures*, 398-399.

Kemp, G. (1978). Scarcity and Strategy. *Foreign Affairs*, 396-414.

Kenchington, T. (1993). The Structures of English Wooden Ships: William Sutherland's Ship, Circa 1710. In T. N. Mariner, *The Northern Mariner Volume 3* (pp. 1-43). Ottawa: Canadian Nautical Research Society.

Kimura, J., Wei, C., Cheng, L., Church, S., shipwreck, S., Han, L., . . . Noshiro, S. (2011). Historical development of shipbuilding technologies in East Asia. In J. Kimura, *Shipwreck ASIA: Thematic Studies in East Asian Maritime Archaeology* (pp. 1-25). Adelaide: Maritime Archaeology Program.

Koehler, A., Bakker, C., & Peck, D. (2010). Materials Scarcity. A new agenda for industrial design engineering. *ERSCP-EMSU.* Delft: Knowledge Collaboration & Learning for Sustainable Innovation.

Koopmans, J. W. (2016). The Early 1730s Shipworm Disaster in Dutch News Media. *Dutch Crossing, Vol. 40, No. 2*, 139-150.

Krause, R. (1972). *Iron and Steel Industry in Wartime Japan, 1931-1945.* Oklahoma: Oklahoma State University.

Kunkera, Z., Opetuk, T., Hadžić, N., & Tošanović, N. (2022). Using Digital Twin in a Shipbuilding Project. *Applied Sciences, 12 (24)*, 12721.

Lacaci y Diaz, F. (1876). *Estudio histórico sobre la marina de los pueblos que se establecieron en España hasta el siglo XII de nuestra Era.* Madrid: Tello.

Laredo Quesada, M. (2003). El almirantazgo de Castilla en la Baja Edad Media. Siglos XIII a XV. *La institución del almirantazgo en España. XXVII Jornadas de Historia Marítima* (pp. 57-82). Madrid: Cuadernos Monográficos del Instituto de Historia y Cultura Naval.

Lavache, M. L. (1978). *Concrete Ships.* Kingston: University of Rhode Island.

Lecomber, R. (1975). *Economic growth versus the environment.* London: Macmillan Press.

Leira Placer, J. (1991). Evolución de la propulsión mecánica en la Armada Española. *Maquinistas de la Armada (1850-1990)* (pp. 65-87). Madrid: Instituto de Historia y Cultura Naval.

Lemmers, A. (2013). Shipworm, Hogbacks and Duck's Arses: The influence of William May on Sir Robert Seppings. *The Mariner's Mirror*, 410-428.

Lennerfors, T. T., & Birch, P. (2019). *Lennerfors, T. T., & Birch, P. (2019). In Snow in the Tropics: A History of the Independent Reefer Operators. Brill. .* Leiden;Boston: Brill.

León Sáenz, J. (2009). Los Astilleros y la Industria Marítima en el Pacífico Americano: Siglos XVI a XIX. *Diálogos, Revista Electrónica de Historia*, 44-90.

Lindoso Tato, E. (2006). A la sombra el Arsenal: La oferta empresarial ferrolana en el siglo XIX. *Cuadernos de Estudios Gallegos, LIII, N.º 119*, 271-304.

Lippert, H., & al. (2017). Teredo navalis in the Baltic Sea: Larval Dynamics of an Invasive Wood-Boring Bivalve at the Edge of Its Distribution. *Frontiers in Marine Science, 4*.

Loewen, B. (2000). Forestry practices and hull design, ca. 1400-1700. *Humanismo e Arte de Navegar no Renascimento Europeu (1450-1650)* (pp. 143-151). Cascais: Francisco Contente Domingues, ed.

Lombard, M. (1959). Un problème cartographié : le bois dans la Méditerranée musulmane (VIIe-XIe siècles). *Annales. Economies, sociétés, civilisations. 14e année, N. 2*, 234-254.

London County Council. (1994). Blackwall Yard: Development, c.1819-1991. In *Survey of London: Volumes 43 and 44, Poplar, Blackwall and Isle of Dogs.* (pp. 565-574). London: London County Council.

Lopez Fernandez, M. (2005). El Almirante Gilberto de Castelnou y su relación con Tarifa. *Aljaranda, 57. Junio.*, 14-16.

Lozano Courtier, A. (1997). Estado, importación de tecnología y nacionalización de la construcción naval militar española: la SECN, 1909-1935. En S. López García, & J. Valdaliso Gago, *¿Que inventen ellos?: tecnología, empresa y cambio económico en la España contemporánea* (pp. 281-304). Madrid: Alianza.

López Linaje, J. (1985). Canal de Castilla: El recuerdo de un sueño ilustrado. *Institución Tello Téllez de Meneses Nº52*, 153-171.

Lorenz, E. H. (1991). An Evolutionary Explanation for Competitive Decline: The British Shipbuilding Industry, 1890-1970. *The Journal of Economic History*, 911-935.

Lorenzo de Membiela, J. (2019). *Estudios sobre Trafalgar: Tempestad, Marinos e Imperio.* Sevilla: Punto Rojo Libros.

Maarleveld, T. (1995). Type or technique. Some thoughts on boat and ship finds as indicative of cultural traditions. *The International Journal of Nautical Archaeology 24:1.*, 3-7.

MacCutcheon, E. M. (1949). Riveted vs Welded Ship Structure. *Journal of the American Society for Naval Engineers, 61*, 719-736.

Mahan, A. (1894). *The Influence of Sea Power Upon History.* Boston: Little, Brown, and company.

Manera Regueyra, E. (1981). *El Buque en la Armada Española.* Bilbao: Sílex.

Markopoulos, E., & al. (2019). Maritime Safety Education with VR Technology (MarSEVR). *International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)* (pp. 283-288). Nápoles: IEEE.

Marquina Barrio, A. (2003). Las negociaciones entre España y los Estados Unidos (1953-1982). *UNISCI Discussion Papers*, 1-11.

Martín López, A. (2010). La obtención de materias primas para la construcción naval en la Corona de Aragón. Un ejemplo de explotación del territorio proyectada. *Turiaso*, 309-324.

Martín-Aceña, P. (1992). Los precios en Europa durante los siglos XVI y XVII: Estudio comparativo. *Revista de Historia Económica*, 359--395.

Martin, F. (1876). *The history of Lloyd's and of marine insurance in Great Britain.* London: McMillan & Co.

Martínez Esquivel, R. (2018). Misión Sangley.La cristianización entre los chinos de Filipinas en el cambio del siglo XVI al XVII. *Estudios de Asia y África*, 35-63.

Martínez González, A. J. (2019). Memoriales presentados a Felipe II de Cristóbal de Barros y Diego Marroquín sobre fomento naval, comercio, legislación e instituciones cantábricas (1540 aprox.). *Anuario de historia del derecho español*, 569-606.

Martínez Shaw, C., & Alfonso Mola, M. (2015). El arsenal de la Habana en el siglo XVIII. In J. Quintero González, C. Martínez Shaw, & M. Alfonso Mola, *La economia marítima en España y las Indias* (pp. 143-162). San Fernando: Ayuntamiendo de San Fernando.

Maruri Villanueva, R. (2001). Ensenada y el Real Astillero de Guarnizo. *Brocar. Cuadernos De Investigación Histórica (22)*, 123-136.

Matthew, P. (1831). *On Naval Timber and Arboriculture .* Londres: Longman, Rees, Orme, Brown, Green and Adam Black.

McGrail, S. (1997). Early frame-first methods of building wooden boats and ships. *Mariner's Mirror 83.4*, 76-80.

McGrail, S. (1998). *Ancient Boats in North-West Europe: The Archaeology of Water Transport to AD 1500.* London: Longman.

McGrail, S. (2009). *Boats of the World: From the Stone Age to Medieval Times.* Oxford: Oxford University Press.

McGreevy, A. (2016). *Chinese Naval Shipbuilding.* Annapolis: Naval Institute Press.

McNeill, J. R. (2004). *Woods and warfare in world history.* Oxford: Environmental History, Oxford University Press.

Meiggs, R. (1982). *Trees and timber in the ancient Mediterranean world.* Oxford: Oxford University Press.

Melchor de Jovellanos, G. (1820). *Informe de la sociedad económica de Madrid al Real y Supremo Consejo de Castilla en el expediente de ley agraria, extendido por su individuo de número el señor don Gaspar Melchor de Jovellanos, a nombre de la junta encargada de su formacion.* Madrid: Imprenta Antonio de Sancha.

Mikelis, N. (2019). *The Recycling of Ships - 2nd edition.* Dubai: GMS.

Mira Caballos, E. (2019). La Carrera de Indias: beneficios y perjuicios del monopolio comercial. *Magallánica: revista de historia moderna*, 62-93.

Mitchell, B., & al. (2009). *How good was the profitability of British Railways, 1870-1912?* Coventry: University of Warwick.

Mor, L., & al. (2012). Augmented reality for virtual renovation. *Proceedings of the second international ACM workshop on Personalized access to cultural heritage (PATCH '12)* (pp. 15-18). New York: Association for Computing Machinery.

Morales Barrientos, D. (2016). Un puerto maderero en el sur de Chile. Ancud en los años ciencuenta del siglo XIX. *Magallania*, 87-105.

Morlán, P. D. (1999). Aeroplanes, Torpedoes and Submarines: German Interests in Spain in the Interwar Period. *International Journal of Maritime History, 11(2)*, 31-59.

Mountaine, W. (1761). *The Seaman's Vade-mecum and Defensive War by Sea.* London: W. Mount and T. Page.

Müller, J. (2010). Tree species used in historical shipbuilding and their risk of being attacked by Teredinidae. *Skyllis*, 1-6.

Mutch, A. (2001). The construction of a 'traditional' occupation: welding, 1900-1960. *Labour History Review 66, (1),* 41-60.

Naciones Unidas. (1972). *Informe de la conferencia de Naciones Unidas sobre el medio humano.* Estocolmo: Naciones Unidas.

Nadal, J. (1975). *El fracaso de la revolución industrial en España, 1814-1913.* Barcelona: Editorial Ariel.

Nature. (1900). The Use of Steel in Shipbuilding. *Nature 62*, 90-91.

Nava Rodríguez, T. (1994). Problemas y perspectivas de una historia social de la administración: los Secretarios del Despacho en la España del siglo XVIII. *Mélanges de la Casa de Velázquez,* 151-166.

Navarro Brotons, V. (1995). The Reception of Copernicus in Sixteenth-Century Spain: The Case of Diego de Zuniga. *Isis, 86(1)*, 52-78.

Navarro Brotons, V. (2000). Astronomía y cosmografía entre 1561 y 1625: aspectos de la actividad de los matemáticos y cosmógrafos españoles y portugueses. *Cronos 3 (2)*, 349-380.

Navarro Paredes, C. (2019). Las atarazanas andalusíes. Funciones y características dentro de la red portuaria de al-Ándalus. *DAMA Documentos de Arqueología y Patrimonio Histórico*, 87-106.

Neumayer, E. (2000). Scarce or abundant?: the economics of natural resource availability. *Journal of economic surveys, 14 (3)*, 307-335.

Nieto, J. (1997). *El Renacimiento y la otra España: visión cultural socioespiritual.* Ginebra: Librairie Droz.

Noffsinger, J. (1938). Trade Schools Good and Bad. *Refrigerating Engineering*, 163-166.

Norton, L. A. (2013). Timber for America's Wooden Walls. *Naval History Magazine*, 58-62.

Nowacki, H., & Valleriani, M. (2003). *Shipbuilding Practice and Ship Design Methods From the Renaissance to the 18th Century.* Berlín: Max Planck Institute for the History of Science.

Nye, J. S. (2008, Marzo). Public Diplomacy and Soft Power. *Annals of the American Academy of Political and Social Science, 616*, 94-109.

O'Rourke, R. (2021). *China Naval Modernization: Implications for U.S. Navy Capabilities.* Washington: Congressional Research Service.

O'Rourke, K. H. (2006). The worldwide economic impact of the French Revolutionary and Napoleonic Wars, 1793-1815. *Journal of Global History*, 123-149.

OECD. (2023). *Analysis of the marine equipment industry and its challenges.* Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.

Okorokov, A. V. (2023). *ТРАДИЦИОННОЕ СУДОСТРОЕНИЕ КАК ЧАСТЬ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ НАРОДОВ РОССИИ.* Москва: Министерство культуры Российской Федерации.

Ortega y Gasset, J. (1914). *Vieja y nueva política.* Madrid: Conferencia dada en el teatro de La Comedia el 23 de marzo de 1914.

Ortúzar Maturana, R. (1999). *Materiales para la Construcción de Buques.* Viña del Mar: Revista de Marina Chile.

Ovidio Nasón, P. (2002). *Metamorfosis: traducción de Ana Pérez Vega.* Alicante: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, 2002.

Paalvast, P., & Van der Velde, G. (2011). New Threats of an Old Enemy: The Distribution of the Shipworm Teredo navalis L. (Bivalvia: Teredinidae) Related to Climate Change in the Port of Rotterdam Area, the Netherlands. *Marine Pollution Bulletin 62(8)*, 1822-1829.

Palmer, M. (1997). The "Military Revolution" Afloat: The Era of the Anglo-Dutch Wars and the Transition to Modern Warfare at Sea. *War in History, 4(2)*, 123-149.

Parga López, J. B. (2002, Abril). Los ciclos en la construcción naval española. *Ingeniería Naval* (792), 86-92.

Parrish, J. B. (1956). Iron and Steel in the Balance of World Power. *Journal of Political Economy, Vol. 64*, 369-388.

Payton, B. (2018). The Trees That Sail to Sea. *Hakai Magazine*.

Pearson Hobson, R. (1897). Notes on the Yacht "Defender" and the Use of Aluminum in Marine Construction. *Proceedings of the US Naval Institute*.

Perez-Mallaina Bueno, P. (2001). La creación de la universidad de Mareantes. *Cuadernos monográficos del Instituto de Historia y Cultura Naval, 39*, 43-62.

Pérez-Martínez, J. (2020, Octubre). 250 years' history of the Spanish Navy Engineers Corps. *The Naval Architect - October*, 38-40.

Pérez-Martínez, J., & Pérez Fernández, R. (2021). English Narrowboats: From Industrial Revolution to the Urban Housing Problem. *International Journal of Maritime Engineering. Royal Institution of Naval Architects*, 131-137.

Perez-Martinez, J., & Pérez Fernández, R. (2021). Shipbuilding 3D CAD Tools as an Integrated Solution from Concept to Product. *Ciencia y tecnología de buques*, 45-57.

Perez-Martinez, J., & Perez Fernandez, R. (2023). Material and Production Optimization of the Ship Design Process by Introducing CADs from Early Design Stages. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(1), 233.

Pérez-Martínez, J., & Pérez-Fernández, R. (2021, Diciembre). Naval Construction, Science and Diplomacy. The Revolution of Technology Transfer. *Naval Engineers Journal*, 105-114.

Pérez-Martínez, J., & Pérez-Fernández, R. (2021, Noviembre). The Birth of Naval Engineering Studies in Europe. *The Naval Architect*, 38-43.

Pérez-Martínez, J., & Pérez-Fernández, R. (2021). El desarrollo de la ingeniería naval en España: 250 años de Historia. *Revista de Historia Naval, 154*, 107-118.

Perez, J. (2000). El discutido monopolio de Sevilla. *Revista de Indias. Vol LX. Núm 2018.*, 85-90.

Perlin, J. (2005). *A forest journey: the story of wood and civilization.* Woodstock: Countryman Press.

Pfeiffer, S. (2017). The Vision of "Industrie 4.0" in the Making—a Case of Future Told, Tamed, and Traded. *Nanoethics, 11*, 107-121.

Pinedo Fernández, E. F. (2003). Desarrollo, crisis y reconversión de la siderurgia española a través de una empresa vizcaína, AHV (1929-1996). *Ekonomiaz: Revista vasca de economía*, 28-51.

Plá y Rave, E. (1878). *Marcos de madera para la construcción civil y naval : con el precio que tienen estas y otros productos forestales en las provincias de España.* Madrid: Imprenta del memorial de ingenieros.

Plá y Rave, E. (1880). *Tratado de Maderas de Construcción Civil y Naval.* Madrid: Imprenta, Estereotipia y Galvanoplastia de Aribau y C.ª (Sucesores de Rivadeneyra), Impresores de Cámara de S. M.

Polzer, M. (2011). Early Eastern Mediterranean Ship Construction. In A. Catsambis, B. Ford, & D. Hamilton, *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology* (pp. 349-378 (Ch. 16)). Oxford: Oxford University Press.

Pomey, P. (1998). Conception et réalisation des navires dans l'Antiquité méditerranéenne. In E. Rieth , *Concevoir et construire les navires. De la trière au picoteux.* (pp. 49-72). Ramonville Saint-Agne: Revue d'anthropologie des connaissances XIII.1. S.A.C.

Pomey, P., Kahanov, Y., & Rieth, E. (2012). Transition from Shell to Skeleton in Ancient Mediterranean Ship-Construction: analysis, problems, and future research. *The International Journal of Nautical Archaeology*, 235-314.

Pommier, R. e. (2016). Comparative environmental life cycle assessment of materials in wooden boat ecodesign. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 265-275.

Ponkratov, D., & Pérez-Martínez, J. (2020). A Mystery of the First Icebreaker. *Historic Ships 2020 Conference Proceedings* (pp. 1-6). London: Royal Institution of Naval Architects.

Popovic, M., & al. (2020). Charm Offensive or Offensive Charm? An Analysis of Russian and Chinese Cultural Institutes Abroad. *Europe-Asia Studies*, 1445-1467.

Puettmann, K. J., & al. (2016). *Crítica de la Silvicultura. El manejo de la complejidad.* Madrid: ACCI Ediciones.

Quintero González, J. (2004). La madera en los pertrechos navales. Provisión de Motones, Remos y Bombas al Arsenal de la Carraca. *Tiempos Modernos*, 1-12.

Rackham, O. (1990). *Trees and Woodland in the British Landscape: The Complete History of Britain's Trees, Woods & Hedgegrows, 2nd ed.* New York: Phoenix Press, 1990.

Rafal, R. (2019). Recursos forestales, proyectos de extracción y asientos de maderas en la nueva españa durante el siglo XVIII. *Obradoiro de Historia Moderna*, 55-81.

RAH. (1807). *Las siete partidas del Rey Don Alfonso el Sabio, cotejadas con varios códices antiguos por la Real Academia de la Historia. Tomo II, partida segunda y tercera. .* Madrid: Imprenta Real.

Ramage, M. H., & al. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 333-359.

RAND. (2006). *Why Has the Cost of Navy Ships Risen.* Santa Monica: RAND National Defense Research Institute.

Rasmussen, N. (2023). *Over 15,000 Ships could be Recycled by 2032, up more than 100% on the Last 10 Years.* Copenhagen: BIMCO. Market Report BIMCO'S Shipping Number of the Week.

Reed, E. (2011). *Shipbuilding in Iron and Steel: A Practical Treatise.* Cambridge: Cambridge University Press.

Reichert, R. B. (2019). ¿Cómo España trató de recuperar su poderío naval? Un acercamiento a las estrategias de la marina real sobre los suministros de materias primas forestales provenientes del báltico y Nueva España (1754-1795) . *Espacio Tiempo Y Forma. Serie IV, Historia Moderna*, 73-102.

Rhodes, C., & al. (2014). *Research Paper 14/61.* London: House of Commons Library.

Richardson, L. R. (1960). *Statistics of Deadly Quarrels.* Pittsburgh: Boxwood Press.

Ride, L. (1943, Abril 14). Report No6-11. *BAAG Report KWIZ#3*. Elizabeth M. Ride Collection.

Riley, R. O., & Turne, J. M. (1995). *Fishing Boat Construction: 3. Building a Ferrocement Fishing Boat.* Rome: FAO.

Robertson, F. (1921). *The Evolution of Naval Armament.* London: Constable & Company Ltd.

Rodger, N. (2006). *The Command of the Ocean: A Naval History of Britain 1649-1815.* London: Penguin Books.

Rodríguez Aguilar, M. (2017). El torpedeamiento del petrolero "Campeador". *Revista general de marina.* , 845-856.

Rodríguez Romero, L. (1992). El Instituto Nacional de Industria: una historia económica. *Revista de Historia Económica, 10*, 311-316.

Rodríguez-Villasante Prieto, J. A. (1989). La infraestructura naval de la primera mitad del siglo XIX. *La España marítima del siglo XIX* (pp. 91-107). Madrid: Armada Española.

Roldán de Montaud, I. (1997). España y Cuba. Cien años de relaciones financieras. *Studia Historica. Historia Contemporánea, 15*, 35-69.

Roldán de Montaud, I. (2008). *Las haciendas públicas en el Caribe hispano durante el siglo XIX.* Madrid: Ministerio de Ciencia e Innovación Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Romero de Landa, J. (1784). *Reglamento de maderas necesarias para la fábrica de los baxeles del Rey, y demas atenciones de sus arsenales y departamentos.* Madrid: Impresor Joaquín Ibarra.

Romero González, J. (1999). La sociedad española de construcción naval y la fabricación de material ferroviario en los años veinte. In J. Vidal Olivares, *Siglo y medio del ferrocarril en España, 1848-1998: Economía, industria y sociedad* (pp. 829-850). Madrid: Fundación de Ferrocarriles Españoles.

Rowlands, K. (2015). *Naval Diplomacy in the Post-Cold War Global Order.* London: King's College London.

Sala de Indias del TSJ. (1841). *Recopilación de leyes de los Reinos de las Indias. Tomo Cuarto. Quinta Edición.* Madrid: Boix.

Salgado Alba, J. (1989). La estrategia marítima española bajo Isabel II y Alfonso XII (1820-1885). *La España marítima del siglo XIX* (pp. 7-21). Madrid: Instituto de Historia y Cultura Naval.

San-Miguel-Ayanz, J., & al. (2016). *European Atlas of Forest Tree Species.* Luxembourg: Publication Office of the European Union.

Sánchez Méndez, J. (2001). El Desembarco de Alhucemas. *Operaciones Anfibias de Gallípoli a las Malvinas - VI Jornadas de Historia Militar* (pp. 71-99). Madrid: CESEDEN.

Sanjurjo Jul, J. M. (2012). La Pentecontecia, reflexiones sobre la evolución de la construcción naval militar española en los últimos cincuenta años. *Revista general de marina, 263*, 321-348.

Santana Perez, G. (2011). La Casa de Contratación como medio de control de los tratos entre África y América durante el siglo XVI. *Cuadernos Americanos 136*, 145-161.

Schmidt, M. (2018). Scarcity and Environmental Impact of Mineral Resources—An Old and Never-Ending Discussion. *Resources, 8(1), 2. MDPI AG*.

Schwab, K. (2015). The Fourth Industrial Revolution. *Foreign Affairs*.

Schwartz, P. (2015). *Russia's Contribution to China's Surface Warfare Capabilities.* Lanham, Maryland: Center for Strategic & International Studies.

Schweingruber, F. (1990). *Anatomy of European woods: an atlas for the identification of European trees, shrubs and dwarf shrubs.* Bern: Verlag Paul Haupt.

Scoones, I., Tsikata, D., Hall, R., & Smalley, R. (2014). *Narratives of scarcity: understanding the 'global resource grab'.* Brighton: Future Agricultures Consortium.

Sellius, G. (1733). *Historia naturalis Teredinis seu Xylophagi marini, tubulo-conchoidis speciatim belgici.* Utrecht: Trajecti ad Rhenum: Apud Hermannum Besseling.

Sennett, R., & Oram, H. J. (1911). *The marine steam engine: a treatise for engineering students, young engineers, and officers of the Royal Navy and mercantile marine.* London, New York: Longmans, Green.

Seppälä, L. (2021). 3D Model—Technology Island in Ship Design or a Central Piece for Shipbuilding Project Data? *20th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT'21)* (pp. 228-234). Mülheim, Germany: Technische Universität Hamburg-Harburg.

Seppings, R. (1818). On the Great Strength Given to Ships of War by the Application of Diagonal Braces On the Great Strength Given to Ships of War by the Application of Diagonal Braces. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1-8.

Serrano Alvarez, J. (2011). Los inicios del astillero de la Habana en el siglo XVIII y la influencia francesa. *História 30 (1)*, 287-305.

Shane, H. (1982). The silicon age and education. *Phi Delta Kappan, 63*, 303-308.

Sicking, L. (2010). Naval warfare in Europe, c. 1330-c. 1680. *European Warfare, 1350-1750. Cambridge University Press*, 236-263.

Simiand, F. (1985). Historical Method and Social Science. *Review (Fernand Braudel Center)*, 163-213.

Simmons, I. (2001). *An environmental history of Great Britain: from 10,000 years ago to the present.* Edinburgh University Press: Edinburgh University Press.

Sinde Cantorna, A. I. (2008). Expansión y modernización de la flota pesquera española tras la Guerra Civil: Estado, empresa y construcción naval. *Areas: revista internacional de ciencias sociales. Nº27*, 57-67.

SIPRI. (2020). *SIPRI Arms Transfers Database*. Retrieved from https://www.sipri.org/databases/armstransfers

Smit, J., Kreutzer, S., Moeller, C., & Carlberg, M. (2016). *Industry 4.0.* Bruselas: Policy Department A: Economic and Scientific Policy. European Parliament.

Smith, A. (1977). *An Inquiry Into the Nature and Causes of the Wealth of Nations.* Chicago: University of Chicago Press.

Smith, G. (1995). A Means to an End: Gunboats and Thomas Jefferson's Theory of Defense. *American Neptune 55*, 111-121.

Smith, J. R. (2009). *Shipbuilding and the English International Timber Trade, 1300-1700: a framework for study using Niche Construction Theory.* Lincoln: University of Nebraska-Lincoln.

SSI. (2021). *Exploring shipping's transition to a circular industry.* London: The Sustainable Shipping Initiative.

Stammers, M. (2001). Iron knees in wooden vessels-an attempt at a typology. *The International Journal qf Nautical Archaeology*, 115-121.

Steffy, J. (1991). The Mediterranean Shell to Skeleton Transition: A Northwest European Parallel? In H. R. Reinders, & K. Paul, *Carvel Construction Technique: Skeleton-First, Shell-First.* (pp. 1-9). Oxford: Proceedings of ISBSA 5.

Steffy, J. (1994). *Wooden Ship Building and the Interpretation of Shipwrecks.* College Station: Texas A & M University Press.

Stevens, R. W. (1859). *On the stowage of ships and their cargoes.* London: Longmans.

Still, W. (2000). Wooden Ship Construction in North Carolina in World War II. *The North Carolina Historical Review*, 34-53.

Taleb, N. (2012). *El cisne negro.* Barcelona: Booket.

Testin, R. (1981). Aluminum Recycling—Potential and Problems. *JOM 33*, 21-25.

Thayer, H. H. (1924). *A Pocket Book of Ship Materials and Their Uses: For the use of All Interested in the Design, Construction or Operation of Vessels of any Description, or Their Machinery or Equipment.* New York: Simmons-Boardman Publishing Company.

The Catholic Historical Review. (1917). Historical Criticism. *The Catholic Historical Review, 3(3)*, 368-371.

Thearle, S. J. (1910). *The Modern Practice of Shipbuilding in Iron and Steel.* London: Collins Clear Type Press.

Thomas, C. (2006). *Lamentable Intelligence from the Admiralty: The Sinking of HMS Vanguard in 1875.* Dublin: Nonsuch Publishing.

Till, G. (2009). *Seapower: A Guide for the Twenty-First Century.* New York: Routledge.

Togores, J. (1877). Reseña Histórica de la Marina de Guerra. *Revista General de Marina*, 89-112.

Tracy, J. (1990). *The Rise of Merchant Empires: Long Distance Trade in the Early Modern World 1350-1750 (Studies in Comparative Early Modern History).* Cambridge: Cambridge University Press.

Trejo Barajas, D. (2006). El puerto de San Blas, el contrabando y el inicio de la internacionalización del comercio en el Pacífico Noroeste. *Tzintzun. Revista de Estudios Históricos, núm. 44*, 11-48.

Tucker, R. (1977). *Fitting Out Ferrocement Hulls.* London: Adlard Coles Limited.

UNCTAD. (2021, Marzo 19). *Merchant fleet*. Retrieved from Merchant fleet: https://stats.unctad.org/handbook/MaritimeTransport/MerchantFleet.html

Unión Europea. (2015). *Los bosques, el clima y la gente.* Luxemburgo: Oficina de publicaciones de la Unión Europea.

United Fruit Company. (1937). *United Fruit Company, its activities at home and in the tropics.* Boston.

Valdaliso, J. M. (1998). Nacimiento y desarrollo de la industria naval del hierro y el acero en el País Vasco: el caso de Vizcaya (c.1889-1979). *Revista de Estudios Marítimos del País Vasco*, 307-325.

Valdaliso, J. M. (2005). La industria de construcción naval y los mercados exteriores durante el Desarrollismo franquista. *VIII Congreso de la Asociación Española de Historia Económica* (pp. 1-27). Santiago de Compostela: Asociación Española de Historia Económica.

Valdés, N. (1866). *Maderas de las islas de Cuba y santo domingo.* Madrid: Imprenta del Memorial de Ingenieros.

Valdez-Bubnov, I. (2019). Navíos para un imperio global: la construcción naval y la matrícula de mar en España, América y Filipinas durante el largo siglo XVIII (1670-1834). *Espacio Tiempo y Forma Serie IV Historia Moderna*, 123-159.

Valle Cabezas, J. (2020). El cambio de construcción en la Armada Española en el siglo XVIII. Del sistema inglés al sistema francés. *Revista general de marina*, 299-314.

Veal, R. (2017). The Politics and Economics of Ancient Forests: timber and fuel as levers of Greco-Roman control. In P. Derron, *In Derron, P. Hardt Foundation, Economie et inégalité: Ressources, échanges et pouvoir dans l'Antiquité classique.* (pp. 317-367). Suiza: Hardt Foundation.

Velarde Fuertes, J. (1997). Aspectos navales en relación con la crisis de Cuba (1895-1898). *Aspectos navales en relación con la crisis de Cuba (1895-1898)* (pp. 7-22). Madrid: Instituto de Historia y Cultura Naval.

Velasco, R., & Plaza, M. B. (2003). La industria española en democracia, 1978-2003. *Economía industrial*, 155-180.

Vigueras González, M. (2002). *El transporte de madera por flotación y carretería, desde los bosques de Sierra Segura hasta Sevilla y los Arsenales de La Carraca (Cádiz) y Cartagena, durante los siglos XVIII y XIX (1734/1833).* Madrid: Puertos del Estado.

Vivier, N. (2007). Los intereses en torno a la propiedad colectiva en Francia, siglos XVIII-XIX. *Signos Históricos, núm. 17*, 114-137.

Ward, C. &. (2010). Evidence for Pharaonic Seagoing Ships at Mersa/Wadi Gawasis, Egypt. *International Journal of Nautical Archaeology, 39*, 27-43.

Ward, J. (1994). The Industrial Revolution and British Imperialism, 1750-1850. *The Economic History Review 47, no. 1*, 44-65.

Warde, P. (2006). Fear of Wood Shortage and the Reality of the Woodland in Europe, c.1450-1850. *History Workshop Journal Year*, 28-57.

Whitener, J. R. (1971). *Ferro-cement boat construction.* Cambridge: Cornell Maritime Press.

Whitworth, J. (1875). On Fluid Compressed Steel and Guns. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 268-305.

Williams, M. (2006). *Deforesting the earth: from prehistory to global crisis.* Chicago: The University of Chicago Press.

Wilson, J. D. (2013). The Coordinated Rise of the Japanese Steel Industry. In *Governing Global Production. International Political Economy Series* (pp. 37-58). London: Palgrave Macmillan.

Witsen, N. (1671). *Aeloude and hedendaegsche Scheepsbouw en Bestier.* Amsterdam: Casparus Commelijn, Broer en Jan Appelaer, Boeck-verkoopers.

Wright, Q. (1942). *A study of war.* Chicago, Ill: University of Chicago Press.

Wrigley, E. A. (1962). The Supply of Raw Materials in the Industrial Revolution. *The Economic History Review, 15*, 1-16.

Zakaria, N., Ali, M., & Hossain, K. (2012). Underlying problems of ship recycling industries in Bangladesh and way forward. *Journal of naval architecture and marine engineering, vol. 9,* 91-102.

Zwick, D. (2014). Conceptual Evolution in Ancient Shipbuilding: An Attempt to Reinvigorate a Shunned Theoretical Framework. In J. Adams, & J. Rönnby, *Interpreting Shipwrecks — Maritime Archaeological Approaches* (pp. 46-71). Southampton: Highield Press.

Понкратов, Д. В., & Мартинес, Х. П. (2020). Как выглядел «Пайлот»? *Гангут* (120/2020), 3-12.

Anexos

Listado de barcos

Barcaza de Khufu (c.2500 a.C.)
San Juan (S.XVI)
Regent (1488)
Sovereign (1488)
Mary Rose (1512)
Henry Grace à Dieu (1514)
Batavia (1628)
Vasa (1628)
Vanguard (1631)
Royal Katherine (1664)
Royal Louis (1667)
Royal James (1671)
Royal Louis (1692)
Vittorio (1716)
Royal William (1719)
Princesa (1730)
Real Felipe (1732)
Nueva España (1734)
Namur (1756)
Royal George (1756)
Alarm (1758)
Victory (1765)
San Juan de Nepomuceno (1766)
Santísima Trinidad (1769)
Purísima Concepción (1779)
San Ildefonso (1785)
Leiden (1786)
Montañés (1794)
Arrow (1796)
Constitution (1797)
Lady Nelson (1798)
Wolverine (1798)
Albion (1802)
Charlotte Dundas (1802)
Salsette (1805)
Guerriere (1806)
Clermont (1807)
Justitia (1807)
Minden (1810)
Impregnable (1810)
Najaden (1811)
Comet (1812)
Cornwallis (1813)
Nelson (1814)
Demologos (1815)
Howe (1815)
St. Vincent (1815)
Real Fernando (1817)
Vulcan (1817)
Neptuno (1819)
Monkey (1820)
Aaron Manby (1822)
Comet (1822)
Lightning (1823)
Unicorn (1824)
Alburkah (1832)
Rhadamanthus (1832)
Salamander (1832)
Lady Lansdowne (1833)
Isabel II (1834)
Delfín (1836)
Sirius (1837)
Nemesis (1839)
Hindustan (1841)
SS Great Britain (1843)
Alerta (1845)
Blasco de Garay (1845)
Terrible (1845)
Vigilante (1845)
Vulcano (1845)
Nuevo Balear (1847)
Cid (1848)
Megaera (1849)
General Armero (1852)
Cleopatra (1853)
Berenguela (1854)
Asturias (1857)
Jovellanos (1857)
Petronila (1857)
Santa Teresa (1858)
SS Great Eastern (1858)
Blanca (1859)
Ictíneo (1859)
Concepción (1860)
Gloire (1860)
Lealtad (1860)
Leinster (1860)

Warrior (1860)
CSS Virginia (1862)
Pilot (1862)
Tetuán (1862)
USS Monitor (1862)
H. L. Hunley (1863)
Numancia (1863)
Ictíneo II (1864)
Gerona (1865)
Dreadnought (1875)
Castor (1878)
Pollux (1878)
Infanta Isabel (1885)
Pelayo (1887)
Torp. sub. de Isaac Peral (1888)
Alfonso XII (1891)
Fram (1892)
Marqués de Molins (1892)
Mignon (1892)
Lepanto (1893)
Vendeness (1893)
Aluminia (1894)
Le Foudre (1894)
Defender (1895)
Terrible (1895)
Sokol (1895)
Ermak (1899)
Neuenfels (1901)
Georgios Averof (1910)
Isaac Peral (1916)
A-3 (1917)
Cosme García (1917)
Narciso Monturiol (1917)
Elcano (1918)
SS Atlantus (1918)
Kanguro (1919)
Manshu Maru (1920)
MS Fullagar (1920)
B-1 (1921)
Artza Mendi (1921)
Conde de Churruca (1921)
Arnus (1922)
B-6 (1926)
Juan Sebastián Elcano (1927)
Tela (1927)
Campoamor (1930)
Canarias (1931)
Baleares (1932)
SS Normandie (1932)
Chenango (1939)
Suwannee (1939)
Aluminaut (1942)
Hoggatt Bay (1943)
SS David O. Saylor (1943)
SS Vitruvius (1943)
Achernar (1943)
Cabot (1943)
Triumph (1944)
Salerno Bay (1944)
Noble (1944)
Tiger (1945)
Palau (1945)
Liniers (1946)
Álava (1947)
D-1 (1947)
Lemos (1961)
SS France (1962)
Belknap (1963)
Alvin (1964)
Red Jacket (1966)
Dédalo (1967)
John F. Kennedy (1967)
Arteaga (1972)
Barranca (1972)
Bayano (1972)
Malaspina (1973)
Tofiño (1973)
Antares (1974)
Rigel (1974)
HMS Invincible (1977)
Galerna (1981)
Príncipe de Asturias (1982)
Patiño (1994)
Chakri Naruebet (1996)
Juan Carlos I (2008)

Reproducciones

Olympias (1987)
Nao Victoria (1991)
Min of the Desert (2008)
Witte Swaen (2018)
Nao San Juan (¿?)
Bergantín Gálveztown (¿?)

Clase

Perseverance (1781)
Canopus (1798)
Leda (1805)
Temerario (1889)
Pisa Georgios Averof (1910)
A - Tipo Laurenti (1917)
S-boats (1918)
B (1922)
Alsedo (1922)
C (1927)
Churruca (1927)
Yamato (1940)
Liberty (1941)
Fletcher (1942)
Balao (1942)
Montana (Cancelado)
Alaska (1943)
C-1-S-D1 (1943)
Colossus (1943)
Bidasoa (1943)
Pizarro (1944)
Victory (1944)
Liniers (1946)
Audaz (1951)
Guadalete (1952)
Oquendo (1956)
Júcar (1956)
Leander (1961)
Daphne (1964)
Castor (1964)
Knox (1966)
Baleares (1970)
Delfín (1973)
Malaspina (1973)
Lazaga (1975)
Barceló (1975)
Descubierta (1975)
Oliver Hazard Perry (1976)
Agosta (1977)
Sovremenny (1978)
Galerna (1981)
Santa María (1986)
Segura (1997)
Álvaro de Bazán (2000)
Scorpène (2003)
Fridtjof Nansen (2004)
Guaiquerí (2009)
FREMM (2010)
Canberra (2011)
Al-Jubail (2020)
Tipo 26/City (2022)
Bonifaz (2026¿?)

Listado de árboles y plantas

Abeto[1]
Acacia[2]
Ácana
Álamo negro
Almez
Bálsamo
Baria blanca
Boj
Cáñamo
Canelo[3]
Caoba
Caobo[4]
Capá-rota
Castaño
Cedro[5]
Ceiba
Chicharrón
Ciprés[6]
Dagame
Despotaki[7]
Ébano
Encina
Enebro
Eucalipto
Falsa acacia[8]
Fresno
Frijolillo
Fustete
Granadillo
Guaba
Guachapeli
Guayacán[9]
Haya
Henequén[10]
Instia[11]
Iroko
Jagua
Laban[12]
Laurel[13]
Maboa blanca
Majagua blanca
Mangle
Meranti
Molave[14]
Morera salvaje[15]
Naranjo silvestre
Niangon
Nogal[16]
Ocuje
Olivo[17]
Olmo[18]
Palmera[19]
Palo de Brasil
Palo de hierro de borneo[20]
Palo María[21]
Picea[22]
Pino[23]
Quiebrachacha
Roble[24]
Sabicú[25]
Sabina[26]
Sicomoro[27]
Teca[28]
Tejo
Yaba
Yamagua
Yana
Zapote

Citados en el texto también como:
[1]Blanco, Abies, de Memel, Douglas
[2]Acacia Nilótica
[3]Drimys winteri
[4]Swietenia macrophylla
[5]Lista, Rojo/Cedrela odorata, Juniperus bermudiana

[6]Cupressus sempervirens
[7]Melia, Fraxos
[8]Robina seudoacacia
[9]Lignum vitae
[10]Agave fourcroydes
[11]Instia bijuga
[12]Vitex pinnata
[13]Prieto
[14]Vitex parviflora
[15]Morus alba
[16]Juglans regia
[17]Acebuche, Olea europaea
[18]Karagatsi/Ftelia
[19]Arenga pinnata, Cocos nucifera, Palma
[20]Eusideroxylon zwageri
[21]Calophyllum brasiliense
[22]Abies, resinera
[23]Amarillo, blanco del este, canadiense/Pinus strobus, de Oregón, Griego-Samos/Mytilene, Pitch, Robolo
[24]Melojo, Blanco, Quercus robur, Quercus alba, Quercus virginiana
[25]Lysiloma sabicú
[26]Juniperus thurifera
[27]Ficus sycomorus
[28]Tectona grandis