UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

La evolución de la construcción naval militar debido a la escasez de material entre los reinados de Felipe V a Felipe VI. Los fenómenos de la importación y exportación naval

TESIS DOCTORAL

Presentada para optar al título de Doctor por:

Jaime Pérez Martínez
Máster Universitario en Ingeniería Naval y Oceánica

Madrid, 2024

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Doctorado en Ingeniería Naval y Oceánica

La evolución de la construcción naval militar debido a la escasez de material entre los reinados de Felipe V a Felipe VI. Los fenómenos de la importación y exportación naval

TESIS DOCTORAL

Presentada para optar al título de Doctor por:

Jaime Pérez Martínez
Máster Universitario en Ingeniería Naval y Oceánica

Bajo la dirección de:
Dr. Rodrigo Pérez Fernández

Madrid, 2024

Título: La evolución de la construcción naval militar debido a la escasez de material entre los reinados de Felipe V a Felipe VI. Los fenómenos de la importación y exportación naval

Autor: Jaime Pérez Martínez

Programa de Doctorado: Doctorado en Ingeniería Naval y Oceánica

Dirección de tesis:

Dr. Rodrigo Pérez Fernández, profesor asociado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (Director)

Revisores externos:

Tribunal de tesis:

Fecha de defensa:

A mi familia,

Agradecimientos

Por medio de la presente, deseo expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a las personas e instituciones que han contribuido de manera significativa en la elaboración y culminación de esta tesis doctoral.

Un especial reconocimiento va dirigido a mi director de tesis, el doctor ingeniero naval Rodrigo Pérez Fernández. Su constante apoyo, asesoramiento y supervisión han sido los pilares fundamentales en el desarrollo de esta investigación. Su dedicación y compromiso no solo han enriquecido este trabajo, sino que también han dejado una huella indeleble en mi formación como investigador.

Asimismo, mi gratitud se dirige a la Universidad Politécnica de Madrid, mi alma mater, y en especial a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Esta institución no solo ha sido el escenario de mi crecimiento académico, sino también una fuente de conocimiento y excelencia. Es por ello que me siento afortunado de mi paso por el Departamento de Arquitectura, Construcción y Sistemas Oceánicos y Navales.

Al *Royal Institution of Naval Architects* que, desde el comienzo de la tesis, pusieron todos los recursos disponibles para el enriquecimiento del trabajo. Su constante colaboración y disponibilidad de material bibliográfico han sido elementos cruciales para alcanzar los objetivos planteados en esta tesis. También al *Royal Museums Greenwich* y, en particular, al comisario de modelos, Simon Stephens, por la oportunidad de desarrollar una fascinante investigación entre su colección.

A la Armada Española, por ser fuente de inspiración y encarnación del espíritu nacional de audacia e innovación a través de los siglos. A sus publicaciones, por su apoyo en la divulgación de este estudio y al museo naval por su incalculable apoyo archivístico.

A mi esposa, Carla, le extiendo mi más sincero agradecimiento. Su paciencia, comprensión y apoyo constante han sido refugio y motivación en los momentos más desafiantes de este proceso. También quiero expresar mi gratitud a toda mi familia y amigos, cuya comprensión y ánimo han sido un constante recordatorio de la importancia de esta etapa académica.

Estas líneas de agradecimiento también van dirigidas a todos aquellos que durante este periodo han ayudado a que esta tesis sea hoy una realidad.

Abstract

Naval construction, inherently linked to available resources, highlights the complex interplay between materials, economics, politics, and technology. This study addresses the interdependence of resources such as labour, training, and raw materials, as well as the influence of economic and technological factors on industrial and naval development, framed within the period extending from the flourishing of naval science in the 18th century to the present, aiming to glimpse the future of the sector and lay the groundwork for new studies. The relevance of resource accessibility in the global landscape and the importance of international commitment to protecting natural resources are emphasized.

The research reveals how resource scarcity has, at times, driven innovation in naval construction. A significant transition in the materials used is observed, with a considerable allocation to wood, reflecting changes in the economy and technology, and vice versa. Additionally, a growing focus on sustainability and the circular economy in the naval industry is evident. Political decisions, scientific and technological advancements, where excellence and training in this scientific field have played a leading role, have set the course for naval progress.

The study employs the historical method, and through the identification of historical patterns and current trends, analyses the impact of materials and decisions on naval construction. The interpretation of sources is conducted considering both their historical context and present-day relevance.

The text concludes that naval construction is strongly influenced by the availability of resources, technological advancements, and economic factors, requiring a long-term approach by the State or governing bodies. Adaptation and innovation in response to resource scarcity have been persistent in naval history and are expected to continue. Furthermore, the critical importance of scientific knowledge and education in advancing this discipline is underscored. A key conclusion of the study is the acute relevance of technology transfer in naval construction. This transfer has entailed both opportunities and risks. On one hand, it has allowed countries to rapidly adopt new technologies and construction techniques, enhancing fleet efficiency and capabilities. On the other hand, it poses significant risks related to technological dependence and loss of industrial autonomy, reinforced by a growing consolidation in the defence sector. Among the technologies comprising Industry 4.0, integrated computer aided design tools

represent an advancement in optimizing processes. Therefore, this work supports their use in the early stages of naval design and throughout the design process and lifecycle, following the rationalization of materials and standardization of processes introduced three centuries earlier.

The transition of materials throughout history has significantly shaped the naval industry, with implications for both national and global policies. Naval construction is at a critical juncture where effective management of technology transfer, risk mitigation, and opportunity exploitation are essential for the sustainable future of the industry. Protecting and developing the national industrial base, along with continuous investment in research and education, are key to ensuring a robust naval industry and a sustainable future.

Resumen

La construcción naval, la cual se encuentra intrínsecamente vinculada a los recursos disponibles, pone de relieve la compleja relación entre materiales, economía, política y tecnología. Este estudio aborda desde la interdependencia de recursos como mano de obra, formación y materias primas hasta la influencia de factores económicos y tecnológicos en el desarrollo industrial y naval, enmarcado en el periodo que comprende desde el florecimiento de la ciencia naval en el siglo XVIII hasta el presente, con el objetivo de vislumbrar el futuro del sector y sentar las bases de nuevos estudios. Se destacan la relevancia de la accesibilidad a los recursos en el panorama global y la importancia del compromiso internacional en la protección de recursos naturales.

La investigación revela cómo la escasez de recursos ha impulsado, en ocasiones, la innovación en la construcción naval. Se observa una transición significativa de los materiales utilizados, con un considerable protagonismo de la madera, que se refleja en la economía y tecnología, y viceversa. Asimismo, se evidencia un creciente enfoque en la sostenibilidad y en la economía circular de la industria naval. Las decisiones políticas, los avances científicos y tecnológicos, en los cuales la excelencia y la formación en este campo científico han tenido un papel rector, han marcado las directrices del progreso naval.

El estudio emplea el método histórico y, a través de la identificación de patrones históricos y tendencias actuales, se analizan el impacto de los materiales y las decisiones en el desarrollo naval. La interpretación de las fuentes se realiza considerando tanto su contexto histórico como su relevancia en el presente.

El texto concluye que la construcción naval se encuentra fuertemente influenciada por la disponibilidad de recursos, por avances tecnológicos y por factores económicos, que requieren de un enfoque a largo plazo por parte del Estado. La adaptación y la innovación frente a la escasez de recursos han sido constantes en la historia naval y se espera que continúen. Asimismo, se subraya la crítica importancia del conocimiento científico y de la educación en el avance de esta disciplina. Una conclusión cardinal del estudio es el valor continuado de la transferencia tecnológica en la construcción naval. Esta transferencia ha ofrecido tanto oportunidades como riesgos. Por un lado, ha permitido a los países adoptar rápidamente nuevas tecnologías y técnicas de construcción, mejorando la eficiencia y la capacidad de sus flotas. Por otro lado, plantea riesgos significativos relacionados con la dependencia tecnológica y la pérdida de autonomía industrial,

reforzados por una creciente consolidación del sector de la defensa. Entre las tecnologías que conforman la industria 4.0, las herramientas de diseño asistido por ordenador, en su solución integrada, se presentan como un avance para la optimización de los procesos. Por tanto, este trabajo respalda el empleo de las mismas en etapas tempranas del diseño naval y a lo largo del proceso de diseño y del ciclo de vida, el cual sigue la estela de la racionalización de los materiales y estandarización de procesos introducidos tres siglos antes.

La transición de materiales a lo largo de la historia ha modelado significativamente la industria naval, con implicaciones tanto en políticas nacionales como globales. La construcción naval se encuentra en un punto crítico donde la gestión efectiva de la transferencia tecnológica, la mitigación de riesgos y la explotación de oportunidades resultan esenciales para el futuro sostenible de la industria. La protección y el desarrollo de la base industrial nacional, junto con una inversión continua en investigación y en educación, son determinantes para asegurar una industria naval robusta y un futuro sostenible.

Tabla de Contenido

1. Introducción y estado del arte 1

2. Metodología 19

3. Antecedentes, ¿Evolución o transición, previa a 1700? 25

3.1. Construcción y navegación en la antigüedad ... 25

3.2. La Marina de Castilla ... 33

3.3. Antecedentes, influencia extranjera y aparición de las marinas nacionales ... 41

3.3.1. Táctica naval y artillería ... 43

3.3.2. Evolución de las formas y técnica ... 46

3.3.3. Francia y el *Album de Colbert* ... 50

3.3.4. Inglaterra y el despertar naval ... 53

3.4. La iniciativa privada: Compañía de las Indias Orientales ... 57

3.5. Territorios de Ultramar ... 59

3.6. Suministro y estrategia ... 63

3.7. La Ilustración y el cambio dinástico ... 65

4. La madera ilustrada: 1700-1748 73

4.1. Desarrollo científico y obras ... 78

4.2. Transferencia tecnológica ... 82

4.2.1. El navío Vittorio (1716) ... 82

4.3. Las riquezas del Estado. Comercio y mercantilismo ... 84

4.4. Deterioro de la madera ... 87

4.5. Astilleros ... 91

4.6. Plan de crecimiento naval, tecnología y recursos ... 102

5. Los montes de Marina e Influencia extranjera: 1748-1794 103

5.1. Red de abastecimiento y pertrechos navales ... 105

5.1.1. Comercio ... 106

5.1.2. La madera en los pertrechos navales ... 107

5.1.3. Holanda: Centralización logística y VOC ... 108

5.1.4. La introducción del cobre y del latón ... 109

5.2. Ordenanza de Montes de Marina ... 110

5.2.1. Despertar de la silvicultura ... 112

5.2.2. Legislación europea previa ... 114

5.3. El roble como recurso base ... 116
5.4. Venta y transporte de la madera ... 117
5.4.1. El barco desechable y el transporte fluvial ... 120
5.4.2. El derecho al acceso a la madera ... 121
5.5. Escasez de madera y deforestación ... 122
5.5.1. Deforestación ... 127
5.6. Los Arsenales de Marina y la Junta de Constructores ... 130
5.7. Los canales, desarrollo e influencia pre y posindustrial ... 133
5.7.1. Canal de Castilla ... 133
5.7.2. Canales extranjeros ... 135
5.7.3. El carbón y su influencia en el transporte ... 137
5.8. Educación naval ... 138
5.8.1. Publicaciones ... 138
5.8.2. La ingeniería naval moderna y el Cuerpo de Ingenieros de Marina ... 143
5.8.3. Aparición de estudios de construcción naval ... 145
5.8.4. Observatorios ... 146
5.8.5. Academias ... 147
5.9. De la gloria al abismo ... 149
6. Progreso extranjero: 1794-1846 **151**
6.1. España y su Armada ... 151
6.1.1. La escuadra del Báltico y la madera de pino ... 153
6.1.2. Importancia de Cuba para financiar la campaña de reconquista ... 155
6.2. La armada norteamericana tras la independencia ... 156
6.3. Influencia de las guerras napoleónicas ... 158
6.3.1. La batalla de Lyngør y el bloqueo de la madera ... 160
6.4. La Revolución Industrial y la dependencia extranjera ... 160
6.4.1. España: carbón y siderurgia ... 164
6.5. Construcción frente a diseño ... 166
6.5.1. Quebranto ... 169
6.5.2. La teca ... 170
6.5.3. Madera de calidad, reutilización y sustitución ... 171
6.5.4. El hierro como refuerzo y sustituto ... 172
6.5.5. El apoyo a la innovación inglesa ... 174
6.6. Propulsión, la artillería del Siglo XIX ... 176
6.6.1. Artillería, avances y consecuencias ... 177
6.7. Estrategia Naval y la aparición de buques de transporte de tropas ... 179
6.8. Política de adquisiciones estratégicas y el Blasco de Garay ... 181
7. El vapor importado: 1846-1898 **185**
7.1. Contexto internacional ... 187

7.1.1. La guerra de Crimea y de secesión americana: del nacimiento al uso de los buques blindados 189
7.2. España y la madera blindada 190
7.3. Supremacía Naval desde los materiales de construcción 192
7.3.1. De la madera al hierro 193
7.3.2. El hierro para arriostrado, refuerzo, consola o escuadra 199
7.3.3. La evolución de las máquinas de vapor y la transición de paletas a hélice 200
7.3.4. Consumo de carbón 202
7.3.5. Propulsores 203
7.3.6. Máquinas y calderas 204
7.3.7. El aluminio en la construcción naval 206
7.3.8. Siderurgia española en el siglo XIX: Vapor y Acero 208
7.4. Otras innovaciones, función y diseño 210
7.4.1. El primer rompehielos 210
7.4.2. El Cid, vapor hospital y la innovación en misión 211
7.5. Decadencia de los canales 212
7.5.1. Revitalización 213
7.5.2. Los *narrowboats* como vivienda 214
7.6. Paridad tecnológica 215
8. Proyección de la fuerza: 1898-1941 217
8.1. La rezagada Industria naval y los planes navales 217
8.1.1. La siderurgia, acero en España 220
8.1.2. Siderurgia internacional 221
8.1.3. El acero como recurso estratégico 222
8.1.4. Euskalduna 223
8.1.5. La maquinaria 226
8.1.6. Petróleo 226
8.2. La política naval española 227
8.2.1. Ley de Escuadra y la SECN 228
8.2.2. La Naval, Reinosa y la producción siderúrgica 228
8.2.3. Desafíos e impacto 229
8.2.4. El Arma submarina 230
8.2.5. El ingeniero naval español a principios del siglo XX 231
8.3. La industria en general 232
8.3.1. Nuevos materiales y su clasificación 233
8.4. Escasez de materiales durante conflictos armados y el regreso de la madera 236
8.4.1. Los equipos navales como freno de la producción 241
8.4.2. Desguace naval: Aprovechamiento de materiales 242
8.4.3. Deforestación accidental: Los bosques de cedro de Bermudas 243
8.4.4. El cemento como sustituto 244
8.4.5. El Reino Unido tras la Segunda Guerra Mundial 248
8.5. La iniciativa privada y el periodo de entreguerras 248
8.5.1. La oportunidad y Horacio Echevarrieta 249

8.5.2. United Fruit Company 251
8.5.3. El Dédalo (1922) 252
8.6. Guerra y reconstrucción 254
9. Fomento de la base industrial: 1941-1982 **255**
9.1. La reconstrucción de la flota 255
9.1.1. Modernización y dependencia externa 260
9.2. Siderurgia, industria y política arancelaria 262
9.2.1. Arancel de 1960 264
9.2.2. Acero en el equilibrio global 264
9.3. Construcción civil: De la parálisis al desarrollo 271
9.3.1. Otros avances en España 272
9.3.2. Decadencia inglesa 273
9.4. Innovación en otros materiales 273
9.4.1. Del hormigón al ferrocemento 273
9.4.2. Fibra de vidrio 278
9.4.3. El aluminio avances y abandono 279
9.5. Resultados incipientes y fortalecimiento industrial 280
10. Resurgimiento y concienciación: 1982-2035 **283**
10.1. La fabricación de unidades 284
10.1.1. La industria española 285
10.1.2. Gestión de procesos 285
10.2. Exportación y tendencias 286
10.2.1. Sector de la defensa 287
10.2.2. Promoción del tejido Industrial 288
10.2.3. Efectos de las políticas navales 290
10.2.4. Consolidación de la base industrial 291
10.3. Costes y cadena de suministro 293
10.3.1. Modelos de Cooperación 296
10.3.2. El fenómeno del espionaje y el arquitecto-espía 297
10.4. Transferencia Tecnológica 300
10.4.1. Diplomacia Naval 300
10.4.2. Centros culturales y educación 302
10.4.3. Navegación Estratégica: China y la Ruta marítima de la seda 303
10.4.4. Las naves negras y la diplomacia de cañonero 304
10.5. Los recursos 305
10.5.1. Escasez de recursos 306
10.5.2. Guerra y los recursos 311
10.5.3. El papel de la Defensa en la conservación ambiental 312
10.6. Madera en la actualidad 315
10.6.1. Madera en España desde el siglo XX 316

10.6.2. La amenaza del Teredo continúa: Obra civil 317
10.6.3. Carpintería naval y el carpintero de ribera 319
10.6.4. Legado de los bosques históricos 322
10.7. Desguace 324
10.8. Industria 4.0 y los materiales de construcción naval 329
10.8.1. Caso práctico: Incorporación del CAD a las fases iniciales de diseño 333
11. Conclusiones 337
Conclusions 347
Referencias 357
Anexos 389
Listado de barcos 391
Listado de árboles y plantas 395

Lista de Figuras

Figura 1.1: Crecimiento Armada Española s.XVIII. Fuente: Elaboración propia a partir de Fernández Duro (1880).....3

Figura 1.2: Evolución de los buques portaaeronaves en España. Fuente: Elaboración propia 5

Figura 2.1: Proceso y metodología histórica. Fuente: Elaboración propia 22

Figura 3.1: *Las siete partidas del Rey Don Alfonso el Sabio,..* Fuente: RAH (1807).....34

Figura 3.2: Extracto de la recopilación de leyes de los Reinos de Indias. Fuente: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes.....39

Figura 3.3: *Instrucción y Reg*... (1563), *El Perfeto Artillero* (1642) y *New principles*… (1742). Fuente: BNE y University of Michigan 44

Figura 3.4: Etapas del proceso descritos en Witsen (1671).....49

Figura 3.5: Placas 1,3,7 y 24 extraídas del Album de Colbert 52

Figura 3.6: Material de la Galera basado en Crescenzio Romano (1607).....65

Figura 3.7: *Expériences sur la force du bois* por M. de Buffon (1741).....67

Figura 4.1: Secretarías del Despacho Universal. Fuente: Elaboración propia.....76

Figura 4.2: Fotografía del modelo estudiado. Fuente: Tomada por el autor.....84

Figura 4.3: Láminas representando el Teredo. Sellius (1733). Fuente: Biodiversity Heritage Library 88

Figura 4.4: Astilleros relevantes Siglo XVIII. Fuente: Elaboración propia 92

Figura 4.5: *Carta Hydrographica y Chorographica de las Yslas Filipinas* (1734) y *Plano del puerto de Cavite* (1753). Fuente: BNE y PARES.....94

Figura 4.6: Plano Real Astillero de la Habana en la Isla de Cuba y Plano de la villa y arsenales del Ferrol. Fuente: US Library of Congress y Biblioteca de Galicia 98

Figura 5.1: Gruesos de madera según las indicaciones de Romero de Landa (1784) 117

Figura 5.2: *Planos de un Lanchón para custodia de los Arsenales y descarga del Cañamo* (1790), *Plano de una Anguila para conducir Maderas y otros varios fines* (1790-1807?),

Naupotamo para transportar efectos fuera de los Puertos. Chata para uso de Pescante de Arbolar y dar de Quilla a Navios del primer Orden (1790-1807?). Fuente: BNE 118

Figura 5.3: Benson Raft y belyana. Fuente: Oregon Historical Society y Museo-Reserva de Rybinsk 121

Figura 5.4: Proyecto del canal de Castilla. John Muller, 1769. Fuente: BNE.....133

Figura 5.5: Perfil, cubierta y secciones (izq.), perfil, cuadernas y baterías de fragata corsaria (dcha.). Fuente: Fredrik Henrik af Chapman *Architectura Navalis Mercatoria* (1768).....140

Figura 6.1: Comparación de cuaderna maestra de fragata de 38 cañones de Gabriel Snodgrass. Fuente: Extraída de House of Commons (1803).....166

Figura 6.2: Disposición de las riostras en el navío danés de 74 cañones Justitia (1807) ejemplificadas en Seppings (1818).....167

Figura 6.3: PS Comet. Fuente: Science & Society Picture Library.....175

Figura 6.4: Especies de árboles con sus características y piezas de barco a extraer (Goujon, 1803) 180

Figura 6.5: Vapor Real Fernando. Fuente: Museo Naval de la Torre del Oro de Sevilla.....182

Figura 6.6: Blasco de Garay y Astillero de Wigram & Sons en 1843. Fuente: Historic Shipping y London County Council (1994) 183

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 190

Figura 7.2: Buque Fram y Modelo. Fuente: Autor.....194

Figura 7.3: *An essay on magnetic attractions.* Barlow (1824). Fuente: Wellcome Collection.....196

Figura 7.4: Extracto del Lloyd´s Register 1838. Registro del buque Sirius. Fuente: LR.....198

Figura 7.5: Modelo del primer rompehielos. Fuente: Elaboración propia 210

Figura 7.6: Sello postal del 200 aniversario del nacimiento de M. Britnev. Fuente: Mapka.211

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.) 237

Figura 8.2: Planos de buques de bloqueo. Fuente: DNC Department Admiralty 247

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 252

Figura 8.4: C30 despegando del buque Dédalo, Valencia 1934. Fuente: RGM 253
Figura 9.1: Estructura del Ferrocemento. Fuente: Elaboración propia.....274
Figura 9.2: Cuadernas de buque pesquero en Ferrocemento. Fuente: FAO 278
Figura 10.1: Dique LHD Juan Carlos I. Fuente: JICOFER (Armada Española).....321
Figura 10.2: Portaaviones Príncipe de Asturias (R-11) previo a su desguace. Fuente: Surus328
Figura 10.3: Tecnologías asociadas con la Industria 4.0. Fuente: Elaboración propia 329

Lista de Tablas

Tabla 3.1: Listado de compañías de las Indias Orientales 58

Tabla 3.2: Otras compañías 58

Tabla 4.1: Astilleros peninsulares relevantes 96

Tabla 4.2: Astilleros de Ultramar relevantes 96

Tabla 5.1: Textos notables 115

Tabla 5.2: Propiedades de las maderas: roble, pino laricio, pino rojo y cedro 116

Tabla 7.1: Relación de maderas de la fragata Gerona (1865). Fuente: Plá y Rave (1880) 191

Tabla 10.1: Consolidación del mercado de defensa norteamericano 291

Abreviaturas y Acrónimos

AESA	Astilleros Españoles, S.A.
AHV	Altos Hornos de Vizcaya
BIMCO	Baltic and International Maritime Council
BNE	Biblioteca Nacional de España
BOE	Boletín Oficial del Estado
Btu	British thermal unit
BuShips	Bureau of Ships
CAD	Computer Aided Design
CEE	Comunidad Económica Europea
CEHIPAR	Centro de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo
COMESAR	Comisión de Estudios de la Armada
COIN	Colegio Oficial de Ingenieros Navales
CPS	Cyber Physical System
CPU	Central Processing Unit
CRM	Critical Raw Materials
CV	Caballos de Vapor
DCNS	Direction des Constructions Navales
DoD	Department of Defense
EDIC	Engina de débarquement d'infanterie et de chars
EFC	Emergency Fleet Corporation
EIC	East India Company
ERP	Enterprise Resource Planning
ESG	Environmental, Social and Governance
ETR	Elementos de Tierras Raras
FAO	Food and Agriculture Organization

FLOAN	Flotilla de Aeronaves
FORAN	FORmas ANalíticas
FREMM	Frégate Européenne Multi-Missions
FRP	Fibre-reinforced plastic
GPU	Graphics Processing Unit
GRP	Glass Reinforced Plastic
GWP	Global Warming Potential
HMS	His/Her Majesty's Ship
IACS	International Association of Classification Societies
IHP	Indicated Horse Power
INI	Instituto Nacional de Industria
IoT	Internet of Things
ISM	International Safety Management
ISO	International Organization for Standardization
ITTC	International Towing Tank Conference
IVS	Ingenieurskantoor voor Scheepsbouw
JICOFER	Jefatura Inspección de Construcciones del Arsenal de Ferrol
LCA	Life Cycle Assessment
LCVP	Landing Craft Vehicle and Personnel
LHD	Landing Helicopter Dock
LPD	Landing Platform Dock
LR	Lloyd´s Register
MTO	Material Take-Off List
OBO	Ore-bulk-oil carrier
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OMI	Organización Marítima Internacional
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte

PARES	Portal de Archivos Españoles
PLM	Product Lifecycle Management
PRFV	Poliéster Reforzado de Fibra de Vidrio
PS	Paddle Steamer
PSI	Pound per square inch
PYME	Pequeña y Mediana Empresa
RAH	Real Academia de la Historia
RESHIPLO	Resident Shipbuilding Liaison Office
RGM	Revista General de Marina
RMA	Revolution in Military Affairs
ROI	Return on Investment
SBRI	Ship Breaking and Recycling Industry
SECN	Sociedad Española de Construcción Naval
SEPI	Sociedad Estatal de Participaciones Industriales
SGA	Sistema de Gestión Ambiental
SIPRI	Stockholm International Peace Research Institute
SS	Steam Ship
TPM	Toneladas de peso muerto
UE	Unión Europea
UFCO	United Fruit Company
UNCLOS	United Nations Convention on the Law of the Sea
UPM	Universidad Politécnica de Madrid
USS	United States Ship
V/STOL	Vertical/Short Take-Off and Landing
VOC	Verenigde Oostindische Compagnie

1. Introducción y estado del arte

La construcción naval, como disciplina dentro del término más amplio de la ingeniería, depende sobre manera de los recursos disponibles. A primera vista esta aseveración puede parecer trivial, pero, detrás de ella, se esconden ciertos elementos que han definido y siguen definiendo el avance científico. Convenientemente, los términos innovación e ingenio son relacionados a menudo con la falta de medios materiales o de técnica.

Los recursos deben ser entendidos en todas sus facetas, incluyendo la mano de obra, la formación, la economía o la financiación y, por supuesto, las materias primas. Además, el concepto de accesibilidad es crítico para entender el problema de forma global.

El título de esta tesis alude a la escasez de materiales, enfocándose no solo en las materias primas destinadas a la construcción naval, sino también en cómo la interrelación entre los materiales, la economía y la tecnología es crucial para debatir y entender el desarrollo industrial. En este ámbito, gran parte de este estudio se centra en la madera, la cual, en ocasiones, ha sido sustituida y, en otras, ha desplazado a otros recursos.

En estas últimas décadas, ha germinado un compromiso internacional relativo a la protección de los recursos naturales de la tierra cuyo origen se remonta a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano de junio de 1972 (Naciones Unidas, 1972). Asimismo, la competencia de dichos recursos, junto con la concentración de los mismos, en un número limitado de regiones, causan un desafío añadido al desarrollo. También, dicha situación incrementa el riesgo en la estabilidad y crecimiento de las economías que dependen directamente del suministro de materias primas fundamentales, las cuales requieren de una estrategia que limite esa dependencia, como es el caso de la estrategia industrial para Europa (Comisión Europea, 2020).

Este uso responsable de los recursos materiales, unido a los requerimientos logísticos no es algo particular del siglo XXI, sino que ha formado parte del desarrollo humano desde hace centurias, queda amplificado con la globalización y

la mayor demanda de estos en regiones limitadas en recursos naturales pero con gran desarrollo industrial.

La escasez de material es un problema que puede mayoritariamente interpretarse desde dos puntos de vista antagónicos (Koehler, Bakker, & Peck, 2010). Por un lado "existencias finitas" y por otro "coste de oportunidad", el cual se apoya en el concepto introducido por el austríaco **Friedrich von Wieser** (1851-1926). Mientras que el primero entiende el agotamiento de los recursos como inevitable, con la consiguiente pérdida de materiales útiles. El segundo confía en las dinámicas del mercado para regularse, teniendo una actitud más positiva respecto a este dilema.

El desarrollo naval requiere de un profundo análisis retrospectivo, mediante el cual, identificar situaciones análogas a las actuales y a las futuras. Debido a las complejas relaciones comerciales desde la antigüedad, el empleo del término naval será para buques y embarcaciones militares a no ser que se indique lo contrario.

Si la madera fue un recurso de gran valor estratégico hasta el siglo XIX, hemos virado nuestro interés hacia otros materiales para la construcción. El acero, preponderante en la construcción naval actual, tiene un suministro más asegurado o constante. En contraposición, las nuevas tecnologías empleadas en los sistemas navales exigen otros recursos materiales, entre los que se encuentran el litio y el cobalto de creciente popularidad en las baterías. Un caso extremo se encuentra en los elementos de tierras raras (ETR) importados por la Unión Europea, que provienen en un 98% de China (Comisión Europea, 2020), lo que manifiesta ese significativo grado de concentración.

De esto se infiere que el fomento de la economía circular es transcendental no sólo para la reducción de residuos o del consumo energético, sino para mantener la reserva de materias primas. Este requiere de unas políticas de reciclaje cuyo objetivo es recuperar materiales de gran interés económico o cuyo suministro no esté debidamente asegurado.

El riesgo de suministro de las materias primas fundamentales, CRM en su acrónimo en inglés, es un desafío que está siendo estudiado por instituciones nacionales, supranacionales y académicas. Respecto a los indicadores empleados, nos podemos referir al trabajo de **Achzet y Helbig**, que identificaron una serie de indicadores para la evaluación de los riesgos de suministro extraídos de 15 trabajos relevantes (Achzet & Helbig, 2013). De estos se pueden destacar: la concentración regional, los riesgos políticos, el tiempo de agotamiento, la dependencia de los subproductos, el crecimiento de la demanda, el potencial de reciclaje, la capacidad

de sustitución, la concentración de empresas productoras de materias primas, la dependencia de las importaciones y el precio de las materias primas.

Por ello, el presente trabajo centrará su interés en la evolución de la construcción naval occidental con el punto de mira en los materiales empleados. Estos han sido tan variados como las técnicas constructivas, los métodos de evaluación y la gestión de las enseñanzas navales. Existen comunidades que no desarrollaron grandes capacidades navales. En algunos casos podríamos hasta considerarlas primitivas, pero encontraron el equilibrio con su entorno. Los europeos, debido a nuestra situación geopolítica, al afán expansionista y de descubrimiento, requirieron de una tecnología que avanzó según los objetivos a cumplir.

La construcción naval moderna española tiene su origen en 1770 y su evolución ha estado marcada por diversos factores económicos y políticos. (Pérez-Martínez, 2020) Por ello, para buscar una equivalencia en el desarrollo tecnológico actual se ha considerado el siglo XVIII como referente.

El extraordinario crecimiento de la Armada Española en el transcurso de ese siglo puede ilustrarse en el gráfico siguiente (Figura 1.1).

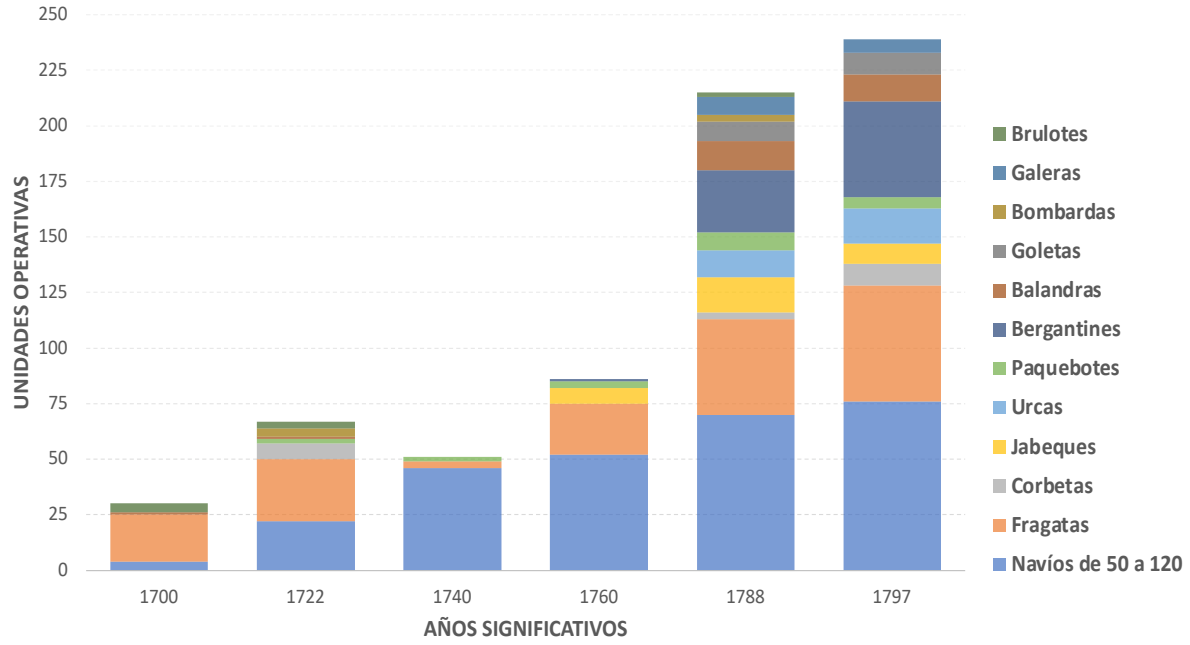


Figura 1.1: Crecimiento Armada Española s.XVIII. Fuente: Elaboración propia a partir de Fernández Duro (1880)

La ingeniería naval española, particularmente la militar, ha tenido un gran despertar tecnológico en los últimos 50 años. Actualmente, España se encuentra entre los principales exportadores de tecnología naval del mundo, a la altura de nuestros socios europeos, con los que tenemos y hemos tenido una relación

estrecha. En el periodo comprendido entre 2019 y 2020, España se sitúa en el sexto puesto de los exportadores de armas del mundo, según el Instituto Internacional de Estudios para la Paz de Estocolmo (SIPRI: su acrónimo en inglés). Esto no es debido a las armas convencionales, como puede ser armamento ligero sino vehículos y, principalmente, buques militares, tema que se tratará detenidamente más adelante.

El diseño naval español ha permitido a su Armada dejar de depender de compras extranjeras y tomar el control total de las etapas de diseño y construcción. Esta nueva etapa ha ofrecido a la flota una hornada de buques que incluyen corbetas, cazaminas, fragatas, submarinos, y más recientemente, buques de proyección estratégica. La clase **Bonifaz**, actualmente en fase de diseño y construcción, será un nuevo hito en la construcción naval española que acertadamente toma el nombre del primer Almirante de Castilla[1]. Los últimos éxitos comerciales han puesto en la vanguardia tecnológica a la industria naval española cuyo futuro inmediato se ve con creciente optimismo.

Como ejemplo de esta evolución, se destacará un concepto relativamente moderno como es el buque portaaeronaves (Figura 1.2). Se debe tener en cuenta que la Aviación Naval española nace en el año 1917 y toma su actual denominación *Flotilla de Aeronaves* (FLOAN) a partir de 1954. El primer portaaeronaves, español fue el **Dédalo**, fruto de la conversión de un buque civil realizada en el año 1922. Años después se crea otra unidad con el mismo nombre, por lo que se señala, para evitar su confusión, con la denominación más moderna **Dédalo** (R-01) adquirido a la Armada de EE.UU. en 1967. Tras ello, aparece un buque de gran relevancia en el contexto naval mundial como es el **Príncipe de Asturias** (R-11). Este portaaviones de bajo porte proporcionó una operatividad extraordinaria y se basó en planos del proyecto *Sea Control Ship* (SCS)[2]. Por último, coincidiendo con el final de la vida operativa del R-11, se desarrolla, con méritos completamente nacionales, el buque anfibio portaeronaves **Juan Carlos I** (L-61).

Es España el país que, de alguna manera, inicia una tendencia que hasta antes del siglo XIX era desconocida: el encargo de buques militares a una potencia extranjera, iniciada con la compra del vapor **Blasco de Garay** en 1845 en Londres.

[1] Ramón de Bonifaz (f. s. XII-1256) encargado de la formación y caudillaje de una flota de 13 naos y galeras, que en 1248 permite la rotura del puente de barcas entre Sevilla y Triana. Con ello se facilitó el aislamiento de Sevilla, lo cual favoreció la capitulación de la ciudad seis meses después.

[2] Sea Control Ship es un proyecto de la Armada Norteamericana de buque escolta de bajo coste con capacidad de apoyo aéreo a los convoyes para la guerra antisubmarina. No pasó de la fase de concepto, pero los diseños fueron vendidos en 1977 a la Armada Española.

Este buque, de algún modo, simboliza una tendencia de adquisición de tecnología naval extranjera hasta nuestros días, la cual queda revertida por la revitalización de la industria naval militar de fines del siglo XX.

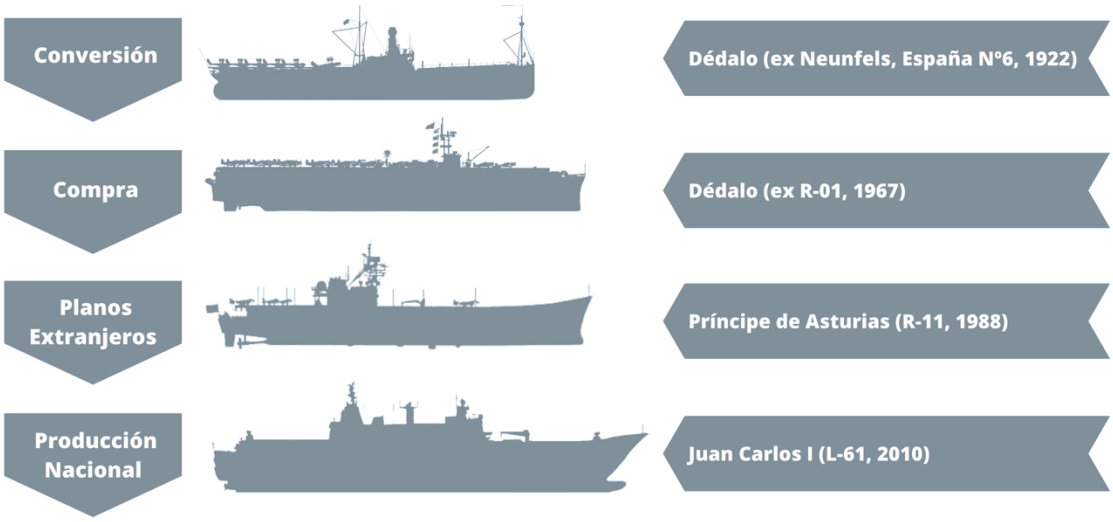


Figura 1.2: Evolución de los buques portaaeronaves en España. Fuente: Elaboración propia

Con ello, no se quiere incurrir en el error de considerar que, hasta entonces, no había habido intercambio tecnológico de esta índole por parte de diversas naciones, bien de forma consciente o accidental y que podía ser el resultado de compras, capturas de buques enemigos en combates o buques que arribaban a costas extranjeras fruto de las inclemencias de la mar. La observación realizada ha suscitado hoy en día controversias relativas al origen de embarcaciones como los trirremes[3].

Aun así, si se considera la exportación naval en un sentido más amplio, en la antigüedad había sido más una fuerza naval que material. Las complejas relaciones políticas y dinásticas entre naciones exigían que las armadas fueran al auxilio ya pertrechadas y con su propia dotación, encuadrándose en la fuerza socorrida. La promoción de la construcción naval en España puede datarse desde el reinado de los **Reyes Católicos**, los cuales mediante diversas Pragmáticas[4], solicitaron una mayor construcción, preferencia de carga en buques castellanos y, más notablemente, en 1501 prohibieron la venta de naves a extranjeros. Este hecho

[3] Buque de guerra de vela y tres bancos de remeros, cuyo origen es discutido por diversos historiadores, que lo sitúan bien en Fenicia o Corintia. Esta nave fue dominante entre el 700-400 a.C. y posteriormente empleada de forma activa por el Imperio Romano.

[4] Disposiciones generales emitidas por los monarcas que tenían valor de ley. Se hace referencia a las del 21 de julio de 1494, del 20 de marzo de 1494 y del 11 de agosto de 1501.

denota el buen estado de la construcción naval y creciente proteccionismo propio de una potencia con ambiciones expansionistas que considera los buques un elemento crítico. Sin embargo, estas políticas pueden tener resultados indeseados como expuso **Cesáreo Fernández Duro** (1830-1908), quien indica que, al ser considerablemente menor el tonelaje de buques privados que los requeridos por la corona, llegaron a provocar la necesidad de fletar embarcaciones extranjeras (Fernández Duro, 1880).

La promoción de la construcción naval ha estado presente, en diversos grados, en las políticas de desarrollo durante la historia de España. Sirva de ejemplo temprano que, en 1563, **Felipe II** envía a **Cristóbal de Barros** a analizar la situación naval del norte de la Península con el objetivo de impulsar la construcción naval para alimentar la casi desprovista fuerza naval. De este trabajo quedan una serie de informes que alumbran el minucioso trabajo efectuado por **Barros**. (Enríquez Fernández & Sesmero Cutanda, 2000). Es de destacar que, menos de una década después, se produce uno de los acontecimientos más gloriosos de la Armada Española: la batalla de Lepanto, la cual incluso tiene cabida en uno de los versos de su himno actual. Resultaba pues evidente que una parte importante de la política de **Felipe II** fuese la de fortalecer el poder Naval en el Mediterráneo y, con ello, frenar la expansión del Imperio otomano[5]. Felipe II continúa la prohibición de Naves a extranjeros e implementó estrategias registrales para evitar engaños mediante el control de los oficiales de pluma en dichas ventas. Esto último no resulta algo sencillo debido a que los nobles y señores locales defendieron ese derecho desde su establecimiento, a pesar de que la prerrogativa de la elección de los notarios públicos se pueda remontar al *Fuero Viejo de Castilla*[6]. No obstante, este periodo se verá afectado por las quiebras de la monarquía[7], que indiscutiblemente provoca los impagos de los fletes de los buques embargados por la corona. Por consiguiente, el fomento de la construcción encontró entre sus mayores obstáculos la desconfianza hacia la administración tanto por los comunes impagos como por el menor tonelaje preferido por los propietarios particulares.

En la centuria del XVII ya existía una necesidad de disponer de unas fuerzas navales permanentes, frente al sistema temporal de embargos. Las citadas fuerzas

[5] Selim II invade Chipre en ese mismo año, precipitando la formación de la flota de la Santa Liga. El Imperio español también padecía de los estragos de la piratería norteafricana.

[6] Tómese como referencia Fuero Viejo, Libro I, Título. I, Ley 1. Al Rey se le entienden las competencias de "Justicia, moneda, fonsadera e suos yantares", es decir, la Justicia, la moneda y los tributos. Aun así la figura del escribiente, íntimamente relacionada con la justicia, no se consolida hasta el siglo XIII.

[7] La hacienda del Rey Felipe II incumple su deuda en varias ocasiones durante su reinado, resultando en las quiebras de 1557, 1576 y 1596.

debían ser capaces de sustentar los objetivos dinásticos y de contribuir a la defensa del vasto imperio transoceánico. El incuestionable valor del comercio con ultramar y la protección del imperio guían el fortalecimiento de la flota durante el reinado de **Felipe V** (1683-1746), quien, por medio de su secretario de Estado **José Patiño** (1670-1736), revierte una tendencia negativa iniciada durante el reinado de **Felipe III** (1578-1621). Entre las políticas destacables se encuentran: la creación del Cuerpo de Ministerio (Intendencia), de carácter económico y con funciones de gestión, y del Cuerpo General, de funciones militares en la mar. También, es bajo este reinado cuando se construye el primer astillero moderno en España, el Real Arsenal de La Carraca en 1717. Estas políticas continúan durante los reinados de **Fernando VI** (1713-1759) y de **Carlos III** (1716-1788) bajo el liderazgo de **Zenón de Somodevilla y Bengoechea** (1702-1781), más conocido como el **Marqués de la Ensenada**. La reorganización de la Armada, la creación de la infraestructura y el fomento de la producción de materias primas necesaria para aprovisionar a la industria naval y a los arsenales fueron el sustrato sobre el que germinaron los grandes constructores navales de su tiempo.

Tras unas décadas de esplendor de la construcción naval con el apoyo de la monarquía, el primer tercio de siglo XIX muestra las severas consecuencias de desatender las necesidades de la marina de guerra. Por lo tanto, tras la muerte de **Fernando VII** (1784-1833) se hace precisa una nueva reestructuración, que se inicia en 1874 y queda a cargo del ministro de Marina, **Mariano de las Mercedes Roca de Togores y Carrasco** (1812-1889). Entre sus medidas se encontraban, entre otras, la reorganización de los cuerpos de la Armada, así como el inicio de la construcción y adquisición de casi cuatro decenas de buques de vela y vapor. También la inauguración del dique de la Campana en Ferrol (1879) muestra los frutos de la voluntad de mejora de las infraestructuras de los arsenales, producto del período de estabilidad iniciado en 1874 durante el reinado de **Alfonso XII** (1857-1885). Sin embargo, la construcción naval sufrió una gran contracción tras perder los últimos territorios de ultramar (1898), lo que condujo a la introducción de un gran número de oficiales a la industria civil. No obstante, en 1929 se creó el canal de ensayos de El Pardo, actual CEHIPAR, durante el reinado de **Alfonso XIII** (1886-1941), de dependencia militar y empleado durante el diseño y construcción de los cruceros Canarias y Baleares.

Tras la Guerra Civil Española (1936-1939) se constituye el mayor grupo empresarial del país, el Instituto Nacional de Industria (INI). Fundado en 1941, sirve para impulsar la reconstrucción del tejido industrial, entre los que se incluyen

los astilleros militares, incorporados en 1947. En 1995, el INI es renovado en la Sociedad Estatal de Participaciones Industriales (SEPI), la cual crea el astillero estatal Navantia en 2005, fruto de numerosas fusiones entre astilleros civiles y militares de toda España. Este astillero sirve tanto a la producción para consumo nacional como para la exportación de unidades civiles y militares. Los desarrollos tecnológicos, durante esas últimas décadas hasta la actualidad, han permitido a la Armada poner fin a la adquisición externa y controlar plenamente las fases de diseño y construcción (Pérez-Martínez & Pérez-Fernández, 2021).

La presión sobre los recursos materiales a lo largo del tiempo descrito ha ido variando tanto las unidades necesarias como los materiales de construcción. Desde el siglo XVII es evidente un incremento notable de precio de las materias primas (Hamilton, 1934), lo cual pudo deberse a la mala gestión de los recursos forestales en el caso de la madera. Otros estudios resaltan una "revolución de los precios", principalmente para el periodo comprendido entre 1550 y 1625, al igual que también una transferencia neta de renta hacia la agricultura causada por las relaciones de cambio intersectoriales, más intensa en regiones de economía más atrasada como podía ser Castilla la Nueva (Martín-Aceña, 1992). En esta revolución, España experimenta la mayor inflación en Europa debida en parte al oro y plata americanos, a pesar de la escasez de numerario que llegó a existir (Allen, 2001). Mientras que España gozó de cierta abundancia forestal de madera, propicia para la construcción naval, principalmente de roble, otros países, como Inglaterra, Francia y Holanda, tuvieron que adquirir la madera del extranjero. **Gregory Clark** añade que, hasta la popularización de las importaciones de madera en el siglo XVIII y la producción de carbón, toda la madera de construcción y parte de la empleada como combustible era de producción doméstica en Inglaterra (Clark, 2003). Destaca la gran importancia de la madera hasta 1760 y la estima en un 10% de la producción agrícola y entre un 15-20% de la superficie agraria. Aunque una gran mayoría fuese para setos, mientras que en la construcción, las especies fueran principalmente el roble, el fresno y el olmo. Este autor destaca que, desde 1810, la producción de madera en Inglaterra se ve reducida a causa de la importación.

Al suministro de madera se le asignó una gran importancia para asegurar el poder naval del siglo XVIII, las estrategias españolas para la provisión de materias primas forestales son discutidas en el artículo de **Rafal B. Reichert** (Reichert, 2019), así como en otros trabajos y desde el prisma francés (Bamford, 1956) o el inglés (Albion, 1926). No en vano, el contralmirante **Antonio González**

acertadamente los llama bosques flotantes (González García, 2020), empleando el término acuñado por **Gaspar de Aranda** (de Aranda, 1990). La relevancia de los bosques no era sólo por la madera, sino también para la producción de pez o brea, de gran importancia para el calafateado[8] de los buques. Las especies destinadas en el siglo XVIII a otros elementos no constructivos, como la motonería[9], junto con la diferencia que estas tenían en el Norte de la Península y América, están contempladas en el trabajo de **José Quintero González**, en este, asimismo, se analizan las maderas empleadas para remos y bombas (Quintero González, 2004).

Los bosques y montes españoles son testigos de la historia de un país que ha presentado una estrecha dependencia de dichos recursos para la construcción civil y naval. Si nos retraemos al desembarco de Ampurias (218 a.C.), el cual facilita la entrada al Imperio romano en el territorio considerado actualmente España; se debe resaltar la influencia de su paso en el suelo y en los bosques, al necesitar abastecerse de materias primas con el punto de mira en la construcción. Pese a ello, el impacto sobre los bosques y montes es considerado menor debido a la capacidad de regeneración de estos y por las condiciones climáticas de ese tiempo (Williams, 2006). A pesar de ello, tras la salida romana de la Península, ya aparece la protección de los árboles en las leyes del Fuero-Juzgo, *Titulo Tercero De Los Danos De Las Arbores, E De Los Sotos, E De Las Meses, E De Las Otras Cosas*, cuyo origen está en el Liber Iudiciorum[10] del siglo VII. También, en centurias posteriores, la protección de los árboles se evidencia en la Partida Segunda[11] de **Alfonso X** (1221-1284), aunque no con un particular enfoque en la construcción de barcos. La Carrera de Indias requiere de una mayor cantidad de superficie arbolada para su consumo, al igual que de una mayor calidad de la madera empleada. Consecuentemente, se publican decretos y ordenanzas en el siglo XVI para asegurar el abastecimiento de la flota. Con considerable influencia francesa, ya entrado el siglo XVIII y en el contexto de gestión y explotación de los montes, aparece *Ordenanza para la conservación y aumento de los montes de Marina en las provincias y distritos que se expresan* (1748) que fue impulsado por el **Marqués de la Ensenada** con el objetivo de establecer la jurisdicción de la marina sobre los montes adecuados para alimentar la Armada y gestionarla. El documento citado

[8] Tal como lo define la RAE: "cerrar las junturas de las maderas de las naves con estopa y brea para que no entre el agua".
[9] RAE: Conjunto de cuadernales y motones para el laboreo de los cabos de un buque.
[10] Texto jurídico y cultural visigodo promulgado por Recesvinto en el año 654, para la población hispano-romana y goda. Esta obra es continuada por Ervigio y cuenta con doce libros y cincuenta y cuatro títulos. Su vigencia se acredita hasta el siglo XIX.
[11] Título 11 ley Tercera *"Y otrosí, que los árboles ni las viñas ni las otras cosas de que los hombres viven no las corten, ni las quemen, ni las desarraiguen ni las dañen de otra manera".*

incluía asimismo la prohibición de venta al extranjero de las maderas[12], lo que pone de relieve de nuevo la gran importancia de este recurso material. La silvicultura continúa durante décadas intervenida por la marina, no sin cierta oposición de ilustrados como **Gaspar Melchor de Jovellanos** (1744-1811) ya aparente en su *Informe sobre la Ley Agraria* (1794)[13]. Dentro del fomento ilustrado de esta actividad, en 1846, se funda la Escuela de Ingenieros de Montes, cuya primera sede se halla en el castillo de Villaviciosa de Odón. Esta se crea gracias a los esfuerzos de **Agustín Pascual González** (1818-1884) quien trae las influencias de la Escuela de Thrarandt. Su mentor, **Johann Heinrich Cotta** (1763-1844), es considerado una de las grandes influencias del inicio de la silvicultura como disciplina científica (Puettmann & al., 2016). El fomento de la producción maderera queda patente en toda Europa bien entrado el siglo XIX, llegando a la madurez, en años recientes, los bosques de roble como los que se encuentran en la isla de *Visingsö*[14] en Suecia.

La Revolución Industrial trae irremediablemente un incremento de materias primas para alimentar la maquinaria industrial. El empleo de materiales inorgánicos conlleva un cambio en los límites de la producción.

Según el análisis[15] realizado por **Gregory Clark**, el coste de la energía, indicado en Btu[16], de la leña y del carbón se mantuvieron similares hasta 1700, año en que comienza a popularizarse el carbón como fuente de energía (Clark, 2003). El autor lo justifica argumentando que ambos productos se vendían en diferentes mercados.

Históricamente, la producción de madera está íntimamente relacionada con la capacidad de crecimiento de los bosques, lo que requería una evaluación previa de la tierra disponible. Este dilema lo encontramos en la actualidad, no tanto a nivel de extracción de recursos al emplear materiales limitados, sino, en el marco de un concepto más amplio como es el impacto medioambiental. En este, el análisis se realiza observando las consecuencias en aire, suelo, agua, flora, fauna y salud humana además de la capacidad de recuperación del territorio afectado. Debido al crecimiento exponencial de la industria, no está generalmente acotado en un espacio limitado, sino que puede devenir en un evento global.

[12] Título 34. "Prohibido absolutamente toda extraccion de maderas para paises extrangeros sin expresa licencia mia".

[13] IV Utilidad del cerramiento de las tierras *"Tengan los dueños el libre y absoluto aprovechamiento de sus maderas, y la nacion logrará muchos y buenos montes".*

[14] La armada sueca plantó unos 300.000 robles en la isla para asegurar los futuros requisitos de madera de la construcción naval.

[15] El artículo crea un índice basándose en precios publicados y fuentes archivísticas relativas a la producción agrícola en Inglaterra entre los años 1200 y 1914.

[16] British thermal units, unidad térmica británica, es una medida del contenido calorífico de los combustibles o fuentes de energía. Su conversión es equivalente a 1055,1 Julios.

El descubrimiento de nuevos métodos en el empleo del carbón permite el abaratamiento del hierro y del acero, lo que catapulta el empleo de estos materiales en la construcción. Esto también permite la reducción del uso de la madera como combustible, pero que requería de una nueva logística para el transporte de este mineral y que este pudiese competir en precio para asegurar su demanda. Esto fue evidente con el florecimiento del uso de transporte en canales en países como el Reino Unido (*Wrigley, 1962*).

España no fue ajena al ventajoso empleo de rutas fluviales para el transporte, así el *Canal de Castilla*, un ambicioso proyecto de cuatro canales, con tres finalmente construidos y que da comienzo en 1753 bajo la propuesta del **Marqués de la Ensenada** cuyo proyecto es desarrollado por **Antonio de Ulloa y de la Torre-Giral** (1716-1795). Esta obra faraónica no es ajena a la situación política y económica española, y su construcción es interrumpida en varias ocasiones. Corría el año 1831 cuando finalmente su construcción y explotación fueron concedidas a una empresa de titularidad privada, la *Compañía del Canal de Castilla* que comienza su explotación casi 100 años después, en 1849. A pesar de una longitud total de *207 km*, su utilización quedo desfasada con la introducción y desarrollo del ferrocarril[17]. Esta preferencia española por los caminos de hierro queda incluso reflejada en la literatura por autores como **Julio Verne** (1828-1905), cuya opinión general del estado científico tampoco era muy positiva[18]. No obstante, el monopolio ferroviario fue también origen del ocaso del transporte fluvial en Reino Unido.

El cambio en los materiales y en los procesos de construcción naval dan paso a un agotamiento de los recursos naturales y al deterioro ambiental en una escala sin precedentes. Se pasa por tanto de un riesgo de deforestación con un claro techo productivo a un recurso no renovable[19] como es el hierro y acero y, por consiguiente, a una dependencia exterior con el objetivo de cumplir con la producción. En Inglaterra se han formulado teorías relativamente recientes respecto a la aportación de la deforestación por parte de la construcción naval. Uno de sus primeros defensores se puede considerar **Oliver Rackham**[20] (1939-2015). La escasez y la deforestación no deben considerarse sinónimos, debido a que al tratar la construcción naval, sólo se retiran unas especies concretas de los bosques. Esto

[17] La primera línea española de ferrocarril tiene su origen en Cuba en 1837, siendo la Barcelona-Mataró en 1848 la primera en la Península. En el auge de del canal de castilla en la década de 1860 aparecen las grandes compañías del ferrocarril en España.

[18] Sirva de referencia el libro *De la Tierra a la Luna* publicada en 1865 por Julio Verne, en cuyo capítulo XII hace referencia a la preferencia por el ferrocarril y la consideración del estado científico en ese tiempo.

[19] No renovable en el sentido que los recursos requeridos para su extracción y procesamiento.

[20] Oliver Rackham (1939-2015) Académico de la Universidad de Cambridge centrado en la historia de la ecología.

reduce indudablemente la disponibilidad de dichas especies, pero no la desaparición del bosque.

A fines del siglo XVII y a principios de la siguiente centuria, existe una concienciación respecto al empleo más eficientemente los recursos naturales. La normalización de la construcción naval, estimulada por la marina, que asume la formación de los constructores navales, supone rechazar el empleo de los carpinteros de ribera frente a la aplicación del método científico propio de la Ilustración. Este desarrollo fue apoyado por el avance de disciplinas como las matemáticas, la resistencia de materiales, estabilidad y mecánica de fluidos, cuyas averiguaciones fueron compartidas a nivel nacional e internacional. Este se convierte en una de las características más relevantes de la ilustración, cuyo inicio mediante cartas forja la denominada "República de las Letras" (Pérez-Martínez & Pérez-Fernández, 2021). Es notable la aparición de las sociedades científicas, estas desde un apoyo particular o del propio Estado, realizaron una extraordinaria labor divulgativa por medio de cartas, artículos y *journals*. De estos últimos se pueden destacar el comienzo de su publicación, en 1665, de *Journal des sçavans* y *Philosophical Transactions of the Royal Society*.

En España, los **Pactos de familia** (1733, 1743 y 1761) permitieron una homogeneización de las técnicas y diseño navales, al igual que introdujeron reformas educativas, organizativas y constructivas. La política científica se impulsó desde las instituciones, en particular desde los estamentos militares, que vieron la necesidad de reforzar la formación científica de los constructores navales. Tras la creación del Cuerpo de Ingenieros de Marina en 1770, se inaugura la Academia de Ingenieros de Marina (1772) para la formación de los oficiales que constituirían dicho cuerpo y ocuparían los Arsenales de Marina que se edificaron en la Península y en los territorios de ultramar. Entonces esta época se puede considerar como el origen de los estudios de Ingeniería Naval en España (Pérez-Martínez & Pérez-Fernández, 2021). Otras escuelas y academias de este periodo, como *École de Paris* (1741)[21] o la *Academia de Trondheim* (1760)[22] , constituyeron el inicio de las actuales *ENSTA ParisTech* y *Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet* (NTNU) respectivamente. La formación científica de los futuros

[21] El autor se refiere a la Escuela establecida por iniciativa del inspector general de la Marina Henri-Louis Duhamel du Monceau. La relación con *École nationale supérieure de Techniques avancées* (ENSTA), que pertenece al *Institut polytechnique de Paris,* no es continua, al existir cierres, renombres y transformaciones, pero su espíritu fundacional se halla en ese centro.

[22] A diferencia del ejemplo francés, *Det Trondhiemske Selskab* es la precursora de la Real Sociedad Noruega de Ciencias y Letras (DKNVS) y, por tanto, una sociedad científica más que un centro de formación.

constructores navales se benefició de las publicaciones de una variedad de tratados que circularon, como originales y traducciones, por los centros de enseñanzas navales.

La colaboración científica continúa siendo en la actualidad un pilar para el desarrollo y para un tipo de diplomacia, bautizada por **Joseph S. Nye Jr.** como poder "blando" en su artículo Public *Diplomacy and Soft Power* (Nye, 2008). En él destaca la capacidad de los organismos militares para realizar intercambios de oficiales, entrenamiento conjunto y, en tiempos de paz, programas de asistencia con otros países, iniciativa que refuerza los lazos políticos y tecnológicos de las diferentes armadas. Un ejemplo vigente de la estrategia de *Soft power* se puede identificar tras el período de aislamiento de España en la primera mitad del siglo XX; el año 1953 trajo el regreso a la escena internacional de España debido a la política contra el bloque soviético de Estados Unidos. La construcción y operación conjunta de bases en la Península se tradujo en la aportación económica y militar americana, aún operativas en la actualidad. Originalmente, la armada recibió cinco destructores de la clase **Fletcher**, un submarino de la clase **Balao** y doce dragaminas, no obstante, más relevante fue la asistencia técnica que recibió la armada con el objetivo de modernizar la flota, el germen del actual desarrollo y capacidades de la misma. Esta cooperación favorece no sólo a los operadores, sino al tejido industrial del país emisor de dicha ayuda. Esto está siendo emulado a una escala significativa por la República Popular China mediante su política naval de "Iniciativa del siglo XXI de la ruta de la seda" gracias a su creciente capacidad naval militar y su poder económico.

La cooperación anteriormente mencionada, es decir, los pactos de familia entre España y Francia, permitieron una efectiva asistencia a las fuerzas sublevadas en la guerra de la independencia de Estados Unidos (1775-1783); estas tuvieron una aportación naval y terrestre española relevante[23], principalmente tras la declaración de guerra de 1779.

Asimismo, este poder puede tener origen en la empresa privada, la cultura, la tecnología y la educación lo cual ha sido explotado de manera reconocible por centros culturales, como el Instituto Cervantes (1991); estos contribuyen a la reputación internacional de una manera indirecta, denominada por **Milos Popovic** "institutional decoupling" (Popovic & al., 2020) y contrapuesta a la diplomacia "de

[23] Pudiendo resaltar la participación de Bernardo de Gálvez (1746-1786) en ese conflicto a su vuelta del desembarco de Argel (1775) y desde el ámbito civil, a Diego María de Gardoqui y Arriquibar (1735-1798).

Cañonero" discutida por **James Cable** en su obra *Gunboat Diplomacy, 1919-79 Political Applications of Limited Naval Force* (Cable, 1981). A pesar de la evolución de las relaciones internacionales desde la Guerra Fría, los modelos discutidos por autores anteriores como **Alfred Thayer Mahan** (1840-1914) y **Julian Stafford Corbett** (1854-1922) son aún validos en el contexto actual (Rowlands, 2015).

Entre las formas de cooperación puede existir la transferencia de conocimientos a nivel estatal en los institutos de investigación o en la colaboración industrial. En el contexto educativo actual, la transferencia tecnológica supone una amenaza a la ventaja tecnológica que ha sido identificada en diversos centros y disciplinas (Joske, 2018). Los institutos de investigación pueden incluir en sus plantillas agentes extranjeros cuyos objetivos son la adquisición de tecnología para sus propios programas nacionales, siendo crítico en el desarrollo de las tecnologías de doble uso. Asimismo, esta transferencia puede materializarse a causa de la adquisición de activos, cursos o asistencia técnica. Por tanto, las exportaciones están sujetas a diferentes grados de control. Incluso, su eficacia puede verse comprometida debido a la complejidad de las relaciones comerciales, la investigación, la divulgación científica y la diferenciación entre bienes tangibles e intangibles (Pérez-Martínez & Pérez-Fernández, 2021). Dentro de la cooperación transnacional para el desarrollo armamentístico ha habido voces críticas sobre los modelos actuales debido a las ineficiencias identificadas, principalmente por la asignación política del trabajo y su dependencia de la economía de escala, y en cambio centran su interés en la innovación y la competencia (Grundman & Hasik, 2016).

En el marco de la divulgación histórica, una manera de reivindicar la historia la constituye la construcción de réplicas, que empleando materiales y técnicas propias del periodo en el que se construyeron estos buques y embarcaciones, está propiciando una forma más personal de apreciar la construcción naval. Suscritas a la denominada Arqueología experimental, consiguen una experiencia más interactiva con los visitantes que, en ocasiones, se convierten en protagonistas de la construcción. En las últimas décadas se ha podido observar un "auge de la réplica" la cual nos facilita una "verdadera" comprensión de la historia (Bennett, 2009). Además crean la posibilidad de formar en carpintería de ribera, introduciendo nuevas oportunidades de desarrollo profesional. Estos pueden ser buques con intención de ser empleados para navegar, así la nao **Victoria**[24], nao **San**

[24] Dos réplicas han sido construidas: una en 1991 en los astilleros de Isla Cristina y la otra en los Astilleros Palmás de Punta Umbría entre 2019.

Juan[25], el bergantín **Gálveztown**[26] o el trirreme ateniense **Olympias**[27], entre varias decenas de naves. En otras ocasiones, son las iniciativas de conservación del patrimonio naval las que permiten el estudio y disfrute de buques como el **HMS Victory** (1765) en el puerto de Portsmouth, a pesar de que menos de un quinto de la estructura sea original debido a las numerosas obras de restauración, similar suerte conoció el **USS Constitution** (1797). Por el contrario el buque **Vasa** (1628), ordenado su construcción por el monarca sueco **Gustavo II Adolfo** (1611-1632), se encuentra en un estado prácticamente original.

Igualmente, en los últimos años han surgido proyectos de realidad virtual y realidad aumentada en museos y exposiciones, apoyados en tecnologías 3D desarrolladas para la industria, pueden emplearse en la formación de seguridad (Markopoulos & al., 2019) así como en crear contenido para los museos sin alterar los espacios (Mor & al., 2012). Esto ha sido explorado por museos marítimos y resulta adecuado citar la exposición permanente *BIG dock* en el **M/S Museet for Søfart** en Dinamarca. También las herramientas 3D permiten la recreación de los buques ateniéndose a los planos disponibles y a las anotaciones históricas; en ocasiones reforzando las evidencias documentales en descubrimientos como el del primer barco rompehielos (Понкратов & Мартинес, 2020). Por ende, estas recreaciones digitales ofrecen una gran variedad de análisis que sirven, tanto a los académicos e investigadores como al público general, a conceptualizar un barco, o parte de él, y saber cómo era durante su vida operativa (Creasman P. P., 2015).

Los buques anteriormente mencionados son una excepción, puesto que la mayor parte de ellos terminan su vida operativa abandonados, hundidos o en el desguace naval. Este último está intrínsecamente supeditado al precio del material por tonelaje más empleado: el acero. La importante demanda de acero y el mercado de segunda mano de repuestos y maquinaria convierten al sur de Asia en una región atractiva por mayores precios abonados (Mikelis, 2019). Turquía con una dependencia de acero para alimentar su industria es el principal importador de acero europeo y uno de los principales destinos de reciclaje de buques a nivel mundial. Así acabó sus días el portaviones **Príncipe de Asturias**, remolcado en 2018 a los astilleros turcos *Leyal*, ubicados en el puerto de la ciudad de Aliaga. Otros portaviones corrieron el mismo destino como el británico **HMS Invincible** (1977).

[25] En construcción, en Pasajes San Pedro por Albaola Factoría Marítima desde 2014.
[26] En construcción, en Málaga por Astilleros Nereo desde 2015.
[27] Construido en el Pireo en el astillero Tzakakos entre 1985 y 1987.

Respecto a los materiales de construcción de buques, nos encontramos en un momento en el que se ha puesto una gran atención en la política medioambiental. Hace poco más de una década se adoptó el Convenio de Hong Kong (2009) que cubre todos los aspectos de reciclaje de buques con el objetivo de evitar riesgos innecesarios para la salud humana, la seguridad y el medio ambiente. El citado convenio aboga por la sustitución de materiales peligrosos en la construcción y el mantenimiento, mientras este no comprometa la seguridad y operatividad de los buques (IMO, 2009). A este han seguido regulaciones internacionales, como el reglamento europeo No 1257/2013, y otras a nivel nacional.

Las iniciativas de sostenibilidad han llegado a la comisión europea conformadas en una serie de propuestas para un nuevo enfoque de la política marítima que transforme la "economía azul" (European Commission, 2021). Estas políticas se basan parcialmente en el mantenimiento de materiales y otros recursos que reduzcan los desechos. El desarrollo de la economía azul, incluyendo la construcción naval, alimenta el Ciclo Marítimo Virtuoso introducido por **Geoffrey Till** (Till, 2009), aunque, en ocasiones puede dar lugar a conflictos originados por los intereses marítimos preexistentes como se discute en el artículo *Naval Construction, Science and Diplomacy. The Revolution of Technology Transfer* (Pérez-Martínez & Pérez-Fernández, 2021).

Dentro de la estrategia con los recursos de trasfondo se encuentra la publicación *Scarcity and Strategy* de **Geoffrey Kemp**[28]. En este artículo se discute cómo la competición por los recursos puede derivar en conflictos armados, su impacto y la búsqueda de recursos o tecnologías alternativas (Kemp, 1978). Kemp se centraba en el petróleo como recurso, al escribirse tras la guerra árabe-israelí de 1973[29]. Otros artículos se han publicado relativos a los posibles conflictos derivados de la escasez de un recurso elemental como el agua (Farinosi & al., 2018). Esta relación de los conflictos armados y los recursos ha sido discutida, de manera general, anteriormente y ha aparecido en publicaciones fundamentales como *A Study of*

[28] Geoffrey Kemp: profesor asociado de política internacional en la Fletcher School of Law and Diplomacy, Tufts University entre 1970 y 1980.

[29] También conocida como la guerra de Yom Kipur, tuvo, entre sus consecuencias, el embargo de la OPEP como represalia por el apoyo a Israel de Occidente. Dicho apoyo conllevó graves consecuencias económicas y sociales debido al incremento del precio del petróleo.

War [30] de **Quincy Wright** (1890-1970) quien fundamenta su análisis en la influencia de los sistemas productivos o económicos[31] (Wright, 1942).

Otro de los trabajos centrados en la influencia de los materiales en la guerra se encuentra en la obra de **John Edwin Bakeless** (1894-1978) que analiza el periodo 1878-1918 resaltando la paradoja que se produce por la industrialización[32], aunque sin olvidar la influencia colonial. Destaca, por tanto, que en el periodo analizado, dieciséis de las veinte guerras identificadas presentaban la economía como una causa evidente (Bakeless, 1921). El contexto histórico en el que este y otros trabajos similares[33] surgen es el de la fundación de la **Sociedad de las Naciones** en 1919, considerada precursora de las **Naciones Unidas** (ONU).

Dentro del contexto global en el que se encuentra la construcción naval, la escasez, ya sea por limitaciones naturales o por sistemas económicos y políticos de poder, tiene un efecto claro en la seguridad de la nación y como estrategia de dominación (Fontanel & Bensahel, 1992). Sin embargo, entender la superposición entre intereses nacionales y globales puede ser beneficioso en un mundo interdependiente, donde los estados a menudo tienen intereses mutuos (Baldwin, 1980;2020).

En los siguientes capítulos, se profundizará en los temas esbozados inicialmente, se incorporarán nuevas referencias, análisis y reflexiones para ofrecer una visión integral del tema central: la influencia de los materiales en la construcción naval y las tendencias de la industria naval. Se dará especial énfasis a la relevancia de la cooperación científica, la diplomacia tecnológica y la urgencia de adoptar políticas sostenibles en el sector. Para lograr estos objetivos, el trabajo seguirá la metodología propuesta.

[30] Dedica el capítulo XXXII a "La utilización de los recursos y la guerra".

[31] El argumento es que sistemas tan diferentes como el agrarismo, el feudalismo, capitalismo y socialismo tienen diferentes causas para desembocar en un conflicto bélico. En su análisis destaca el capitalismo como el modelo más "pacífico", aunque añade que requiere cierto nivel de intervencionismo.

[32] Entiende que la industrialización fomenta la interdependencia entre naciones y, por tanto, la paz. A la vez exige una demanda de capital, suministro de alimentos y materias primas que fomentan fricciones internacionales los cuales llegan a provocar guerras.

[33] Ver: Garvin, J. L. (1919). *The economic foundations of peace, or, World-partnership as the truer basis of the League of Nations*. London: Macmillan & Co.

2. Metodología

La metodología empleada en este trabajo se basa en el método histórico, ampliamente utilizado en el campo de la investigación y en el estudio de esta área de conocimiento; este permite el examen y la comprensión de las evidencias históricas de manera objetiva. Por eso, estriba en la crítica histórica y en la interpretación contextual de las fuentes. De manera general, se presentan cinco bloques claramente diferenciados: identificación de fuentes, análisis, marco teórico, interpretación y presentación. A continuación, se definirán los pasos clave del método histórico aplicados al estudio de la historia naval y de los materiales, destacando las consideraciones especiales.

Como primer paso, se encuentran la identificación y selección de fuentes relevantes, tradicionalmente diferenciadas entre fuentes primarias y fuentes secundarias. Las primeras pertenecen al periodo o momento de estudio, provienen de orígenes diversos como los escritos, registros, cartas, diarios, mapas, artefactos e informes de batalla. Su origen directo permite el acceso a la razón de los autores pasados y, por ello, se precisa de un análisis desde esa óptica. Para contextualizar y analizar las fuentes primarias, se emplean las fuentes secundarias, estas incluyen: libros, ensayos, artículos y otras obras relevantes que interpretan esos testimonios. El formato del material de consulta ha sido tanto físico como digital.

Por ende, los análisis se apoyan, por una parte, en la crítica externa que incluye la datación, localización, autoría y procedencia de las fuentes y, por tanto, nos confirma la autenticidad de las obras empleadas para la consulta. Por otra parte, son respaldados, en línea con el análisis y crítica de las fuentes documentales, por la crítica mayor, asimismo por la crítica menor la cual nos permite valorar la integridad de esas fuentes.

Posteriormente, se construye el marco teórico que introduce las teorías, los enfoques y los conceptos, los cuales exigirán la introducción de las limitaciones del estudio y, debido a la naturaleza interpretativa del trabajo, posibles sesgos. Es esta interpretación la que, dentro de la contextualización, aportará el mayor valor añadido al trabajo. Los datos compilados son sometidos a un razonamiento histórico, conocido como síntesis historiográfica.

Por último, se presentan los hallazgos y conclusiones. Estos resultados pueden en sí establecer nuevas líneas de investigación y/o tener implicaciones que deben ser expuestas al lector.

Al aplicar este método, se aporta una estructura sólida que, de manera rigurosa, cimentará el conocimiento y comprensión de la historia naval y científica.

La metodología empleada en la investigación histórica sigue un enfoque analítico-sintético, según el cual, los acontecimientos históricos se diseccionan meticulosamente en sus partes constituyentes para desvelar sus posibles orígenes económicos, sociales, políticos, religiosos o etnográficos. Posteriormente, se realiza una síntesis para reconstruir y dilucidar el fenómeno histórico examinado. Además, se emplea el método heurístico para ocuparse de territorios inexplorados gracias al análisis de fuentes escritas y orales. Asimismo, el método hermenéutico se utiliza para descifrar el significado de los textos históricos, abarcando tanto sus elementos objetivos (significados gramaticales y variaciones históricamente condicionadas) como las dimensiones subjetivas (intenciones de los autores). La investigación histórica también comprende el razonamiento deductivo e inductivo, en el que las conclusiones se extraen de lo general a lo específico y viceversa, *modus operandi* que facilita la obtención de resultados más precisos. Entre los diversos submétodos de la investigación histórica se encuentran el enfoque cronológico, que hace hincapié en el orden secuencial de los acontecimientos, el enfoque geográfico, que considera la interacción entre acontecimientos y lugares, y el enfoque etnográfico, que aborda los acontecimientos históricos en relación con la raza, la nacionalidad, la religión, las expresiones culturales y otros aspectos relevantes.

Dentro de la crítica histórica, de indudable origen religioso[34], es de extrema importancia determinar si las fuentes son admisibles, es decir, si se considera esa información genuina. De no ser así, se convierte en un ejercicio fútil que puede llegar a conclusiones equivocadas en detrimento del trabajo y del lector. Esta primera parte es la que consideramos la crítica externa. El proceso usado para determinar la probabilidad de que la relación del autor con el testimonio es fiable se conoce como la crítica interna. En consecuencia, siguiendo la división ofrecida por la *Catholic Historical Review* (1917) se simplifica en:

[34] Su popularidad se cimenta con la alta crítica de las escrituras religiosas, en particular la Biblia. Este método está basado en una perspectiva secular de las mismas.

1. Crítica Externa
    a. Comprobación de la autenticidad de la fuente
    b. Ubicación (momento histórico, lugar y autor)
    c. Análisis (recensión y restauración del texto)
2. Crítica Interna
    a. Determinación del valor de la fuente
    b. Interpretación de la fuente
    c. Exposición de los hechos

En el análisis aplicado al periodo que trata este trabajo, se han seleccionado una serie de hechos que, de alguna manera, pueden ser catalogados como discontinuidad o continuidad. Cabe observar que la continuidad histórica es un concepto sujeto a debate, debido a la ambigüedad creada por los elementos inherentes y no inherentes al curso de la historia (Gerschenkron, 1962). El desarrollo de la construcción naval española tiene una serie de hitos que representan esos cambios o discontinuidad, por ejemplo: los sistemas de construcción, los buques notables, los materiales empleados, los sistemas de propulsión o las ordenanzas destacadas, además de una continuidad en el uso del mar para el fomento de la actividad humana. No obstante, existe una continuidad histórica en la defensa de talasocracia, del espíritu explorador e innovador que, aunque intangible, constituyen un claro sello del ánimo español y forman parte de la llamada "historia inmutable". Este trabajo aspira a identificar patrones sin incurrir en el examen metafísico al que puede incitar.

François Simiand (1873-1935) simplificaba el método histórico como un proceso indirecto de conocimiento experimental. Por tanto, se obtenía el conocimiento a través de los ojos y vivencias de un intermediario, las cuales ocurren de manera puntual, no pudiendo ser revividas. Y, en el sentido riguroso, no pueden ser consideradas observación científica (Simiand, 1985). Anteriormente, **Leon J. Goldstein** (1927-2002) había diferenciado entre el pasado real y el pasado histórico (Goldstein, 1962) y se había cuestionado la validez de los testigos, presenciales o no, y, por consiguiente, la posibilidad de crear un testimonio fiel de ese evento, considerándolo más un constructo hipotético a causa de la imposibilidad de verificar los acontecimientos. Adicionalmente, es necesario considerar la subjetividad de los relatos, es decir, la intencionalidad del autor en el caso de las evidencias documentales.

El presente trabajo trata de evitar lo que ya, en los albores del siglo pasado, el economista **Robert .F. Hoxie** (1868-1916) calificaba de un ejercicio de narrativa histórica frente al más académico método histórico (Hoxie, 1906). Este autor defendía que la introducción histórica se había convertido en una moda estéril, respuesta a un requisito formal más que a un aporte científico; cuando ya en ocasiones esa "introducción" histórica plantea cuestiones que, en el momento de posterior redacción, pueden estar ya solucionadas y, en el caso de la publicación de esta obra, han transcurrido más de dos siglos de transformación naval. Incluso cabe el peligro de introducir argumentos no relacionados con el tema a tratar con el que sólo comparten la etapa histórica. Por tanto, la investigación histórica mantiene su valor científico cuando aporta luz sobre hechos que son de vital interés para el objeto de estudio. Para convertirse en una secuencia histórica, la concatenación de eventos considerada requiere de uno o varios elementos que se integran para servir como hilo conductor, además de para aportar unidad y coherencia a la exposición.

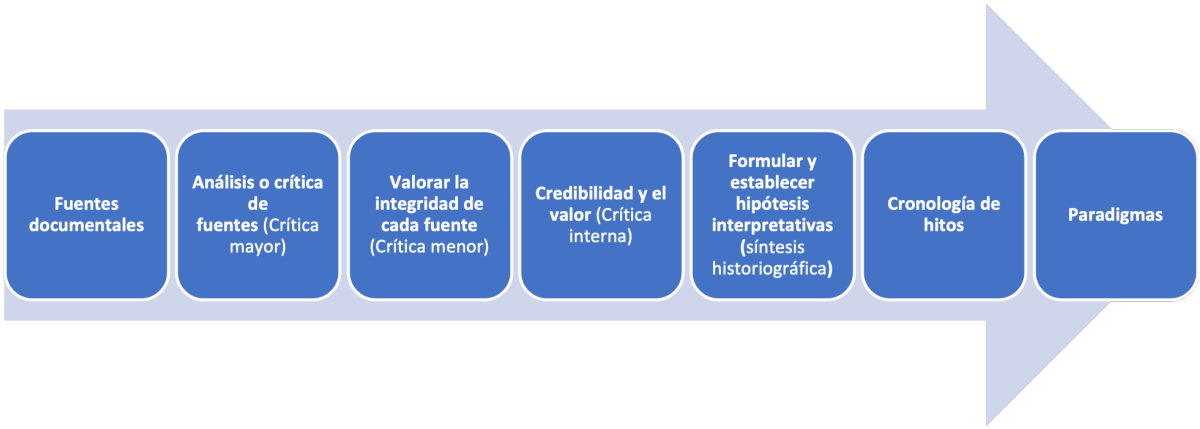


Figura 2.1: Proceso y metodología histórica. Fuente: Elaboración propia

Toda actividad, natural o de origen humano, presenta su propia historia, la cual solo puede descifrarse mediante un ejercicio de comprensión de su origen y de su desarrollo. La correcta aplicación de este método, tanto en la extensión del rango temporal, la calidad de la investigación documental como en las técnicas empleadas, puede permitir la identificación de patrones que se repitan en el futuro y que, consiguientemente, incrementen su valor en la actualidad.

La metodología histórica presentada (Figura 2.1) se basa en una serie de corolarios que acompañan las referencias históricas identificadas y que, asimismo, demuestran su equivalencia actual. En primer lugar, se ha establecido el marco histórico de interés y, con el fin de no menoscabar la paciencia del lector, se ha acotado su alcance. La historia en este trabajo no se presenta como un mero adorno,

sino como una herramienta con autonomía que permite al lector navegar a través de la tradición naval occidental desde la perspectiva española. Es, por ello, que el axioma "el presente solo se puede entender conociendo el pasado", en su infinidad de variantes, se refuerza. Así mismo, es el futuro el que se vislumbra de manera indirecta cuando entendemos que nuestro presente es producto de nuestro pasado y el análisis crítico del mismo nos posibilita sentar las bases de un horizonte más prometedor.

La estructura elegida para este trabajo se encuentra en línea con el método histórico, por ello, es una exposición cronológica de la ciencia de la construcción naval desde la óptica de los recursos materiales; dicha cronología es determinada por los hitos considerados más relevantes. No obstante, en la exposición se sigue una recomendación de **Simiand** referida a los ídolos, en los que eventos políticos, sociales o personalidades reciben una importancia desmesurada o incluso la búsqueda del origen como "ídolo cronológico" (Simiand, 1985).

"*Con cipreses de Senir te construyeron todas tus planchas. Del Líbano tomaron un cedro para erigirte un mástil*" Ezequiel, 27:5

3. Antecedentes, ¿Evolución o transición, previa a 1700?

La comprensión del contexto histórico, con la influencia de factores políticos, económicos y tecnológicos es crucial para apreciar los posteriores avances en la construcción naval. Por tanto, esta sección se incluye con el fin de aportar una base sólida sobre la cual se erigen los juicios que sumergirán al lector en la evolución o transición de las técnicas y materiales.

3.1. Construcción y navegación en la antigüedad

Atendiendo a la tradición occidental de introducir la construcción y transporte marítimo acompañados de las fuentes literarias de la cultura mesopotámica y bíblica de los territorios bañados por el mar Mediterráneo[35], se comenzará con la primera.

Debido a su similitud con el mito del diluvio encontrado en la biblioteca del rey asirio **Asurbanipal** (c.680 a.C.-627 a.C.) por el afamado asiriólogo **Hormuzd Rassam** (1826-1910), el *Poema de Gilgamesh*[36] y, en particular la tablilla XI, se convierte en una recurrente base para el origen de la construcción naval, al dar información sobre las dimensiones, compartimentación, calafateado y botadura.

Este mito se encuentra en multitud de culturas alrededor del mundo, no obstante, el mito del diluvio mesopotámico es el que mayor relación presenta con el descrito en el Génesis. Aunque las dimensiones y proporciones no sean equivalentes[37], las acciones descritas ya denotan un conocimiento común de la práctica. Aun así, las implicaciones de expiación que el proceso de calafateado muestra en el *Tanaj*[38] son de alcance religioso más que de instrucciones técnicas, al emplear el término *Kafar*. Es, por tanto, que el mandato "calafatearás con brea por dentro y por fuera" toma este significado de una expiación completa del interior al exterior. En cambio, en el mencionado Poema, se describe el calafateado de una manera más técnica dando

[35] El territorio conocido como Mesopotamia es la zona de Oriente Próximo entre el Tigris y Éufrates, aunque llegó a expandirse al Mediterráneo.
[36] El Poema o epopeya de Gilgamesh es una obra poética sumeria escrita en el periodo c.2150-1400 a.C.
[37] Las dimensiones del Génesis 300x50x30 codos frente al poema de Gilgamesh 120x120x120 codos.
[38] El Tanaj es el conjunto de los 24 libros de la Biblia hebrea, cuyas secciones son la *Torá*, Los *Nevi´im* y Los *Kentuvim*.

cantidades empleadas para tal efecto. Sin embargo, también existe una posible referencia a la purificación como indica **Federico Lara Peinado** en su estudio del *Poema de Gilgamesh* (2005)[39].

> *"Vertí seis shar[40] de betún en el horno y vertí también allí tres shar de asfalto. Para el aceite, los porteadores trajeron tres shar; además del shar de aceite que consumió el calafateo estaban los dos shar que el barquero estibó".*

Sobre la construcción en el antiguo Egipto, el historiador **Heródoto de Halicarnaso** (c.484 a.C.-c. 426 a.C.) dedica el Libro II de *Historias,* parte XCVI a hablar de los *baris*. Estos eran unos buques de carga fabricados con madera de espino que se armaban en tablones de dos codos y superpuestos a modo de ladrillos. En esta obra menciona la construcción sin cuadernas y el calafateado con papiro. La necesidad de remolcarlos desde tierra, propio de la navegación en canales, es mencionada, aunque tuviese un mástil de madera de espino y una vela de papiro. En 2003 los restos de un barco, que evocaba a aquel que **Heródoto** describía, fueron encontrados en la zona de *Thonis-Heracleion*, validando la descripción de las técnicas de construcción expuestas por este autor clásico (Belov, 2014).

La construcción naval en el antiguo Egipto estaba limitada por la técnicas constructivas y materiales disponibles, al destacar la escasez de recursos madereros autóctonos. **William F. Edgerton** diferenciaba entre las embarcaciones de caña y las fabricadas con tablones de madera, siendo las de papiro las más primitivas y existiendo también importación de cayucos de África Central (Edgerton, 1923). Este autor discutía que en su método de construcción no se incluían cuadernas y, en el caso de las de papiro, estas se mantenían unidas únicamente por medio de ataduras. Debido a la dificultad de sostener una superestructura, estas no tenían cabinas como parece sugerir la cerámica hallada. En el caso de las de madera, se empleaban tanto uniones flexibles como espigas para unir los tablones. También era característica la utilización de correas desde la cubierta hasta los tablones inferiores para dar mayor firmeza. En general, las embarcaciones egipcias no superaban los 30 metros[41].

[39] Lara Peinado, F. (2005), *Poema de Gilgamesh*, Tecnos, 4ªEd.

[40] El Shar es una medida de volumen que equivale a 3600 galones. No es una medida clara como ya indica Alexander Heidel en su obra *The Gilgamesh Epic and Old Testament Parallels*.

[41] Edgerton destaca algunos barcos de 100 codos en el reinado de Snefru durante la cuarta dinastía, al igual que durante el tiempo de Tutmosis I y Ramsés III.

El Nilo rigió el desarrollo y la sociedad egipcia, siendo el principal proveedor y vía de transporte del antiguo Egipto. De este río salía el papiro, de gran importancia económica y el cual, aparte de su relación con la escritura, tuvo un gran número de aplicaciones durante la historia de Egipto. Su uso alimentario, medicinal, textil y constructivo dieron a esta planta una relevancia extraordinaria en la vida de Egipto.

Existe cierta incertidumbre referente a la navegación marítima de los barcos del antiguo Egipto. Para tratar de buscar una posible relación se construyó el **Min of the Desert**, se trata de una reconstrucción hipotética de un barco marítimo del Antiguo Egipto bajo el reinado de **Hatshepsut**[42] (Couser & al., 2009). Este empleó madera de abeto de Douglas, en vez del más probable cedro del Líbano y las espigas con acacia, que estaban disponibles en la época y zona referida; para las uniones se empleó el método de mortaja y espiga[43]. El calafateado se realizó con fibras de lino y cera de abeja. Según los autores, el comportamiento en la mar fue satisfactorio y confirmaba su hipótesis de que en el antiguo Egipto se desarrollaron de forma independiente embarcaciones para la navegación marítima[44]. Empero, estos experimentos corren el riesgo de apoyarse en los conocimientos de arquitectura naval modernos, los cuales al no existir evidencias de este conocimiento teórico, pueden conducir a resultados alejados de la realidad técnica de la época.

Debido al alto valor del cedro, los egipcios fueron dados a la reutilización de esta madera (Creasman P. P., 2015), así como al uso de la espina de invierno y algunas especies de manglar, aunque tal vez fueran empleadas en ruta y no en los astilleros. El desguace formaba parte de la vida naval de los egipcios, habiéndose encontrado pruebas de dicha actividad en localizaciones como *Mersa/Wadi Gawasis*, con maderas afectadas por la broma e incrustaciones de origen marino (Ward, 2010). La reutilización de esta madera para los otros barcos ha sido establecida con evidencias tales como piezas que exhibían múltiples mortajas para diferentes técnicas y, en algunos casos, esta madera era dedicada para la construcción en tierra debido a su gran calidad y coste (Creasman P. P., 2013).

[42] Faraona del Siglo XV a.C.

[43] Tipo de unión que consiste en el ensamblaje de los tablones mediante la introducción de una lengüeta, llamada espiga, en un orificio, llamado mortaja o caja, practicado en dos tablones contiguos. No se debe confundir con una unión machihembrada.

[44] Incluyendo otras evidencias como la aparición de pruebas arqueológicas con maderas que presentan importantes daños por la broma.

La antigua Grecia compartió una situación similar al antiguo Egipto en lo relativo a la escasez de especies autóctonas para mantener su flota mediterránea. Mientras que la escasez egipcia quedaba saciada con el cedro del Líbano, las flotas griegas se abastecieron principalmente de pino y de abeto. La dependencia ateniense se suplía con la madera proveniente de Macedonia (Meiggs, 1982). Sin embargo, los romanos no se vieron expuestos a la escasez de madera para sus barcos y edificaciones, al menos hasta la época Imperial y, aun así, durante el período medieval tardío la madera para construir barcos se continuó abasteciendo desde el sur de Italia (Veal, 2017).

La importancia de los recursos madereros ya los hace notables el historiador **Tucídides** (460 a.C.-395 a.C.)[45] en la *Historia de la guerra del Peloponeso*. En ella describe la práctica de la quema y tala de territorios enemigos como el monte Laurión[46], así como el interés de ciudades como la de Antandro[47] por su abundancia en madera para la construcción de naves. A pesar del uso de la madera para la construcción civil y naval, la escasez de madera no es un problema notable en el Mediterráneo durante la antigüedad. Existen referencias como las de **Platón** (427 a.C.-347 a.C.) en su diálogo *Critias* describiendo la riqueza perdida del Ática[48], es obviado, no obstante, su uso para la construcción de naves.

Es necesario mencionar a **Teofrasto** (c.371 a.C-c.287 a.C.)[49] respecto a la selección de maderas. En su obra *Historia de las Plantas*, dedica el Libro V capítulo IV a referirse a las características de las maderas y sus posibles usos. Destaca la incorruptibilidad del ciprés, el enebro, el olivo, el ébano, el boj, el acebuche, el almez, la picea resinera, el roble, la encina y el castaño. También alude al empleo de la pez para evitar los efectos perjudiciales de la carcoma. En los capítulos V y VI explica como trabajar con dichas maderas. En el capítulo VII encontramos una referencia directa a las maderas para la construcción de naves. En la construcción naval comenta el uso del abeto para trirremes y los grandes navíos dada su liviandad. En cambio, la madera de picea, por su resistencia a pudrirse, se prefiere para los buques mercantes. No obstante, el cedro y el pino también son empleados

[45] Tucídides, historiador y militar ateniense, cuya obra significativa describe con un rigor inaudito la guerra del Peloponeso (431-404 a.C.) entre Atenas y Esparta.

[46] "los peloponesios, después de quemar y talar las tierras llanas, fueron a la región llamada Paralia, que quiere decir marítima, y la talaron hasta llegar al monte Laurión". Libro II.

[47] "La causa principal de querer tomar la ciudad de Antandro se debía a que les parecía muy apropiada para hacer naves, a causa de la mucha madera que en ella hay". Libro IV.

[48] *"los montes estaban llenos de sombríos bosques, de los que aún aparecen visibles rastros" Platón, Obras completas, edición de Patricio de Azcárate, tomo 6, Madrid 1872 p276.*

[49] Teofrasto, filósofo griego de la escuela peripatética, de su obra destacan sus estudios botánicos.

en regiones dónde estas especies abundan más. **Teofrasto** suscribe el empleo del roble y la haya para las quillas por la necesidad de resistir la varada en tierra. Ya entonces menciona la dificultad de emplear maderas de naturaleza diferente para el encolado de las mismas. En el capítulo VIII, describe el tamaño de los cedros de Siria, mencionando los empleados para un navío de once bancos de remeros y agrega que se hizo preciso usar troncos de trece orgias[50] de longitud.

A nivel constructivo, en el Mediterráneo se aprecia una transición del antiguo Mediterráneo de casco/armazón (*Shell-first*) a cuadernas (*Skeleton-first*) que dura varios siglos. La definición de esta evolución ha sido estudiada por varios autores, entre otros, (Casson, 1963; Hasslöf, 1972; Basch, 1972; Steffy J. , 1994; McGrail S. , 1997; Pomey P. , 1998). Estos dan diferentes interpretaciones tanto del orden de la construcción y la función de los elementos estructurales como, a nivel general, de la filosofía constructiva aplicada. La construcción naval en las antiguas Grecia y Roma comparten características de ambos. Los citados autores las consideran sistemas mixtos, incluyendo cuadernas de gran resistencia con un trabajo de unión de los tablones por medio del método de mortaja y espiga. Según **Casson** (1963), una evidencia del orden en el que se había realizado era la posición de los clavos, si los clavos que unían los tablones al armazón atravesaban esa unión.

El uso de la mortaja y espiga no era una técnica homogénea, sino que, por ejemplo, en la barcaza de *Khufu*, la mayoría de los tablones tiene talladas dos mortajas de amarre en forma de V y la técnica de mortaja y espiga se utiliza principalmente para alinear los tablones y no se estabilizaba con clavijas como es costumbre en el Mediterráneo (Brown University, 2011). La evolución no fue la misma en todas las áreas del Mediterráneo, por lo que **Pomey**, **Kahanov** y **Rieth** (2012) propusieron una teoría de evolución basada en la sección transversal de las embarcaciones y originada a partir de una serie de raíces que condicionan la evolución ateniéndose a la tradición marinera de las áreas de influencia[51]. De todos modos, la dificultad de ubicar la localización de construcción de estas embarcaciones crea una incógnita que puede ser acotada gracias a la identificación de especies arbóreas y a la dendrocronología[52]. Estas suelen ser identificadas con la ayuda de atlas como *Anatomy of European woods : an atlas for the identification of European trees, shrubs and dwarf shrubs* (1990) de **Fritz Hans Schweingruber** (1936-2020),

[50] La orgia es una medida de longitud equivalente a 6 pies (1,82 m), por lo que la obra menciona troncos de casi 24 metros.

[51] Estos autores identifican las raíces como romano imperial occidental, occidental con influencia continental, bizantino, ribereña oriental y fondo plano oriental.

[52] Disciplina científica que permite datar los anillos de crecimiento anuales y conocer los diferentes factores que han influido en su crecimiento.

existen además otras más generalistas como el *European Atlas of Forest Tree Species* (San-Miguel-Ayanz & al., 2016) publicados por la Unión Europea. Aplicar la tipología y la clasificación es beneficioso siempre y cuando constituya una herramienta y no un dogma (Maarleveld , 1995).

Esta actividad requiere de una correcta selección y recogida de muestras, al igual que es necesario involucrar diferentes especialidades científicas como parte de la estrategia de muestreo e identificación (Dominguez-Delmas, Rich, Daly, Nayling, & Haneca, 2018). Estos estudios no sólo son útiles para la datación de los pecios, sino también para conocer las condiciones climáticas en el tiempo de construcción de estas embarcaciones, lo que puede resultar de ayuda en el estudio de otras disciplinas científicas, así las medioambientales. Adicionalmente, las áreas profundamente marítimas, pero de baja disponibilidad de madera, como son los Países Bajos, permiten conocer la red y regiones de abastecimiento a productos de madereros como es ejemplo el obtenido del pecio del buque holandés **Batavia** (1628) del siglo XVII (Daly, Domínguez-Delmás, & van Duivenvoorde, 2021). Para abordar esta compleja materia, se requieren planteamientos multidisciplinares, lo que explica el carácter transversal de proyectos como el *ForSEAdiscovery*[53] que aúna la historia, la arqueología náutica y las ciencias de materiales.

En la literatura, podemos encontrar referencias a esta manera de unión de tablones, un ejemplo sería la referencia a la ferocidad del oleaje en el libro undécimo[54] de *Metamorfosis* de **Publio Ovidio Nasón** (43 a.C.- 17 d.C.) "ya resbalan las cuñas, y despojada de su revestimiento de cera" (Ovidio Nasón, 2002).

Mientras que las embarcaciones egipcias no empleaban clavijas para sujetar las espigas, los fenicios sí la usaban (de Juan Fuertes, 2017). Era la humedad la que permitía que las tracas, espigas y clavijas se dilatasen permitiendo un sellado estanco y no requiriendo de calafateado. Los fenicios hacían uso de especies como *Olea europaea* (olivo), cedro, acacia nilótica (acacia) y *Ficus sycomorus* (sicomoro). Debido a la resistencia a la putrefacción y a la flexibilidad, se favorecía el uso de maderas resinosas para las tracas, mientras que para las espigas y clavijas se usaban maderas pesadas y duras. Las clavijas y espigas podían ser de madera de olivo o roble por su dureza.

[53] El proyecto se basa en la investigación "Recursos forestales de los imperios ibéricos: Ecología y Globalización en la Era de los Descubrimientos", entre cuyos objetivos se encuentra "la consolidación de una línea de investigación que combine la investigación histórica, la arqueología subacuática, los SIG y los métodos de procedencia de la madera (dendrocronología, anatomía de la madera y geo/dendroquímica)".

[54] Muerte de Orfeo, 507-515. Es tal el oleaje que las cuñas, refriéndose a la espiga, son separadas de la mortaja como consecuencia de la separación de los tablones.

El de esqueleto, que más adelante llamaremos por cuadernas, es un método al que estamos más acostumbrados, aunque no es hasta el siglo XV cuando en el norte de Europa es preferido al de casco o tablones, aunque estos últimos no desaparecen completamente. Hoy en día, el método de armazón resulta el más utilizado en las embarcaciones menores, especialmente con la incorporación de materiales compuestos, aunque la técnica ha evolucionado notoriamente.

A pesar de la más compleja construcción por cuadernas, al menos desde un aspecto técnico y teórico, una ventaja clara de la transición es un menor peso total del casco, al igual que un control de su forma. No obstante, la falta de unión entre tablones reduce la estanqueidad del casco, por lo que requiere de calafateado lo cual permite un correcto sellado entre ellos.

En referencia a cómo realizaban las uniones de los tablones que difieren de la resistencia que mostraban los buques de los mercaderes del puerto de Hormuz[55] en los viajes de **Marco Polo**; este veneciano narraba que eran muchos los barcos que se perdían a las inclemencias por no disponer de cierres de hierro, ya comunes en el siglo XIII, y a emplear, en su lugar, un cosido de las tablas mediante hilos fabricados con la cáscara de la nuez india. Estos barcos sin cubierta, la cual era sustituida por una lona hecha de piel, tampoco se calafateaban sino que se empleaba aceite de pescado.

Relativas a la interpretación de los pecios se encuentran obras como *Wooden Shipbuilding and the Interpretation of Shipwrecks* de **J. Richard Steffy** (Steffy J. , 1994), y en la interpretación de la madera la tesis doctoral de **Pearce Paul Creasman** *Extracting Cultural Information from Ship Timbers*. El capítulo firmado por **Mark E. Polzer** en el *Oxford Handbook of Maritime Archeology* sobre barcos y naufragios se centra en los inicios de la construcción naval en el Mediterráneo oriental, a partir de restos de naufragios y excavaciones terrestres (Polzer, 2011).

Las maderas principales empleadas en los barcos romanos eran el cedro, el abeto, el pino y el ciprés. La encina comienza a ser utilizada a raíz de la guerra de las Galias (58 a.C.-51 a.C.), por orden de **Julio César** (100-44 a.C.), ya que se trataba de la especia preferida por sus enemigos: los vénetos y los masilienses[56] (de Salas,

[55] Capítulo XIX de *The Travels of Marco Polo Volume 1*. Hormuz era el puerto de Kermán, actual Irán, en el golfo pérsico.

[56] Gentilicio de Marsella, pueblo con una importante influencia helénica. Sus buques no solo se distinguían por una madera diferente, sino por un menor calado gracias a los fondos más planos y a un mayor puntal en proa y popa que ofrecían una ventaja en el oleaje. Otras diferencias incluían las cadenas de hierro para entalingar las anclas, la cuerda era la elección romana y el uso de piel en lugar de lino para las velas.

1864). Al ser una madera más dura, también se empleó junto a los refuerzos de hierro y bronce para obtener una mayor resistencia al impacto con otras naves[57], tan necesario en las tácticas navales de la época (Lacaci y Diaz, 1876). Para calafatear, se empleaba el lino entre las costuras, aunque previamente se llegó a emplear cal, conchas, cera, resina, alquitrán, lana, pelo, pez y sebo. La elección de la madera, junto a su corte, eran de gran importancia, esta debía realizarse entre los días 15 y 23 de cada mes lunar, basándose en la creencia de que la savia era menor en ese período. No obstante, los árboles eran escopleados[58] antes del corte.

Los textos antiguos únicamente aportan detalles imprecisos sobre la variedad y las fuentes de la madera. Sin embargo, el descubrimiento de restos de naufragios apunta a que la construcción naval contribuyó en gran medida al uso de los bosques, lo que posiblemente condujo al cultivo intencionado de árboles. En 2004, tres pecios hallados en el puerto romano de Neápolis aportaron indicios sobre la madera utilizada en la construcción naval, gracias a la materia orgánica conservada y al análisis del polen. Un estudio de un barco de Nápoles, datado entre los siglos I y II d.C., utilizó el análisis de polen y madera para rastrear el origen y el tipo de madera utilizada. El barco, *Napoli C*, presentaba una selección de maderas acorde con la de otros pecios mediterráneos, lo que sugiere tanto el empleo de madera cultivada como de origen natural. El análisis del polen de los sedimentos que rodeaban el pecio en el siglo I d.C. corroboró estos hallazgos. La madera, principalmente Quercus de hoja caduca, se comparó con los datos polínicos para confirmar el origen local del barco. El uso de diversas maderas, como Abies[59], *Cupressus sempervirens* y *Juglans regia*, en su construcción ofrece una ventana a las prácticas de construcción naval en el Mediterráneo y a la disponibilidad de madera en la época romana. El nogal *Juglans* no era tan común, pero su uso en este barco puede deberse a la disponibilidad local del mismo (Allevato, Elda Ermolli, & di Pasquale, 2009).

Las costas españolas, o ibéricas, recibieron flotas de diferentes orígenes incluyendo las de árabes, fenicios, griegos, cartagineses, romanos y godos. Llegado el siglo IX, se sufrieron las primeras campañas vikingas que llegaron a tener asentamientos permanentes en la península ibérica, debido a los ataques escandinavos tanto en las costas cantábricas como las mediterráneas.

[57] En tiempos de Nerón es el cobre y bronce el que sustituye al hierro.
[58] Se realizaba un corte en el tronco para reducir la savia.
[59] Siendo el Abeto Abies A. Alba empleado en cubiertas y tablones.

Entre las tradiciones que introduce está la llamada ibero atlántica, que incluyen navíos oceánicos excavados en las aguas costeras atlánticas de América y Europa y datados entre los siglos XIV y XVI (Carrillo Castillo, 2001). Durante los tiempos de la exploración, los buques de guerra se basaron en los barcos mercantes, ya que disponían de mayor porte y resistencia que las galeras del Mediterráneo, también una mayor dependencia de la vela frente al remo. Este fue el caso de la evolución de las naos, carracas y carabelas y de la aparición posterior de los galeones.

3.2. La Marina de Castilla

Como consecuencia de tales ataques normandos y de la falta en Galicia de hombres hábiles en el arte de la navegación y construcción de embarcaciones, el obispo de Santiago de Compostela solicita la ayuda de *Arelatum*[60], Génova y Pisa en el año 1120, para que las citadas ciudades envíen maestros constructores. A raíz de ello, **Genuenfis Augerius** construirá dos galeras en Iria[61] (Flórez de Setién y Huidobro, 1765).

Es, por ello, que el historiador naval **Cesáreo Fernández Duro** considera al **Obispo Diego Gelmírez** (1068-1139) fundador de la Marina de Castilla; que hasta ese momento sufría de la inexperiencia, tanto de marineros como de la fábrica de naves. A lo largo del reinado de **Fernando III de Castilla** (1201-1252), se identifica la necesidad de una flota y se encomienda a **Ramón Bonifaz** la empresa de crear dicha flota que, para 1247, consistía en trece naos gruesas y cinco galeras fabricadas en Santander. Esta ciudad, gracias a sus navíos y marineros, recibirá un escudo como conmemoración de la conquista de Sevilla y, en particular, de la hazaña del puente de Triana[62].

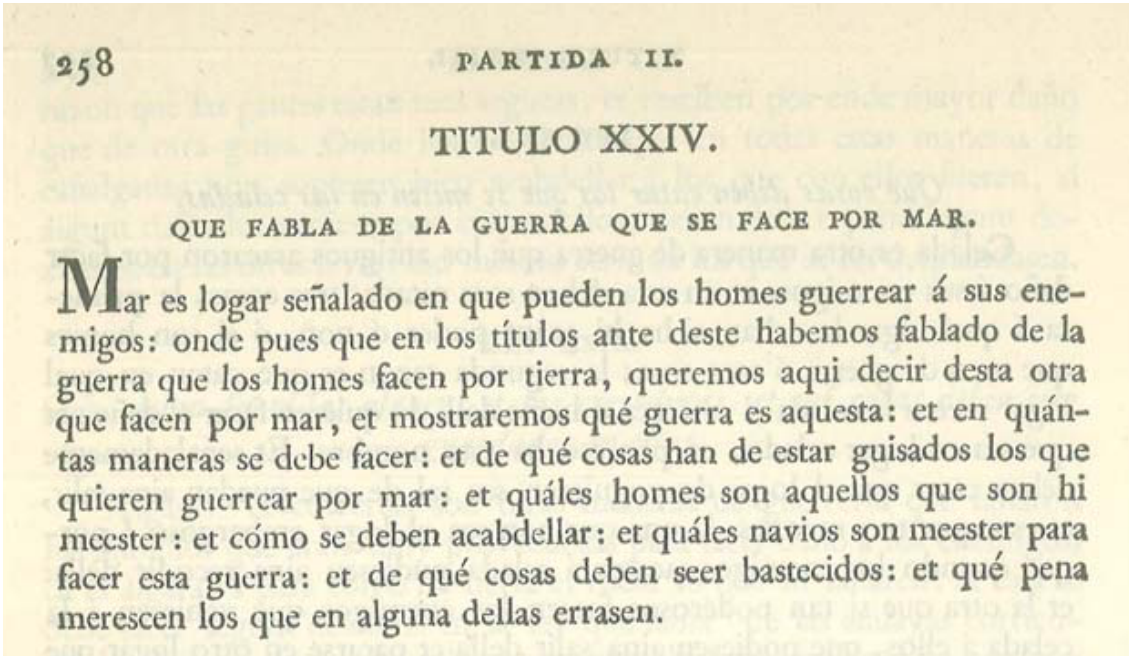
Tras el éxito naval que, remontando el Guadalquivir, ofrece a **Bonifaz** la codiciada plaza de Sevilla, es investido almirante. Esta dignidad que **Fernando III** le otorga significaba jurisdicción sobre cualesquiera que embarcaran en las armadas de su Corona, así como el derecho sobre las mercancías importadas por mar, privilegio del primer voto en el concejo de Sevilla, y asistencia en la corte. En el ámbito de la construcción naval, el rey le ofrece cargo y dirección del astillero en el que habían de construirse naves y galeras por cuenta de la Corona (Fernández Duro, 1894).

[60] Una de las prístinas colonias romanas establecidas fuera de Italia, perteneciente a la Galia Narbonense, actual Arlés.
[61] Ante la falta de más información se entiende Iria Flavia, en la provincia de La Coruña.
[62] Durante la conquista de Sevilla, Bonifaz emplea las naves para embestir el puente de Triana, que en ese tiempo estaba formado por barcas encadenadas que unían ambas orillas para abastecimiento y comunicación de la ciudad. La resistencia de las naves cántabras queda palpable. Sucedía el día 3 de mayo de 1248.

Estos almirantes contaban con las competencias militares, judiciales y de comercio marítimo. Debido a la importancia militar de Sevilla, el almirante se encargaba de las actividades de la población y no solo de mantener a punto las fuerzas navales del rey. Existía una distinción entre el almirante de Sevilla y la jurisdicción del almirante fuera de esta ciudad clave, en la que esta se extendía a todos los puertos reino (Laredo Quesada, 2003).

Alfonso X construye, poco tiempo después de subir al trono, en 1252 una ataranza en el Guadalquivir. Para entonces, **Bonifaz** se había retirado a su Burgos natal, por lo que resultaría improbable un reseñable involucramiento en la construcción de esas naves. Este edificio de dieciséis naves de bóveda permitía la construcción simultánea de naos y galeras de alto bordo. El alcaide ejercía la jurisdicción sobre los montes que alimentarían la construcción de los barcos; estos montes estaban destinados en exclusiva al uso naval. También, a favor de otras ataranzas y de sus habitantes, en 1270 **Alfonso X** concede a Guetaria el privilegio de cortar madera en el monte de Irisasi-Zarautz para la construcción de naves y de sus hogares.

En el empeño de **Alfonso X** por consolidar el poder naval, redacta y promulga el cuerpo jurídico conocido como *Las Siete Partidas*. En ellas se encuentra el título XXIV de la partida segunda sobre la guerra en el mar "Que fabla de la guerra que se fase por mar" (Figura 3.1).



258 PARTIDA II.

TITULO XXIV.

QUE FABLA DE LA GUERRA QUE SE FACE POR MAR.

Mar es logar señalado en que pueden los homes guerrear á sus enemigos: onde pues que en los títulos ante deste habemos fablado de la guerra que los homes facen por tierra, queremos aqui decir desta otra que facen por mar, et mostraremos qué guerra es aquesta: et en quántas maneras se debe facer: et de qué cosas han de estar guisados los que quieren guerrear por mar: et quáles homes son aquellos que son hi meester: et cómo se deben acabdellar: et quáles navios son meester para facer esta guerra: et de qué cosas deben seer bastecidos: et qué pena merescen los que en alguna dellas errasen.

Figura 3.1: *Las siete partidas del Rey Don Alfonso el Sabio,..*[63] Fuente: RAH (1807)

[63] *Las siete partidas del Rey Don Alfonso el Sabio, cotejadas con varios códices antiguos por la Real Academia de la Historia*. Tomo segundo. Partida Segunda. Título XXIV

Más tardía son las ataranzas del puerto de Santander (1396), que fueron reconstruidas por el monarca **Juan II de Castilla** (1406-1454) como consecuencia de un incendio en el año 1425. Tras su reconstrucción, continuó la construcción de galeras al igual que en la ataranza de Sevilla, destinadas a las hostilidades con el reino de Aragón en 1429.

El hecho de que ya se construyeran naves en la Península no significaba que la Marina de Castilla dejase de nutrirse de naves extranjeras. En tiempos de **Sancho IV** (1258-1295), conocido como el Bravo, se continuó otorgando privilegios a las regiones de valor naval, además de contratar galeras genovesas, cuyos experimentados marineros fueron de gran valor para las victorias, como la toma de Tarifa en 1292. Es en los hombres y naves de la república genovesa en los que se apoyan las campañas navales castellanas del siglo XIII, apreciación del abiertamente citado **Fernández Duro**.

La codiciada plaza de Tarifa, a causa de su particular localización, ayuda notablemente dar un salto cualitativo en la navegación y permite el control castellano del estrecho de Gibraltar y su consecuente comunicación con la ruta mediterránea y atlántica. Gracias a este hecho quedan particularmente beneficiados los comerciantes cántabros, con un espectacular crecimiento de su actividad, facilitado por los diversos privilegios y favorable localización, especialmente durante los siglos XIV y XV, tanto por la construcción de naves como por su actividad mercantil con el norte de Europa y con el Mediterráneo.

El Reino de Aragón, con construcción naval en el Mediterráneo, tuvo entre sus ataranzas principales la de Barcelona. Esta fue construida en 1243 en el contexto del apoyo a la navegación de este reino y a la conquista de Valencia, usándose esa fecha por la cédula expedida por **Jaime I** (1208-1276). Aunque la localización precisa de los edificios originales sea discutida, las posteriores ataranzas y arsenal[64] dan origen a los edificios que actualmente albergan entre sus muros al Museu Marítim de Barcelona (MMB) (Cubeles, Moreno Navarro, & Nadal i Roma, 2012).

Otras ataranzas aragonesas incluyeron la de Tortosa, cuyo enclave tenía origen musulmán[65], y la de Mallorca. Tanto Tortosa como Barcelona se aprovisionaban de

[64] Una gran obra incluye la ampliación de las Ataranzas Reales de 1378 a las que, en ocasiones, diversos autores se refieren como el Gran Arsenal de Barcelona.

[65] Hasta la conquista en 1148 por parte de Ramón Berenguer IV, Tortosa se había mantenido como un puerto estratégico de la fuerza naval musulmana en Al-Ándalus.

madera pirenaica mediante el transporte fluvial del Ebro. En el caso de Valencia, su producción naval se abastecía de la sierra de Albarracín.

El establecimiento de bases navales en el mundo musulmán estaba influenciado por las rutas de suministro de madera. De tal manera, el establecimiento de un estado islámico en Creta (827), como principal base naval musulmana de Oriente, responde a un abastecimiento desde Egipto, cuyas maderas, para la construcción y reparación de buques, provenían de la ciudad costera de Damieta. Igualmente, Al-Ándalus se proveía de madera en: Cuenca, el macizo catalán, las Baleares, los pinares del Algarve, los bosques béticos y el norte de África y cada arsenal extraía la madera de los montes cercanos (Fernández González, 2015). La escasez de bosques, el deterioro de la cubierta forestal, las condiciones económicas, los avances técnicos, la situación militar y la financiación contribuyeron al problema de la deforestación en el Mediterráneo musulmán entre los siglos VII-XI (Lombard, 1959). Entre los factores que, a corto plazo, aceleraron la deforestación, se encuentran los económicos, debido a la expansión del mundo musulmán, los avances técnicos tanto en la construcción como en otra manufactura y la situación geopolítica, cuyos conflictos resultan en la pérdida de regiones claves de abastecimiento[66]. A nivel financiero, el comercio de la madera era altamente demandante tanto por recursos técnicos, transporte y mano de obra. Estos estaban basados en un comercio unilateral con lugares lejanos que, en situaciones económicas desfavorables, resultaban un reto claro.

Del siglo VIII al XI, los países musulmanes del Mediterráneo, que carecían de recursos forestales propios, como Siria meridional, Egipto, la costa del *Syrtes* e Ifriquía[67], experimentaron desafíos en el suministro de madera. En los siglos VII-VIII, la necesidad de madera aumentó para las construcciones urbanas y la competencia naval con Bizancio. Se realizaron requisas y se explotaron de forma intensiva los bosques del norte de Siria y se llevaron a cabo incursiones en Anatolia, Chipre y Creta para obtener madera. Durante las centurias VIII, IX y X, la dominación del Magreb y la conquista de la península ibérica abrieron nuevas fuentes de suministro de madera. Se construyó un arsenal en Túnez abastecido con madera de los macizos de *Kroumir* y se realizaron incursiones en Sicilia. Las conquistas ampliaron las bases de aprovisionamiento en Creta, Sicilia, el sur de Italia y ciertas zonas boscosas de las costas de Provenza y Dalmacia. También se buscó la madera del océano Índico, especialmente la teca. En la segunda mitad del

[66] Incluyendo Creta, Siria y Sicilia.
[67] Territorio medieval del norte de África correspondiente a la actual Túnez.

siglo IX y la primera mitad del siglo X, se establecieron rutas madereras entre Siria-Egipto, Ifriqiya-Magreb-Sicilia y península ibérica-Magreb. En los siglos X-XI, la reconquista bizantina de Creta, Chipre y los macizos del norte de Siria privó a Egipto de su mercado tradicional de madera, lo que llevó a esfuerzos extraordinarios por parte de los Fátimidas para obtener madera de diversas fuentes. En el siglo XI, la ruptura con los ziríes de *Ifriqiya* (Ifriquía) y la pérdida de Sicilia redujeron aún más los recursos de madera de Egipto. Esta región se vio obligada a importar madera de los lejanos bosques del océano Índico y a recurrir al tráfico de contrabando desde Venecia. La flota fatimí se redujo rápidamente y el mundo musulmán perdió poder naval y comercio marítimo frente a un Occidente que utilizaba los bosques para sus necesidades.

La presencia musulmana en la Península fue evidente también en la construcción de naves, con el establecimiento de las Ataranzas en Al-Ándalus y tuvo un impacto en las masas forestales. Las atarazanas desempeñaban un papel fundamental en la organización naval estatal y asumían la responsabilidad de supervisar la edificación, reparación y aprovisionamiento de embarcaciones. Estas atarazanas no solo cumplían una función marítima práctica, sino que también tenían un valor defensivo y visual en las ciudades y puertos: formaban una parte integral de las murallas defensivas (Navarro Paredes, 2019).

Entre las obras que nos permiten valorar la evolución y aportación naval española se encuentra la *Disertación sobre la historia de la naútica y de las ciencias matemáticas que han contribuido a sus progresos entre los españoles* (1846) publicado por La Real Academia de la Historia, siendo una obra póstuma de **Martín Fernández Navarrete** (1765-1844). La parte tercera de esta obra menciona el uso de las matemáticas en la profesión marinera y de su influencia en otras ciencias. El autor considera clave los avances alcanzados por diversas ciencias en el siglo XV de disciplinas como la astronomía, cosmografía, aritmética y matemáticas. Habla de las bombas de madera:

> *"En aquel tiempo se presentó también Vicente Barroso, que, por ser el primero que hizo en España bombas de madera para sacar agua de las naves, obtuvo el privilegio exclusivo de construirlas por un período de diez años, en atención a que eran más útiles y baratas que las de metal del cosmógrafo Diego Ribeiro."*

Los cosmógrafos y matemáticos de España y Portugal tuvieron entre los siglos XVI y XVII un papel fundamental en el estudio y promoción de esas disciplinas científicas (Navarro Brotons, 2000).

A nivel institucional, la real cédula de 20 de enero de 1503 establece la Casa de la Contratación de Sevilla[68] cuya función era la de supervisar el comercio con las Indias. La centralización del comercio de ultramar en Sevilla respondía a una serie de razones comerciales y estratégicas que incluían su acceso directo al mar desde el puerto fluvial del Guadalquivir, la protección del puerto y de la red comercial preexistente en la ciudad. Esto le permitía convertirse en una ciudad de extrema importancia para el Reino de Castilla, la carrera de Indias y el desarrollo de la navegación mundial. Esta institución se crea con posterioridad a la también comercial, pero portuguesa, *Casa da Índia* (1500), con el mismo propósito, aunque sus orígenes se puedan encontrar en las ambiciones africanas de este Reino[69]. Los intereses españoles en esos territorios también se gestionaron desde Sevilla, principal puerto hasta el siglo XVIII. Previamente a su navegación a África, los navíos de registro requerían de tres inspecciones diferentes que incluían: estado de la nave, capacidad de carga y las provisiones (Santana Perez, 2011).

De la casa de contratación de Sevilla nace el *Padrón Real*, que se convierte en el mapa base para la navegación castellana. Por tanto, la Casa de Contratación es el lugar donde se centralizan las actualizaciones de los pilotos y cosmógrafos quienes, tras sus viajes, completaban o corregían el documento. También, esta institución se convierte en un centro de enseñanza, en el que se formaba a los pilotos que pasaron de una formación de un año a tres meses en el año 1554, con una posterior reducción a dos meses en 1567. Es por ello que su respeto profesional quedo gravemente dañado[70] y, por tanto, se comienzan a asociar[71] para dotar a la profesión de prestigio (Perez-Mallaina Bueno, 2001). Como consecuencia se crea en Sevilla la Universidad de Mareantes (1569), cuya base social se encontraba en la cofradía religiosa de Nuestra Señora del Buen Aire, y que sirvió como organización

[68] Como organismo rector, de bienes y personas, además de la carrera de Indias cuenta como primeros empleos con un tesorero, un factor y un escribano-contador. Para 1508 ya aparece el puesto de piloto mayor, que era el responsable de la elaboración del Padrón Real y de la formación de los pilotos. Otros cargos científicos fueron el cosmógrafo fabricador de instrumentos (1523) y el catedrático de arte de navegar y de la cosmografía (1552).

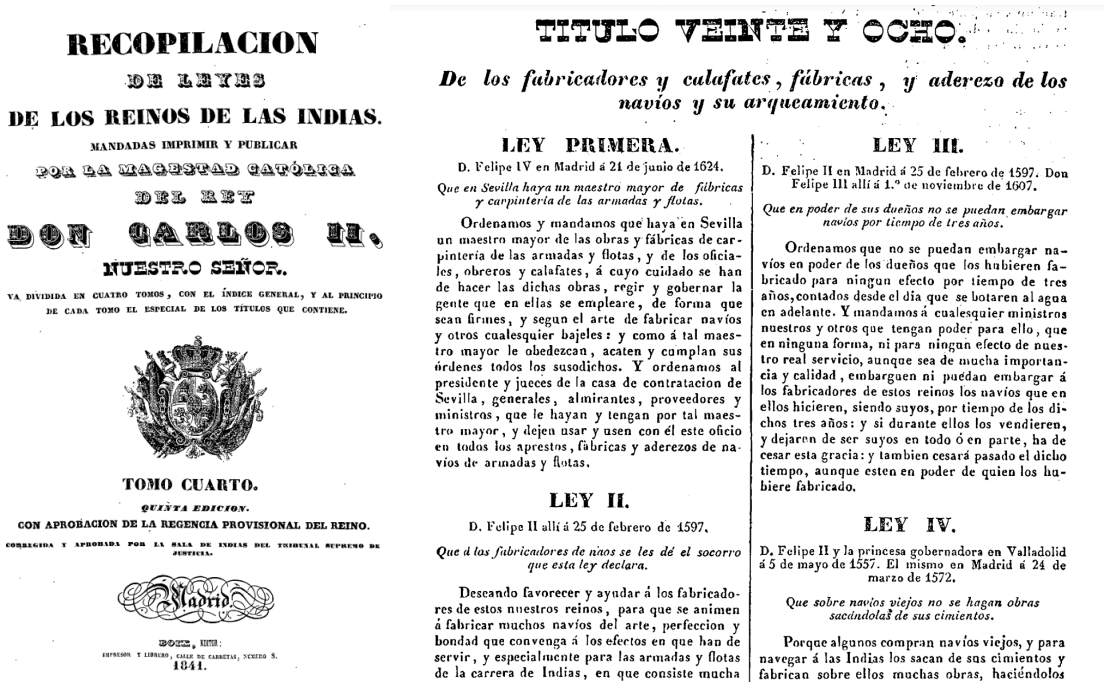
[69] El Reino de Portugal, a partir de su exploración de las costas de África, funda también en Lisboa la Casa de Ceuta; a ella le siguen las también africanas Casa de Arguim y la Casa da Guiné. Posteriormente quedan reorganizadas en la Casa da Guiné e Mina.

[70] Figuras altamente reconocidas como Diego García de Palacio, Juan Escalante de Mendoza o Martín Cortés señalan la poca formación e interés por aprender de estos profesionales de la mar.

[71] Son los oficios de señores de nao, maestres y los mencionados pilotos los cuales tratan de elevar su condición social. En los buques mercantes, el Maestre era una figura de máxima importancia siendo el responsable económico, que, al igual que es piloto, se formaba y examinaba en la casa de contratación.

que defendía los intereses de la gente de mar destinada a la carrera de Indias. Concluye su actividad en 1793, tras más de dos centurias de servicio asistencial, religioso y profesional. Entre sus activades educativas destaca la responsabilidad o dirección[72] del Real Colegio Seminario de San Telmo de Sevilla (1681-1847), cuyo objetivo caritativo y estratégico[73] formó a numerosos marineros que sirvieron en la carrera de Indias y las armadas.

Algunas actividades relacionadas con la construcción naval también estaban controladas por la Universidad de Mareantes, cuyos diputados ejercían su autoridad sobre procedimientos como "alquitranar la Xarcia labrada en Sevilla", Sanlúcar y Cádiz, al igual que el derecho al responsable de visitar[74] las naves construidas en Sevilla o traídas del extranjero para la carrera de Indias (Sala de Indias del TSJ, 1841). La construcción naval, por consiguiente, es influenciada por la carrera de Indias, que estaba gobernada desde 1543[75] por las ordenanzas navales.



RECOPILACION
DE LEYES
DE LOS REINOS DE LAS INDIAS.
MANDADAS IMPRIMIR Y PUBLICAR
POR LA MAGESTAD CATÓLICA
DEL REY
DON CARLOS II.
NUESTRO SEÑOR.
VA DIVIDIDA EN CUATRO TOMOS, CON EL ÍNDICE GENERAL, Y AL PRINCIPIO DE CADA TOMO EL ESPECIAL DE LOS TÍTULOS QUE CONTIENE.
TOMO CUARTO.
QUINTA EDICION.
CON APROBACION DE LA REGENCIA PROVISIONAL DEL REINO.
CORREGIDA Y APROBADA POR LA SALA DE INDIAS DEL TRIBUNAL SUPREMO DE JUSTICIA.
Madrid
1841.

TITULO VEINTE Y OCHO.

De los fabricadores y calafates, fábricas, y aderezo de los navíos y su arqueamiento.

LEY PRIMERA.

D. Felipe IV en Madrid á 21 de junio de 1624.

Que en Sevilla haya un maestro mayor de fábricas y carpintería de las armadas y flotas.

Ordenamos y mandamos que haya en Sevilla un maestro mayor de las obras y fábricas de carpintería de las armadas y flotas, y de los oficiales, obreros y calafates, á cuyo cuidado se han de hacer las dichas obras, regir y gobernar la gente que en ellas se empleare, de forma que sean firmes, y segun el arte de fabricar navíos y otros cualesquier bajeles: y como á tal maestro mayor le obedezcan, acaten y cumplan sus órdenes todos los susodichos. Y ordenamos al presidente y jueces de la casa de contratacion de Sevilla, generales, almirantes, proveedores y ministros, que le hayan y tengan por tal maestro mayor, y dejen usar y usen con él este oficio en todos los aprestos, fábricas y aderezos de navíos de armadas y flotas.

LEY II.

D. Felipe II allí á 25 de febrero de 1597.

Que á los fabricadores de ñaos se les dé el socorro que esta ley declara.

Deseando favorecer y ayudar á los fabricadores de estos nuestros reinos, para que se animen á fabricar muchos navíos del arte, perfeccion y bondad que convenga á los efectos en que han de servir, y especialmente para las armadas y flotas de la carrera de Indias, en que consiste mucha

LEY III.

D. Felipe II en Madrid á 25 de febrero de 1597. Don Felipe III allí á 1.º de noviembre de 1607.

Que en poder de sus dueños no se puedan embargar navíos por tiempo de tres años.

Ordenamos que no se puedan embargar navíos en poder de los dueños que los hubieren fabricado para ningun efecto por tiempo de tres años, contados desde el dia que se botaren al agua en adelante. Y mandamos á cualesquier ministros nuestros y otros que tengan poder para ello, que en ninguna forma, ni para ningun efecto de nuestro real servicio, aunque sea de mucha importancia y calidad, embarguen ni puedan embargar á los fabricadores de estos reinos los navíos que en ellos hicieren, siendo suyos, por tiempo de los dichos tres años: y si durante ellos los vendieren, y dejaren de ser suyos en todo ó en parte, ha de cesar esta gracia: y tambien cesará pasado el dicho tiempo, aunque esten en poder de quien los hubiere fabricado.

LEY IV.

D. Felipe II y la princesa gobernadora en Valladolid á 5 de mayo de 1557. El mismo en Madrid á 24 de marzo de 1572.

Que sobre navíos viejos no se hagan obras sacándolas de sus cimientos.

Porque algunos compran navíos viejos, y para navegar á las Indias los sacan de sus cimientos y fabrican sobre ellos muchas obras, haciéndolos

Figura 3.2: Extracto de la recopilación de leyes de los Reinos de Indias. Fuente: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes

[72] Hasta 1786, año en el que el seminario sufre una reforma educativa y un cambio de dirección.

[73] Existía una escasez crónica de marinos desde el siglo XVI, especialmente de pilotos, víctimas de la peligrosidad de la vida marinera.

[74] Visitar en estos documentos se refiere a inspeccionar la nave.

[75] Desde 1526 estaba establecido que los navíos viajasen en convoy protegidos por la marina de guerra, pero no existían una regulación del alcance de la de 1543 que incluía las salidas anuales y el coste de la escolta.

En lo referente a la madera empleada para construir las naves en Sevilla, se abastecieron de los robledales de Aroche (Huelva) conocidos por el roble Melojo y la más cercana Sierra Morena. Una vez agotados esos montes, se trató de suplir la demanda a través de otras regiones castellanas, incluyendo Tortosa y la Sierra de Segura. No obstante, las naves andaluzas no gozaron de gran prestigio en la carrera de Indias y, para 1593, se promulga una ley que cita: "Que no puedan navegar en la Carrera Navío fabricados en la costa de Sevilla, y otras que se declara". Estas incluían Sanlúcar de Barrameda, Cádiz, Puerto de Santa María, Condado de Niebla y los marquesados de Gibraleón y Ayamonte, e incluían su registro en la Armada y como mercante. La pena a la que se enfrentaba el dueño de la nao era de dos mil ducados, mientras que los Mestres y pilotos eran privados del oficio y pertenencia a la Carrera de Indias más una multa de 500 ducados, la cual representaba una pequeña fortuna[76] (Sala de Indias del TSJ, 1841). Previo a esta cédula, otras regiones emplearon los argumentos de mala calidad de la madera andaluza para arrebatar el monopolio de Sevilla como trató de llevar a cabo La Coruña en 1520[77] (Perez, 2000).

El Imperio Habsburgo se enfrentó a limitaciones financieras significativas a pesar de sus vastos recursos, debido a los enormes gastos defensivos necesarios para mantener uno de los imperios territoriales más grandes de la historia. Aunque invirtieron diez veces más en infraestructuras militar y personal de guerra en comparación con Inglaterra o Francia en los siglos XVI y XVII, en varias ocasiones esto llevó al colapso económico (Mira Caballos, 2019). La Corona estableció una defensa sólida en tierra y mar en sus dominios americanos, limitando así las influencias extranjeras al mismo tiempo que reforzaron puntos clave en la costa y posicionaron escuadras navales estratégicas. La financiación provino de la Corona, de los virreinatos, los consejos, las órdenes militares y de los diversos estratos sociales. A pesar de algunas pérdidas menores, mantuvieron su territorio principal y el control de rutas de metales preciosos. No obstante, el costoso sistema naval generó carencias en áreas extensas. Los territorios sobrevivieron mediante el contrabando, necesario debido al monopolio de Sevilla. Este resultó limitado, pero no eliminado, con la desaparición del monopolio de Sevilla-Cádiz (Perez, 2000). El poder de Sevilla se hizo patente en las características de los barcos, que aunque

[76] 500 ducados representaban los pagos por una carrera que podía recibir un piloto. Y es la cantidad que le concede el Rey Carlos I, como renta anual a Juan Sebastián Elcano.

[77] Las ventajas que expusieron fueron: la mayor disposición del puerto, la mayor proximidad a los países del norte de Europa, la abundancia de madera y de hierro. Al igual que inciden el que el agua de Sevilla era propensa a la aparición del gusano de barco.

aumentaron su tonelaje, mantuvieron un calado oportuno para la navegación fluvial.

En el contexto de la regulación de la construcción naval del siglo XVII, se promulgan las Ordenanzas de construcción, que se unen al resto de normativas sobre asuntos marítimos. Bajo el reinado de **Felipe III**, aparecen las *Ordenanzas para las armadas del mar Océano y flotas de Indias* de 1606, de menor importancia para este trabajo puesto que buscaba paliar otro tipo de escasez: la de la tripulación de marinos españoles. Es la *Ordenanza de 1607* la que verdaderamente da un empuje a la construcción de las naves, no sólo en lo laboral con la maestranza, sino también en la determinación del codo como medida. A las citadas les siguen las *Ordenanzas de 1613*, que introducen una nueva regla del arqueo, y las *Ordenanzas de 1618*, que continúan definiendo las dimensiones de las naves. Tras la primera Ordenanza de construcción naval, la de 1607, publica **Thome Cano** el *Arte para fabricar, fortificar, y apareiar naos de guerra, y merchante* (1611), obra escrita en forma de diálogo como otras obras anteriores como el *Itinerario* de **Escalante y Mendoza** y la *Instrucción Naútica* de **García de Palacio**.

El progreso de la construcción naval se da simultáneamente en la Marina Mercante y en la flota de guerra. La especialización de buques de guerra no era algo habitual, sino el armado de los mismos cuando eran requeridos por la corona. Estas tres ordenanzas dan origen a unos buques que podrían considerarse polivalentes (Apestegui, 2001), ya que los requisitos, principalmente geométricos, de estas naves debían poder ofrecer a la marina de guerra buques mercantes adaptables que pudieran servir en las flotas navales durante los embargos.

3.3. Antecedentes, influencia extranjera y aparición de las marinas nacionales

En el siglo XVII, naciones europeas como España, Inglaterra, Francia, Holanda, Dinamarca y Suecia, entre otras, centran su atención en el establecimiento de flotas estatales con miras a consolidar su dominio naval. Esta conlleva una revolución militar flotante (Palmer, 1997). Las principales potencias navales fueron: España, Inglaterra, Francia y los Países Bajos, por lo que serán estas las que se traten de manera más exhaustiva a lo largo de este trabajo.

Durante el período en discusión, Europa fue escenario de múltiples confrontaciones bélicas que subrayaron la preponderancia de la supremacía marítima. Entre los conflictos destacados se encuentran la guerra de los Nueve Años (1688-1697), la

contienda franco-neerlandesa (1672-1678), la guerra franco-española (1635-1659) y una serie de guerras anglo-neerlandesas (1652-1654;1665 y 1667;1672-1674) , que pueden ser consideradas extensión de la guerra de los Ochenta Años (1568-1648) y la guerra de los Treinta Años (1618-1648). Las contiendas entre España y otras potencias emanaron de diferendos dinásticos y territoriales, mientras que las disputas anglo-neerlandesas estuvieron caracterizadas por una marcada connotación comercial[78], incluyendo aspectos como la trata de esclavos.

Este incremento en la beligerancia naval fue una respuesta directa a la necesidad de mantener el dominio sobre los territorios y rutas comerciales adquiridos durante la era de exploraciones previas. Emergió así la exigencia de utilizar buques de guerra para propósitos mercantiles, incluyendo fragatas. Estos navíos y sus tripulaciones debían estar preparados tanto para las adversidades de los viajes transatlánticos como para enfrentarse a las armadas y corsarios enemigos, lo que impulsó un cambio en el uso de las embarcaciones, su armamento y la administración de los recursos para su construcción.

El amplio dominio que las naciones europeas requerían salvaguardar propició un incremento en las áreas de navegación y, con ello, en las demandas sobre los buques para resistir las severas condiciones de las travesías oceánicas. Los diseños navales se orientaron hacia la optimización de la resistencia, velocidad, maniobrabilidad y capacidad de fuego de las naves. Con la evolución de los conflictos navales, surgieron tácticas en las cuales la artillería se convirtió gradualmente en un elemento predominante, ilustrado en la formación táctica de línea de batalla y el auge del navío de línea. La implementación de la artillería como parte integral de los navíos fue una revolución en sí misma, lo que propició la aparición de estrategias defensivas avanzadas y la modernización de fortificaciones terrestres. La preferencia por la artillería de hierro sobre la de bronce marcó un hito significativo, dado su menor peso, y catalizó la evolución en el diseño de las embarcaciones para enfatizar la robustez estructural y la agilidad. Estos desarrollos se distanciaron de los paradigmas tradicionales de la construcción naval mediterránea. Cabe resaltar la transformación de las fragatas, que evolucionaron de ser unidades auxiliares en el Mediterráneo a convertirse en barcos de mayor envergadura y autonomía en el Atlántico durante el siglo XVII.

[78] Este conflicto comercial queda patente en obras contrapuestas como *Mare Liberum* (1609) de Hugo Grotius frente a *An Abridgement of All Sea-Lawes* (1613) de William Welwod. Ambas obras discrepaban en los conceptos de soberanía y de libre circulación, aunque ambas buscaban una justificación jurídica para sus reivindicaciones.

En el contexto marítimo del Mediterráneo del siglo XVII, se observó una evolución notable en la capacidad de artillería de las galeras, lo cual condujo a un incremento significativo en su desplazamiento. Mientras que en el año 1550, una galera típica tenía un desplazamiento de aproximadamente 200 toneladas, para el año 1650, este parámetro se había elevado a 300 toneladas. Esta transformación exigía un aumento proporcional en la potencia de propulsión, específicamente un incremento del 100 por ciento en la cantidad de remeros para afrontar un incremento del 50 por ciento en el desplazamiento de la nave (Sicking, 2010). La creciente demanda de fuerza para el remo condujo a la incorporación de esclavos y convictos en las galeras, designados comúnmente como "gente de remo". Además, se produjo un cambio en la modalidad de remo, pasando de ser operado por múltiples individuos a un sistema de remo individual. En el ámbito español, la condena a servir en las galeras perduró hasta la abolición del Cuerpo General de Galeras en el año 1748. Los reos que cumplían condenas en dichas galeras fueron posteriormente reasignados a las minas de Almadén y a distintos presidios en territorio africano. Finalmente, debido a la necesidad creciente de trabajadores en los arsenales, estos individuos fueron destinados a labores físicas en los Arsenales de Ferrol, Cádiz y Cartagena[79].

3.3.1. Táctica naval y artillería

El auge de la artillería condujo a una transformación fundamental en el diseño de las naves, imponiendo requisitos de robustez estructural, velocidad y capacidad de maniobra. Estas necesidades impulsaron la adopción de soluciones constructivas y de diseño que se apartaban de los modelos tradicionales mediterráneos. Un caso destacado de esta evolución es el de las fragatas en el siglo XVII. Inicialmente concebidas como navíos de apoyo en el Mediterráneo, estas embarcaciones experimentaron una metamorfosis, convirtiéndose en buques de mayor envergadura y con una operatividad independiente en las rutas del Atlántico. Ese cambio es también notable en los diccionarios del siglo XVIII en el que la acepción de navío pequeño termina por desaparecer (Carriazo Ruiz, 1999).

Hasta mediados del siglo XVI, la enseñanza formal de la artillería no había sido establecido. Antes de esa época, la única forma de adquirir conocimientos prácticos sobre el uso de piezas de artillería y de balística era a través de artilleros expertos[80]. En este ámbito, **Juan de Ledesma** firma en 1576 los requisitos que

[79] Pragmática de 12 de marzo de 1771 de Carlos III.

[80] Existen precedentes extranjeros como el tratado chino Huolongjing, datado en el siglo XIV, que no llegan a Europa.

Andrés de Espinosa[81] debe guardar para enseñar el oficio de artillero en la carrera de las Indias. Desde 1575, estos debían examinarse en Sevilla, en una de las escuelas que se habían establecido con el fin de reducir la dependencia de extranjeros que poblaban la artillería española. Esta educación continua en 1592 con **Julián Ferrofino** (c.1535-1604), que provenía de la Escuela de Artillería de Burgos. Para la formación de artilleros embarcados, **Andrés Muñoz el Bueno**, posiblemente a mediados del siglo XVI[82], publica *Instrucción y regimiento para que los marineros sepan utilizar la artillería con la seguridad que conviene*. Esta se convierte en una publicación de referencia para el manejo de la artillería en la flota de Indias (Figura 3.3). Obras posteriores incluyen: el *discurso del capitán Cristóbal Lechuga* (1611)[83], *El Perfeto Artillero* (1642) de **Julio César Firrufino** (c.1578-1651) o el *Tratado de artillería del Capitán Gaspar González de San Millán*[84]; todas ellas permitieron iniciar la formalización y sistematización de la enseñanza de la artillería en España. Para un enfoque más científico, deberemos esperar al siglo XVIII, con obras de la altura de *New principles of gunnery* (1742) de **Benjamin Robins** (1707-1751) que, con la óptica científica y matemática, revoluciona la comprensión de la balística y la dinámica de proyectiles.

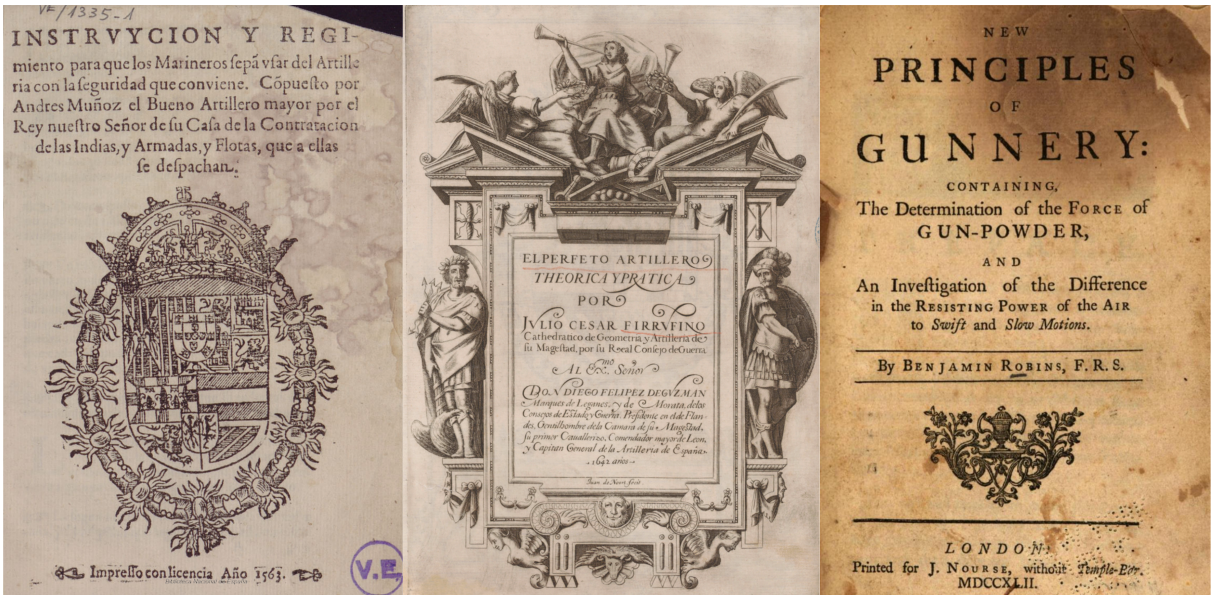


Figura 3.3: *Instrucción y Reg...* (1563), *El Perfeto Artillero* (1642) y *New principles...* (1742). Fuente: BNE y University of Michigan

[81] Artillero Mayor de la Carrera de Indias hasta 1592.

[82] A pesar de ser nombrado profesor de artillería en 1600, el fondo de la Biblioteca Nacional de España tiene un ejemplar fechado en 1563. Código: VE/1335/1.

[83] Título original: *Discurso que trata de la artillería y todo lo necesario a ella, con un tratado de fortificación y otros advertimentos.*

[84] Título completo: *Tratado de Artillería del capitán Gaspar González de San Millán, artillero mayor de la Casa de Contratación de las Indias, de la ciudad de Sevilla.*

En los albores del siglo XVI, hubo un progresivo abandono del hierro forjado a favor del bronce fundido, el cual coincidió con el cambio hacia el sistema de carga por la boca en lugar de la retrocarga para las piezas de artillería (Hormaechea, Rivera, & Derqui , 2012). A lo largo de esta centuria, el bronce experimentó mejoras en su calidad y se introdujeron piezas de hierro fundido, entre las que sobresalieron las culebrinas por su capacidad de alcance. Paralelamente, se produjo el desarrollo de cañones que, aunque más cortos, presentaban mayor calibre y potencia destructiva, lo que los hacía idóneos para su uso embarcado. A lo largo del siglo XVII, los buques aumentaron su tonelaje, lo que generó un impulso hacia la mejora en el tamaño y la calidad de las piezas de artillería, a la par que se realizaron avances en la composición de la pólvora y en el diseño de los proyectiles.

La introducción de los cañones de hierro fundido a mediados del siglo XVI supuso un cambio significativo en el armamento naval. Los cañones de hierro fundido, debido a su rentabilidad en comparación con los de bronce, permitieron armar los barcos a mayor escala. Este cambio coincidió con mejoras en el diseño de los carros y en las prácticas de fundición. Aunque los cañones de hierro fundido eran más pesados que los de bronce de potencia de fuego equivalente, su coste era considerablemente inferior, lo que supuso una importante ventaja económica. Esto condujo al desarrollo de un comercio internacional de cañones de hierro fundido, en el que los holandeses desempeñaron un papel destacado, lo que les valió el apodo de "arsenal del mundo" (Sicking, 2010). En la década de 1670, el coste de la artillería de hierro se había reducido drásticamente en comparación con la de bronce. La artillería de hierro fundido se convirtió en el medio estándar de defensa naval y los barcos se diseñaron para albergar más cañones mediante el uso de troneras y la colocación de la artillería en varias cubiertas. Además, los avances en el diseño de buques tenían como objetivo mejorar la velocidad y la maniobrabilidad, lo que dio lugar a tipos de buques como la fragata, que combinaba la potencia de ataque con la agilidad. El desarrollo del diseño naval pretendía optimizar el uso de cañones pesados en el mar y contrarrestar el dominio de las galeras. Surgieron varios tipos de barcos, reflejo de la diversidad de enfoques de los distintos países y astilleros. A pesar de la introducción de cañones pesados que destrozaban el casco, las tácticas de abordaje seguían siendo importantes, lo que dio lugar a buques con cascos de proa y popa, equipados con armas antipersonales y medidas antiabordaje. En general, la evolución del armamento naval y del diseño de buques durante este periodo se caracterizó por un afán de maximizar la potencia de fuego, la maniobrabilidad y las capacidades defensivas.

La introducción de la artillería en los buques trae consigo un aumento significativo en la carga del buque, lo cual puede considerarse una consecuencia geométrica. Esto se debe al incremento del volumen sumergido, una estrategia intencionada para aumentar tanto el francobordo como el puntal de las baterías. También, constructores navales buscan soluciones para una mayor resistencia. Favorecer el aumento del tonelaje, como consecuencia de la mayor potencia de fuego, afectaba al tamaño y disponibilidad de los árboles. El coste de construir un gran buque también incluía el derroche debido a la madera desechada, cuyo aprovechamiento consistió en construir un pequeño navío con las astillas de uno grande (Robertson, 1921). La carrera por construir buques más grandes la encontramos en el siglo XVII con las grandes potencias marítimas Holanda, Francia, Inglaterra y España.

3.3.2. Evolución de las formas y técnica

La marina de los siglos XVI y XVII se originó de la experiencia previa y las necesidades de la época. Los barcos se pueden dividir en aquellos influenciados por la navegación mediterránea y los diseñados para aguas oceánicas. Las galeras, con perfil alargado, fondo plano y movidas por remos, eran comunes en el Mediterráneo y eran impulsadas por la táctica de abordaje. Las galeras típicas tenían una proa afilada, castillo con cañones en la popa y remos largos manejados por remeros. En contraste, los barcos redondos, o naos, tenían velamen cuadrado o mixto, alto bordo y se desarrollaron para el Atlántico. El desarrollo naval implicó transición de remos a vela, aumentando la capacidad de carga y maniobrabilidad. La capacidad de las galeras se medía por el número de remeros, mientras que en las naos se medía en toneladas (Fernández Izquierdo, 1989).

En lo que respecta a las teorías evolutivas, el uso de analogías evolutivas en la arqueología náutica es controvertido (Zwick, 2014). La idea de que los barcos puedan producir descendencia es rechazada, enfatizando en su lugar las decisiones humanas sobre la continuidad o adaptación. Estos conceptos se complementan con la disponibilidad de material, en esta etapa inicial, la madera que fuese adecuada para la construcción naval. La construcción naval, más que una evolución, debe considerarse fruto de las decisiones humanas que, por continuidad o adaptación, han alterado su diseño (Maarleveld , 1995). Por consiguiente, tanto el entorno como la interacción cultural han influido en la evolución de técnicas navales, donde los recursos disponibles y la transferencia tecnológica, o imitación, se convierten en elementos claves. En el ámbito de lo que actualmente se llama biónica, una

inspiración en la naturaleza, se encuentra en la colección de documentos[85] *Fragments of Ancient English Shipwrighty*, cuyo autor más relevante, **Matthew Baker** (1530-1613) ofrece una interpretación del casco de un galeón *race-built*[86] del último cuarto del siglo XVI, cuya forma está basada en una cabeza de bacalao y una cola de caballa.

En España coexistieron dos tipos principales de navegación: la atlántica y la mediterránea. Por lo tanto, se puede hacer una distinción que, aunque grosso modo, permite entender la evolución de las formas navales. En el Mediterráneo, siguiendo las tradiciones fenicia, griega y romana, tenemos las galeras que hasta su desaparición en 1805[87], forman una parte notable de la marina de guerra, aunque tuviesen un uso mixto desde el siglo XIII en la actividad mercantil. La característica más apreciable era el uso de remos, que dependían de la fuerza humana, como mecanismo de propulsión. Esto se debía a la necesaria movilidad e independencia respecto los vientos débiles y cambiantes de su zona de operación. Para la segunda mitad del siglo XVI, con cierta independencia de las órdenes de remos, se favoreció el uso de múltiples hombres por remo a pesar de su mayor tamaño[88], que beneficiaba el espacio a bordo frente a la maniobrabilidad (Gonzalez Fernandez, 2021). Para el combate, estos buques no se apoyaban tanto en su artillería, inicialmente primitiva, sino en el uso del espolón de proa. Con una relación de eslora manga menor, es decir, menos esbeltos que las galeras, se encuentran el siguiente grupo de embarcaciones que podemos considerar para la navegación atlántica[89]. El crecimiento de las naves partió de la Marina Mercante que buscaba una mayor capacidad de carga, lo que a su vez exigía una mejora de la maniobrabilidad del buque, que afectaba a timón y aparejos y de una mayor superficie velica, facilitada por un mayor número de palos. La variación de las formas de estas embarcaciones se hacía con el calado y la capacidad de carga como prioridades, al igual que con su capacidad marinera.

Impulsado por las demandas de la exploración oceánica y el comercio global, se desarrolla la evolución de las embarcaciones atlánticas. Esta requería naves más

[85] No se puede considerar una publicación cohesiva, más bien un conjunto de hojas. Fue preservado por Samuel Pepys (1633-1703) quien le otorga ese nombre.

[86] Galeón construido entre 1570 y finales de ese siglo bajo la dirección de Sir John Hawkins. Eran galeones de menor calado, con una mayor relación eslora/manga, mayor estabilidad y mayor velocidad. Otra de sus características consistía en una mayor potencia de fuego que, junto a la mencionada velocidad, lo convirtieron en una plantilla para buques posteriores.

[87] El autor emplea esta fecha al corresponder a la baja de las últimas galeras españolas, habiendo disuelto en cuerpo de galeras en 1748.

[88] Conocido como "a tercerol" si un remero y "a galocha".

[89] Esta distinción obvia la coca, ampliamente empleada en el Mediterráneo desde su aparición en el siglo XIV y proveniente de la navegación báltica.

grandes y robustas que permitiesen realizar largas travesías oceánicas, distanciándose de la navegación costera y fluvial. En el caso español y portugués, trajeron un diseño de Barca y la Carabela Latina que, posteriormente, dio paso a la ágil Carabela Redonda, las naos y las carracas. Anteriormente, en el norte de Europa durante el medievo existe otra embarcación que logró alcanzar las costas mediterráneas ibéricas: la coca. Con el tiempo, todas estas embarcaciones comenzaron un proceso de estandarización de medidas y proporciones, que emplearon las maderas peninsulares accesibles como roble, pino, castaño y cedro lista que se engrosó con maderas exóticas según avanzó la exploración naval. Este cambio sistemático, se evidencia en el *Livro da Fábrica das Naus* (c.1580) de **Fernando Oliveira** (1507-c.1581), que lo convierte en un verdadero testimonio de la tradición ibero atlántica[90].

Hasta entrado el siglo XVIII existe en España un sistema constructivo llamado de ligazones superpuestas en el cual la estructura del barco se forma mediante dichas ligazones. Este método presenta ventajas como la resistencia, pero también inconvenientes como el desperdicio de material y falta de estandarización. La técnica comienza sobre la quilla y avanza con la superposición de ligazones y otros elementos, hasta cerrar la estructura. Como se discutirá más adelante, en el siglo XVIII este sistema evoluciona hacia la construcción por cuadernas. Esta metodología se basaba en una estructura principal llamada fiador, que era la parte superior de la quilla del barco. Las ligazones, instaladas sobre el fiador, eran piezas robustas de madera curva de distintas dimensiones, conformadas ya sea por la disminución de su sección transversal o por medio de un proceso de curvado con calor. Cada ligazón se componía de tres partes: una varenga central y dos genoles, ensambladas mediante conexiones de tipo cola de milano en los laterales y reforzadas con clavijas de madera y metal. En términos de estructura, las ligazones no se encontraban interconectadas directamente, sino que se unían mediante un revestimiento de tablones de diferentes longitudes, tanto en el interior como en el exterior, el cual servía como principal medio de fijación. Esta es la estructura encontrada en el ballenero vasco encontrado en *Red Bay* en 1978, que fue identificado como el **San Juan**, hundido en 1565.

A nivel más general, los buques de madera de grandes dimensiones en los astilleros europeos se construían, en el siglo XVII, bajo dos metodologías. Una que requería

[90] Oliveira es también autor de *Arte da guerra do mar* (1555) y *Ars nautica* (1570).

de planos como etapa inicial[91] y otra que no los empleaba, siendo común en los Países Bajos[92] y basada en estabilizar el fondo con cornamusas provisionales antes de incorporar las cuadernas (Figura 3.4). Este segundo método está descrito en tratados holandeses como el *Aeloude and hedendaegsche Scheepsbouw en Bestier* (Witsen, 1671) de **Nicolaas Witsen** (1641-1717). Por tanto, una segunda distinción era el uso de la quilla y las cuadernas como elemento estructural inicial o el comienzo del casco mediante tablones sobre el que se añadían el resto de los elementos estructurales. De este modo, los métodos eran en cuadernas o en tablones. En la construcción, en la que el casco era el primer paso, estos tablones podían ser colocados mediante tingladillo, a solape/yuxtapuestas/carvel o cosidas y se podía unir en cualquier caso mediante cuerdas, clavos, cabillas, pernos o el método de mortaja y espiga. Los tablones unidos en carvel, que permitían una superficie lisa, requerían de una preparación de los bordes, mediante un biselado, cuya superficie era sellada mediante el calafateado y eran más habituales en embarcaciones de menor porte.

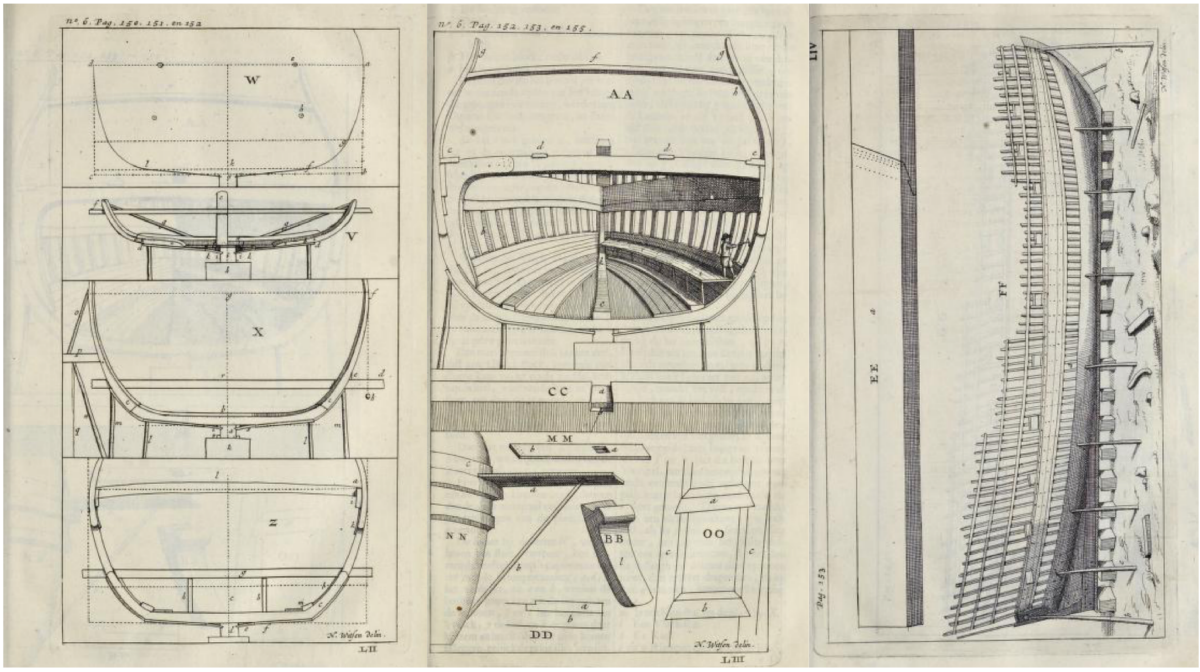


Figura 3.4: Etapas del proceso descritos en Witsen (1671)

Para entender la construcción naval holandesa, junto a la obra de **Witsen**, nos debemos apoyar en otra publicación de su contemporáneo **Cornelis van YK**, autor

[91] Más común en Inglaterra, Francia, Alemania y España y el que, en última instancia, se acaba extendiendo, en parte debido a que el proceso moderno de diseño y análisis de buques se desarrolló en torno a este método, aunque su origen fuese el de forro o tablones primero.

[92] Cae en desuso a mediados del siglo XVII.

de *De Nederlandsche Scheepsbouw-konst Open Gestelt* (1697). También, podemos experimentar la construcción holandesa del siglo XVII gracias al trabajo de reproducción del buque **Batavia** (1628) perteneciente a la Compañía Neerlandesa de las Indias Orientales, y a fines de la centuria anterior del **Witte Swaen** (El Cisne Blanco) del proyecto **Willem Barentsz**, que toma su nombre del célebre cartógrafo y explorador polar[93].

En la primera mitad del siglo XVII, las armadas se convirtieron en instituciones estatales, lo que llevó a la burocratización y a la centralización. Las armadas proporcionaban protección y se convirtieron en herramientas políticas y de prestigio para los estados. La preocupación por las armadas y la defensa marítima devinieron en una parte esencial del gobierno y la política exterior de los gobernantes (Janžekovič, 2020).

3.3.3. Francia y el *Album de Colbert*

No se puede entender la historia naval de Francia sin mencionar previamente al destacado **cardenal Richelieu** (1585-1642), cuya figura novelada es mundialmente conocida por la obra de Alejandro Dumas y por posteriores adaptaciones. A él se le atribuye la cita:

> *"une armée sur mer perpétuellement entretenue, car la première chose qu'il faut faire est de se rendre puissant sur la mer, qui donne entrée dans tous les Etats du monde"*[94]

Dicha cita viene a resaltar la importancia del mar y la necesidad de una armada permanente frente al flete. Richelieu despoja del poder de explotación de buques de guerra a las autoridades locales y a los navieros. Esto significará que el estado se hará cargo de la construcción, operación y mantenimiento de los buques. La armada francesa es, por tanto, creada en 1624, con su correspondiente mayor necesidad administrativa y material. Lo que propicia que **Jean-Baptiste Colbert** (1619-1683), ministro del rey **Luis XIV** (1643-1715), defienda una política de restauración forestal apoyada en su afirmación "la France périra faute de bois[95]". Estas políticas derivan en la publicación de la *Ordenanza de 1669 de Luis XIV sobre el agua y los bosques* (1669), sobre la que posteriormente se basará la

[93] Willem Barentsz (c. 1550-1597).

[94] Traducción: "*un ejército en el mar perpetuamente mantenido, porque lo primero que hay que hacer es hacerse poderoso en el mar, que da acceso a todos los estados del mundo*".

[95] Traducción del francés: "Francia perecerá por falta de árboles".

española *Ordenanza para la conservación y aumento de los montes de Marina en las provincias y distritos que se expresan* (1748). Se debe destacar que estas ordenanzas favorecieron principalmente la repoblación del roble, pero no de otras especies. El gran apoyo y la determinación, relativos a la construcción naval de este ministro francés, quedan inmortalizados en la obra anónima conocida como *Album de Colbert* (1670). En ella se muestra el arte de la construcción naval de manera visual, con diferentes ilustraciones o planchas que muestran la realidad de la construcción naval francesa durante el siglo XVII (Figura 3.5). Otra forma táctil y visual fueron los modelos de arsenal. Mediante un decreto de **Colbert** en 1678 se estableció que "en cada arsenal se confeccionen modelos reducidos de barcos (...), precisos y fieles, que sirvan como referencia perpetua para las medidas y proporciones de futuras construcciones"[96]. Esto conduce a la creación de múltiples modelos en los arsenales, estandarizando los diseños y permitiendo un estudio minucioso de sus características. Estos también tenían la intención de confirmar que los constructores seguirían las características mostradas en ese prototipo, con miras de evitar posibles fraudes o discrepancias. No se trató de una novedad francesa, ya que se sabe de la existencia de estos modelos desde comienzos del siglo XVII en Inglaterra.

Antes de la llegada del **cardenal Richelieu**, la construcción naval en Francia se caracterizaba por su irregularidad y principalmente se limitaba a periodos de guerra. Sin embargo, a partir del siglo XVII, este sector experimentó un cambio estratégico significativo. **Colbert** desempeñó un papel esencial en la formación de los arsenales de *Rochefort* (1666) y en la expansión del de *Brest*. Nacionalizó la construcción naval y transformó los arsenales en centros de conocimiento altamente especializados, además los protegió de posibles espionajes enemigos. Dentro de estos recintos, trabajaban hábiles artesanos y obreros, expertos en las distintas técnicas y materiales de construcción de los barcos reales, los cuales se unieron al sistema de reclutamiento marítimo innovador llamado *service de clase* (servicio de clase), que amplió y profesionalizó la Marina Real (Granier, 1990-1995). Este sistema centralizado estableció distritos navales en las costas francesas, y asignó cuotas de reclutas basadas en la población y la tradición marítima. La incorporación de voluntarios y la conscripción formaron el proceso de reclutamiento. A quienes se alistaban voluntariamente se les otorgaban ventajas

[96] "l'intention du roi est qu'il soit fait, en chaque arsenal, des modèles en petit d'un vaisseau (…) et il faudra que ces modèles soient faits avec autant d'exactitude et de justesse qu'ils servent perpétuellement pour les mesures et les proportions à tous les vaisseaux qui seront construits dans l'avenir".

como pagos iniciales y oportunidades de ascenso. Si no se alcanzaba la cuota, se recurría a la conscripción forzosa. Agentes de reclutamiento llamados *engagistes*: buscaban hombres en los distritos y tenían poder para seleccionar a los adecuados, quienes eran formados según las funciones a desarrollar a bordo.

En Tolón, situado en la costa mediterránea del sur de Francia, establecieron una base naval en tiempos de **Enrique IV de Francia** (1553-1610). No obstante, **Richelieu** amplió y reforzó las defensas de este arsenal que, en la actualidad, continúa siendo la principal base naval de la Armada francesa. Es en 1667 cuando el primer navío de 120 cañones es botado en Tolón. Este buque, bautizado como **Royal Louis**, será usado como referencia por **Jean-François Gautier Oliber** (1733-1800) para el navío **Purísima Concepción** (1779).

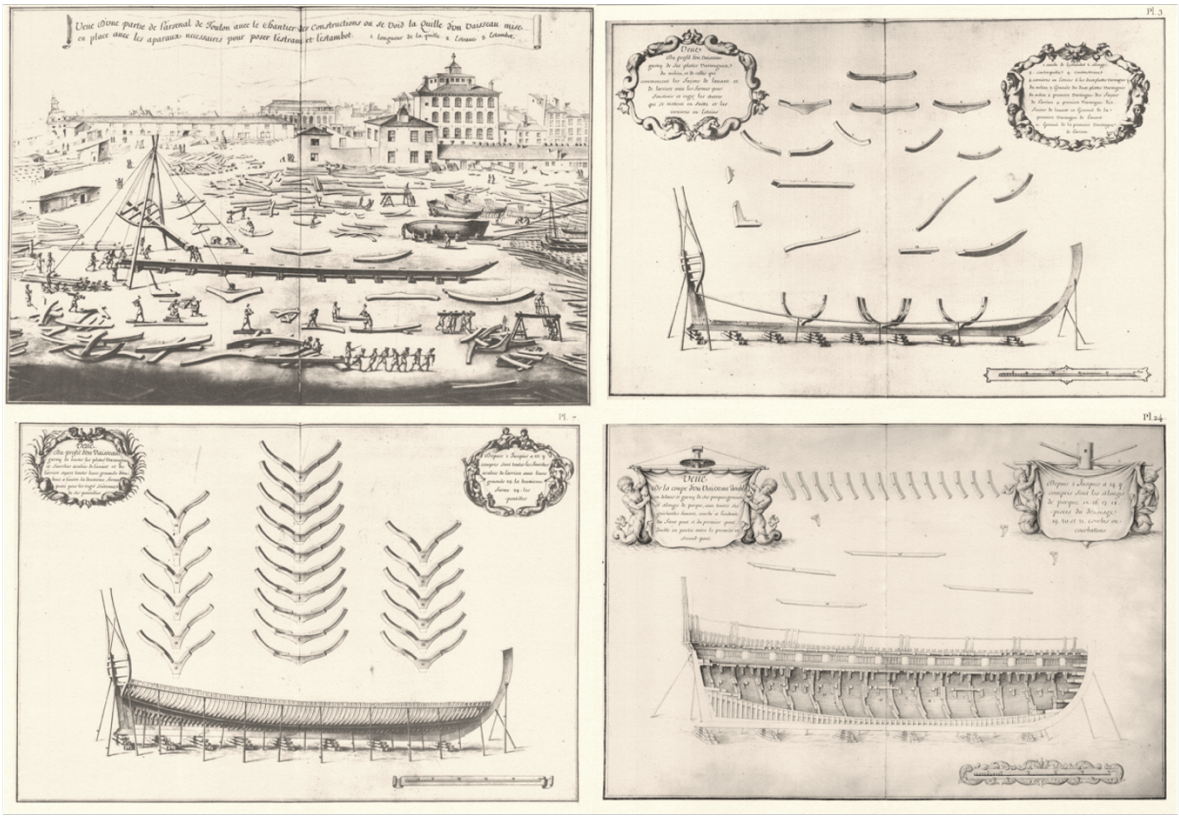


Figura 3.5: Placas 1,3,7 y 24 extraídas del Album de Colbert

Con el objetivo de garantizar una gestión forestal sostenible, proteger los ecosistemas forestales y satisfacer las necesidades de madera del país, en Francia se publicaron las conocidas como ordenanzas forestales. Y aunque existiesen anteriores, como la emitida en 1291 durante el reinado de **Felipe IV** (1268-1314), la importancia de la promulgada en 1669 durante el reinado de **Luis XIV** tiene su valor al convertirse en una legislación integral que introdujo un sistema unificado

para la gestión forestal en Francia (Croumbie Brown, 1883). Se centró en prácticas sostenibles, designó áreas de tala y estableció la administración forestal.

La *Ordenanza Forestal Francesa* de 1669 marcó un hito significativo en la gestión y conservación de los bosques en Francia. Para comprender su importancia, es importante examinar el tratamiento histórico de los bosques hasta ese momento. Antes del siglo XVII, los bosques en Francia eran explotados y descuidados, considerados solo una fuente de madera inmediata. Sin embargo, con el aumento de la conciencia sobre su importancia social y ambiental, surgieron esfuerzos para protegerlos y regular su uso. A pesar de que los "bosques reales" existiesen desde el siglo XIII, que estaban sujetos a regulaciones específicas y gestionados con mesura, en el siglo XVI, las preocupaciones sobre la deforestación condujeron a ordenanzas forestales regionales para promover prácticas sostenibles. El punto clave fue la *Ordenanza Forestal* de 1669 durante el reinado de **Luis XIV**; impulsada por **Jean-Baptiste Colbert**, buscaba establecer un sistema unificado para la gestión forestal en todo el país. Esta ordenanza introdujo disposiciones clave para la protección y gestión de los bosques en Francia. Reconoció su importancia como activo nacional y estableció *coupes* o áreas de tala reguladas. También implementó un sistema de administración forestal a través de los *maîtres des eaux et forêts* y reglas para la regeneración forestal. De esta manera, sentó las bases para prácticas sostenibles, asegurando el suministro de madera y la conservación de los ecosistemas forestales y evolucionó con el tiempo para adaptarse a principios ecológicos y a la necesidad de conservación.

3.3.4. Inglaterra y el despertar naval

El nacimiento de la Marina Real[97], *Royal Navy*, como institución puede atribuirse al rey **Enrique VII de Inglaterra** (1485-1509) la cual posteriormente, es desarrollada por su hijo **Enrique VIII** (1509-1547). Antes de su reinado, a finales del siglo XV, la Marina Inglesa estaba formada por una flota de barcos y navíos de propiedad privada o financiados por nobles y mercaderes. Consciente de la importancia estratégica de una fuerza naval centralizada, ambos monarcas emprenden acciones para establecer una flota permanente y organizada bajo el control real, e incluyen la construcción del astillero de *Portsmouth* en 1496 (Davies, 1965) y las carracas **Regent** (1488) y **Sovereign** (1488). Estas preceden a las

[97] Aunque el autor reconoce las diferencias, los matices e interpretaciones posibles, incluyendo al rey Alfredo de Wessex en su luca contra los vikingos en el siglo IX o el cuerpo de marina de Enrique II, *Cinque Ports*, se acoge al consenso de la marina Tudor como la originaria.

ordenadas por **Enrique VII**, al poco de ascender al trono, como la famosa carraca **Mary Rose** (1512)[98], y la carraca **Henry Grace à Dieu** (1514) en *Woolwich*, simbolizan el inicio de esta nueva política naval, cuyo objetivo consistía en lograr un armada más profesional y estandarizada. En el ámbito administrativo, en 1546 se constituye la *Navy Board*, consejo de marina que dependía del almirantazgo. Hasta mediados del siglo XVII, sus funciones abarcaban toda la administración naval, lo que fue reduciéndose hasta limitarse a la construcción y reparación de buques al igual que a la gestión de astilleros y suministros. Este consejo aportó las mejoras técnicas, la transición de la carraca al galeón y desempeñó un papel crucial en la aplicación de la estandarización en la construcción naval. Además, estableció reglamentos y directrices para las dimensiones de los buques, los materiales de construcción y las técnicas; de este modo, garantizó esa uniformidad.

El desarrollo de las capacidades y la influencia de la Marina Real durante los siglos XVI y XVII fueron considerables. Bajo el reinado de **Isabel I** (1533-1603), la marina de guerra desempeñó un papel fundamental en los conflictos navales con rivales, así los conflictos españoles, en particular el enfrentamiento atlántico de 1588, que afianzó el dominio naval de Inglaterra en el Atlántico Norte. No obstante, a pesar del significativo crecimiento y valor demostrado por la armada inglesa, los prolongados tiempos de paz desembocan en una disminuida inversión en la flota que, junto a la corrupción, la dejan en un estado de abandono durante el primer periodo Estuardo que comienza en 1603. Este hecho contrasta con la creación de la Compañía de las Indias Orientales en 1600; esta tuvo importantes repercusiones en la Marina Real y dio lugar a una estrecha colaboración entre la marina y la compañía hasta su desaparición en el siglo XIX. Los barcos mercantes, que iban debidamente armados, se construían en astilleros privados inicialmente a la orilla del Támesis en *Blackwall* y *Deptford*. Aunque con una breve duración, durante el reinado de **Jacobo I de Inglaterra** (1566-1625), este rey Estuardo concede un estatuto a la cofradía de carpinteros de ribera que, ya que anteriormente, no se reconocía una especialización al oficio, en contraste con los constructores de buques mercantes, a pesar de los subsidios reales[99] a constructores de barcos de la corona en el periodo Tudor (Robertson, 1921). Durante el reinado de este monarca se publica la *Commission of Reform* de 1618, en cuyo informe se basó la posterior reorganización de la armada, que concedía una importancia primordial al uso de

[98] Construida en Porstmouth junto a la carraca de 450 toneladas Peter Pomegranate (1510).

[99] Dados como posición hereditaria, siendo beneficiarios constructores como James Baker y Peter Pett, los cuales lo pasaron a sus respetivos hijos Matthew Baker y Joseph Pett.

la artillería naval frente a otros métodos ofensivos y la exigencia de un mayor tamaño de buques. También incluía requisitos que eran competencia del *Navy Board*, así: el diseño de buques, la contratación y la formación de marineros, las cadenas de suministro, la gestión financiera y la planificación estratégica. El periodo de paz anteriormente aludido queda interrumpido por la guerra civil inglesa (1642-1651) la cual dividió a la armada entre realistas y parlamentarios. Con la Restauración Estuardo en 1660, el rey **Carlos II** (1630-1685) tomó medidas decisivas para reconstruir y reforzar la armada. Estas reformas fueron clave durante las guerras angloholandesas (1652-1654)[100] que se libraron por el comercio marítimo, los territorios coloniales y la supremacía naval entre dos de las principales potencias marítimas del momento. Durante este conflicto, en particular la primera guerra angloholandesa (1652-1654), se emitieron un conjunto de directrices conocidas como las Instrucciones de Combate, *Fighting Instructions*, publicadas por **Richard Deane** (1610-1613) en marzo de 1653, con el apoyo de **Robert Blake** (1599-1657) y **George Monk** (1608-1670), son consideradas el origen de la formación en línea, la cual da nombre a los navíos empleados para tal práctica. Estas instrucciones proporcionaron una orientación detallada sobre tácticas, formaciones de flota y conducta durante los enfrentamientos navales. Se enfatizó la importancia de mantener formaciones disciplinadas, coordinar ataques y seguir un código de conducta uniforme. Este texto es reconocido como la primera mención de esta formación en las directivas oficiales dirigidas a la flota. La esencia de estas instrucciones se centraba principalmente en el mantenimiento de la disciplina, en lugar de promover la comunicación entre buques. Esta orientación hacia la disciplina, en detrimento de la comunicación, se identifica como un factor determinante en la adopción pausada y gradual de este tipo de formación (Janžekovič, 2020). Las instrucciones sentaron las bases para futuras regulaciones navales y buscaban mejorar la efectividad y cohesión de la armada durante la guerra en el mar. Cuando se hace referencia a la recuperación del poder naval inglés, no se debe obviar al administrador naval **Samuel Pepys** (1633-1703), quien, durante su servicio, duplicó el poder de la Armada Británica y, como señala la enciclopedia *Britannica*, instauró una tradición administrativa de orden, disciplina y servicio.

Durante este desarrollo, los requisitos materiales de la armada inglesa fueron extraordinarios y llevaron a emprendedores privados como **William Penn** (1644-1718), el comerciante inglés y fundador de Pensilvania, a tener una notable

[100] Fueron tres conflictos entre los años 1652-1654, 1665-1667 y 1672-1674.

vinculación con la madera destinada a la construcción naval. A finales del siglo XVII, **William Penn** desempeñó un papel crucial en la promoción del uso de madera de barco procedente de las colonias americanas, en particular de la región que se convertiría en Pensilvania. En aquella época, Inglaterra se enfrentaba a una escasez de madera apropiada para la construcción naval dada la deforestación generalizada y al agotamiento de los recursos locales. Como consecuencia, crecía la demanda de madera del Nuevo Mundo.

Penn reconoció la oportunidad de capitalizar la citada demanda mediante la promoción de los abundantes recursos madereros disponibles en Pensilvania. Animó activamente a los colonos a participar en actividades de tala y construcción naval, ofreciendo incentivos y subvenciones a quienes participaban en la industria. Los densos bosques de Pensilvania, en particular las vastas extensiones de roble blanco, eran muy apreciados por su resistencia y durabilidad, lo que los hacía ideales para la construcción naval.

En las primeras concesiones de tierras a los colonos, **William Penn** incluyó invariablemente una cláusula por la que se les exigía que, "conservar todos los robles grandes y lisos aptos para la construcción naval" al desbrozar las tierras concedidas (Buell, 1906). La industria naval de Pensilvania prosperó bajo la influencia de Penn, ya que los constructores y leñadores cosechaban la valiosa madera y construían barcos para el comercio local e internacional. El puerto de Filadelfia, situado a orillas del río Delaware, se convirtió en un importante centro para la construcción naval y el comercio marítimo. La disponibilidad de madera para barcos en Pensilvania contribuyó al crecimiento de la economía colonial y al establecimiento de una sólida industria de construcción naval. El éxito de esta industria desempeñó un papel fundamental en el desarrollo de Pensilvania como colonia próspera e influyó significativamente en la historia y las relaciones comerciales de la región. Cabe señalar que la implicación de **William Penn** en la construcción naval se debió principalmente a consideraciones económicas y a la necesidad de aprovechar la demanda de madera procedente de Inglaterra. Sin embargo, sus esfuerzos también tuvieron un impacto en el medio ambiente natural de Pensilvania, dado que se llevó a cabo una extensa tala y deforestación para satisfacer la creciente demanda de materiales destinados a la construcción naval.

3.4. La iniciativa privada: Compañía de las Indias Orientales

Un fenómeno comercial, que definirá la gestión de recursos naturales y capitales, se gesta en los albores del siglo XVII con la aparición de las empresas privadas, las cuales, bajo el beneplácito de los estados de origen desarrollan actividades en territorios de su influencia. El mercantilismo dominó la ideología económica durante el siglo XVI, en esta creencia, el oro y otras materias valiosas determinaban el poder de una nación. Mientras España se beneficiaba de sus descubrimientos en América, Francia se inclinó hacia un mercantilismo industrial y agrario; los holandeses e ingleses se dirigieron hacia la piratería y el comercio marítimo (Lorenzo de Membiela, 2019). Estas ambiciones llevaron a la creación de grandes compañías comerciales y desencadenaron guerras y cambios tácticos navales.

Los dos grandes exponentes fueron la Compañía Británica de las Indias Orientales y la holandesa *Vereenigde Oostindische Compagnie* (VOC). La británica, originalmente registrada en Londres como *Governor and Company of Merchants of London Trading into the East Indies*, aunque más conocida como la *British East India Company* (EIC), recibe la cédula real en diciembre de 1600 por parte de la reina **Isabel I**, por tanto, queda registrado al consorcio del que sería su primer director el comerciante **Sir Thomas Smythe** (1558-1625). A pesar de que el principal objetivo de la compañía fuese facilitar la importación de mercancías valiosas a Europa, entre las que se encontraban las especias, la seda o el té, se convirtió en una organización de gran poder con centros comerciales sólidos en el subcontinente Indio y fue clave para el establecimiento colonial británico en la India y sus políticas imperialistas. De manera análoga y contemporánea, el monopolio del comercio holandés en las Indias Orientales se entregó a la Compañía Neerlandesa de las Indias Orientales (VOC) en el año 1602. Esta, a su vez, provenía de la fusión de otras compañías que habían operado en la zona y llegó a apoyarse en las oportunidades brindadas por la menor influencia española en el Pacífico debido a las guerras con Inglaterra y Holanda, en las que los holandeses irrumpieron en territorios como Java y Taiwán (Martínez Esquivel, 2018). Al igual que el EIC, su actividad comercial derivó en una fuerza administrativa política, militar y diplomática que permitió mantener los intereses coloniales holandeses. Así mismo produjo un barco característico, fruto de la innovación y la estandarización, conocido como el **VOC Retourschip**.

Ambas compañías requirieron de grandes cantidades de madera para alimentar las vastas flotas que llegaron a poseer; como parte de sus actividades comerciales se dedicaban al aprovisionamiento de madera. Entre la madera obtenida se hallaba la teca, de gran valor en la construcción naval gracias a su durabilidad y a su resistencia al agua. Esta se extraía de Malabar, Birmania, Java, Sumatra y Borneo entre otros territorios controlados por estas compañías.

Tabla 3.1: Listado de compañías de las Indias Orientales

	Establecimiento	Disolución
British East India Company (Reino Unido)	1600	1874
Vereenigde Oostindische Compagnie (Países Bajos)	1602	1799
Dansk Ostindisk Kompagni (Dinamarca)	1616	1729
Companhia do commércio da Índia (Portugal)	1628	1633
La compagnie française des Indes Orientales (Francia)	1664	1769
Svenska Ostindiska Companiet (Suecia)	1731	1813

Tabla 3.2: Otras compañías

	Establecimiento	Disolución
Levant Company (Reino Unido)	1592	1825
Geoctroyeerde West-Indische Compagnie (Países Bajos)	1621	1792
Royal African Company (Reino Unido)	1660	1752
Hudson's Bay Company (Reino Unido/Canadá)	1670	En activo
The South Sea Company (Reino Unido)	1711	1853

Como primitivos ejemplos de multinacionales, practicaron la integración vertical en cierta medida. La empresa pretendía controlar todos los aspectos del comercio y maximizar sus beneficios. Para facilitar sus operaciones comerciales, estableció sus propios puestos comerciales, fuertes y almacenes en diversos enclaves de la ruta. También se benefició de derechos exclusivos y monopolios en determinadas zonas y permitió el control de la producción y distribución de bienes específicos, como textiles, especias y té. En algunos casos, estas establecieron sus propias plantaciones y fábricas, donde supervisaban el cultivo, el procesamiento y la fabricación de los diversos bienes. Esta integración vertical facilitó el control de toda la cadena de suministro, desde la producción hasta el comercio. Se amasó, así, una considerable riqueza y poder. Un elemento característico, lo constituyó el establecimiento de un ejército privado con su propia fuerza naval; este se

encargaba de la seguridad y la protección de sus intereses. Esta fuerza militar representaba un aspecto esencial de su estrategia, pues garantizaba el paso seguro de las mercancías, reprimía la resistencia local y velaba por la defensa de sus puestos comerciales.

En la Tabla 3.1 se expone una relación del establecimiento y disolución de estas compañías, mientras que en la Tabla 3.2 se muestran otras de similar actividad. Esta lista ni es exhaustiva, ni incluye otras compañías de menor relevancia para este trabajo como otras organizaciones, por ejemplo: la Compañía de Moscovia (1555) o la Compañía del Noroeste (1779-1821) entre otras. Se puede destacar la Compañía Francesa de las Indias Orientales que, fundada por el ya mencionado **Jean Baptiste Colbert** en 1664, es absorbida por la corona francesa casi una centuria después.

Al cierre del siglo XIX, se abordará un ejemplo más moderno de iniciativa privada que ejerció un poder semejante a la Compañía de las Indias Orientales en forma pero no en impacto, la United Fruit Company.

3.5. Territorios de Ultramar

Desde fines del siglo XV , con los territorios españoles de Ultramar, España obtuvo riqueza, control de las rutas comerciales, protección del comercio marítimo, establecimiento de centros estratégicos y suministro de marinos para la Marina de Guerra. En particular, los bosques y recursos madereros de los territorios españoles en América desempeñaron un papel vital en el apoyo al crecimiento y a las operaciones de la Armada Española. Proporcionaban recursos madereros para la construcción naval, el mantenimiento, las reparaciones, el combustible y las edificaciones. Estos factores contribuyeron colectivamente a la expansión y fortalecimiento de la Armada Española antes del siglo XVIII, y así mismo brindaron a España mantener su dominio en el Atlántico y salvaguardar sus intereses territoriales.

Entre los territorios considerados en este trabajo, sobresalen los que posteriormente tuvieron Astilleros relevantes, como: Cuba (La Habana), México (Astillero de Coatzacoalcos y San Blas), Filipinas (Cavite) y el primero Nicaragua (El Realejo).

La isla de Cuba está relacionada con grandes figuras de la historia. Su descubrimiento, llevado a cabo por los españoles en el primer viaje de **Cristóbal Colón** (1451-1506), da paso a una estrecha relación con la isla de más de 400 años,

esta tuvo gran valor estratégico y comercial para el Imperio español. Con **Sebastián de Ocampo** (c. 1470 – 1514)[101], la isla comienza a mostrar su potencial, entre otras el puerto de Carenas, que luego dará lugar al puerto de la Habana. A **Ocampo**, tradicionalmente, se le ha considerado el primer marino en circunnavegar la isla, algo que ha sido discutido al considerarse que no fue completa[102]. Este encargo provenía del gobernador general de las Indias, **Nicolás de Ovando**, tras su explotación aurífera de la isla de La Española. La isla de Cuba no ofrecía grandes reservas de oro como La Española, pero sí de otros recursos naturales eran variados y evidentes desde las primeras expediciones españolas. Así lo testimonia el *Diario de a bordo* de *Cristóbal Colón*, que en el 28 de octubre describe:

> *"nunca tan hermosa cosa vio, lleno de árboles, todo cercado el río, hermosos y verdes y diversos de los nuestros, con flores y con su fruto, cada uno de su manera"*[103]

Otros autores han incidido en la riqueza natural de la isla y describen la existencia del pino, el cedro, la palma, la ceiba, el quiebrahacha, el ácana, el frijolillo, el roble, la sabina, el caobo, el ébano, el granadillo, el naranjo silvestre y el guayacán, además de otros recursos más conocidos como el tabaco, el café o la caña de azúcar (Guiteras, 1927). A 25 de noviembre de 1492, se alcanza el identificado como Puerto de Faragua[104] del que **Colón** destaca los pinares de una sierra en el Nuevo Mundo y resalta en la altura y rectitud de los árboles, comparándolos con husos gordos y delgados; además, reconoce el potencial para la construcción de barcos y la obtención de abundante madera y pez.

En la isla de Cuba es, sin duda, La Habana la que sobresale por su ventajosa posición geográfica y su extensa bahía de bolsa, que ofrece protección contra las marejadas. Desde 1532, la bahía de La Habana era reconocida como un buen puerto a donde llegaban navíos de Castilla y Yucatán para comerciar y descargar mercancías. Esa región no sólo tenía ventajas en el ámbito marítimo sino también para la ganadería y para los recursos madereros, pues contaba con densos bosques

[101] Sebastián de Ocampo, marino y explorador español, quien acompañó a Colón en su segundo viaje y al que se le encomendó confirmar la insularidad de Cuba.

[102] Juan Manzano en su obra *Los Pinzones y el descubrimiento de América* (1988) señala a Vicente Yáñez Pinzón y Juan Díaz de Solís como los primeros en circunnavegar la isla de Cuba en 1508.

[103] Extracto según el resumen de Bartolomé de las Casas (s.XVI), y publicado por Martín Fernández de Navarrete en 1825.

[104] Puerto cercano a los cayos de Moa en Cuba según se indica en el ensayo crítico *Las primeras tierras descubiertas por Colón* de Patricio Montojo, en 1892.

que proporcionaban maderas tintóreas como ébano, brasil y fustete[105] y otras empleadas en la construcción de naves. El coronel de Ingenieros, Don **Nicolás Valdés**, en su obra *Maderas de las islas de Cuba y santo domingo* ofrece una relación experimental de abundantes y variados recursos forestales encontrados en estas dos islas del Caribe (Valdés, 1866). En ellas destaca para la construcción naval, las siguientes especies: laurel prieto, baria blanca, dagame, ocuje, roble, yaba, capá-rota, maboa blanca, majagua blanca, sabicú y yana. Otras maderas han sido identificas como la caoba, cedro, chicharrón, guaba, guayacán, jagua, quiebrachacha y yamagua.

México, integrada en el llamado Virreinato de Nueva España, poseía un territorio que abarcaba una impresionante diversidad de ecosistemas, destacando especialmente los extensos bosques que se extendían a lo largo de las cadenas montañosas de la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental, así como de la península de Yucatán. Estos bosques tuvieron una gran importancia maderera, al albergar una variada gama de maderas duras, entre las que se incluían especies tan provechosas como el roble, el cedro, la caoba y el pino. Veracruz, en particular, emergió como el puerto principal de Nueva España y jugaba un rol crucial como epicentro de la exportación de madera hacia la península ibérica.

Filipinas contaba con una rica tradición marítima prehispánica con diversas embarcaciones utilizadas para el comercio y la navegación entre las islas. Destacaban los *praos*, barcos de vela y remo, ágiles y caracterizados por poseer cascos largos y estrechos, y lo que los hacía especialmente adecuados para navegar en las aguas de Filipinas. La navegación entre islas facilitaba el intercambio de productos y recursos, como alimentos, cerámicas y maderas tropicales, que convertían Filipinas en un importante centro de comercio regional. La influencia china se reflejaba en el comercio y en la cultura filipina, con asentamientos chinos en el archipiélago[106]. Su influencia marítima fue clara en la construcción naval prehispánica. El Galeón de Manila[107], establecido en 1565, era una ruta comercial emblemática entre Filipinas y México y transportaba valiosas mercancías entre Asia y América, lo que derivaba en consolidar los vínculos entre España, Filipinas y las colonias españolas.

[105] El ébano, El Palo de Brasil y el fustete son colorantes vegetales, de los que se pueden obtener los colores rojos y amarillos respectivamente.

[106] Estos fueron los conocidos como Sangleys y llegaron a formar parte de la población filipina.

[107] También conocido como Galeón de Acapulco o Nao de China es producto del tornaviaje atribuido a Andrés de Urdaneta y Ceráin (1508-1568).

Las Filipinas españolas ocupaban una posición geográfica única y vulnerable como extremo occidental del Imperio español dentro de la monarquía católica. Al ser un archipiélago aislado entre el vasto océano y las densas civilizaciones del sudeste asiático, su situación colonial se basaba en el control de las rutas marítimas en lugar de la dominación de tierras extensas en un territorio continental trasero. Esta dominación marítima debía mantenerse a varios niveles. En primer lugar, la supervivencia de la comunidad española en las Filipinas dependía de la ruta comercial a través del Pacífico mediante los galeones, la cual facilitaba el intercambio de productos chinos y la plata americana. A diferencia de un modelo económico basado en la minería o en la agricultura, la especificidad colonial de Filipinas estribaba en el comercio. Además, los españoles habían de asegurar su supremacía en el archipiélago frente a amenazas locales, como la piratería, especialmente de musulmanes del sur aliados con los holandeses que llegaron a través del océano Índico en el siglo XVII. Entre sus consecuencias estuvo la captura de cientos de carpinteros llevada a cabo por los "Moros de Mindanao"; junto a los que fallecieron a causa de las penosas condiciones laborales, hicieron estragos en la construcción de buques y en la población local. Corría el año 1617 cuando **Sebastián Pineda**, capitán de maestranza, denuncia este hecho y solicita que la construcción de galeones sea interrumpida (Jacquelard, 2016).

Como enclaves, tanto Manila como su puerto de Cavite, tuvieron que entrentarse a la vulnerabilidad, fruto del aislamiento, mediante la construcción de naves y la fortificación. Estas dos ciudades se convirtieron en fortalezas que representaban un doble bastión hispanoamericano en Asia. Para garantizar la navegación colonial, se recurrió a la utilización de los recursos disponibles en todo el archipiélago filipino bajo dominio español. Además de aprovechar los recursos de Manila y de su bahía, los españoles se sirvieron de otras áreas del archipiélago para conseguir lo necesario en la construcción naval. Por ejemplo, se obtenía el gamuto, una planta similar al esparto, de la isla de Mindoro, al sur de Luzón, para fabricar cuerdas de los barcos. Así mismo se utilizaba el abacá o cáñamo de Manila con idéntica finalidad. Las mantas de algodón de Ilocos[108], una provincia al norte de Manila, se empleaban para hacer velas y vestir a los trabajadores. El aceite de palma de Paracale, en Camarines, al sur de Luzón[109] se usaba en el astillero de Cavite. La madera necesaria para la construcción provenía principalmente de Pampanga, en el interior de Manila.

[108] Región al noroeste de la isla Luzón.
[109] Mencionado por el jesuita Colín.

En el caso de Nicaragua, la abundancia de madera, resina y sebo proveniente de la ganadería permitió la creación de un astillero en el Realejo. A partir de la centuria del XVI tuvieron una gran importancia las regiones de Chinandega y Realejo en la producción de jarcias, y a lo largo del siglo XVII fueron la brea y alquitrán, obtenidas de los bosques de coníferas, los que destacaron, a pesar de ser posteriormente sustituidos por la brea mineral de Santa Elena y Amotape (León Sáenz, 2009).

Chile constituía otra importante fuente de suministro de madera para España. El país poseía extensos bosques, principalmente ubicados en las regiones del sur, incluyendo el bosque valdiviano de clima templado y lluvioso. Estos bosques albergaban valiosas especies de maderas duras como el roble, el haya y el laurel, también maderas blandas como el ciprés. La madera proveniente de Chile era reconocida por su excelente calidad y durabilidad, lo que la convertía en un material altamente deseado para la construcción naval y para otros proyectos de edificación. Las bases navales españolas en Chile, como Valdivia y la isla de Chiloé, facilitaban la extracción y el transporte de la madera hacia España. Es en Chiloé donde, en la segunda mitad del siglo XIX, aparece un inesperado incremento de la actividad maderera desde la ciudad de Ancud (Morales Barrientos, 2016).

3.6. Suministro y estrategia

En los párrafos anteriores se han presentado diferentes materiales y su influencia en la construcción naval, lo que demuestra que materiales, como la madera, se convirtieron en un verdadero recurso estratégico. Durante los primeros tiempos de la Edad Moderna, el roble desempeñó un papel fundamental como principal sustancia utilizada en la edificación de embarcaciones y, como consecuencia, se transformó en una materia prima de suma importancia. Con el primer tercio del siglo XVII, las flotas de naciones de Europa occidental podían obtener su suministro de roble de fuentes locales. Sin embargo, a medida que avanzaba la segunda mitad del siglo XVII, se vieron forzadas a depender de importaciones procedentes del Báltico y de Alemania con miras a asegurar el abastecimiento de esta madera crucial (Janžekovič, 2020).

Esta misma tendencia se observaba en relación a otros componentes necesarios para la construcción naval, tales como la madera de pino, el cáñamo, la brea y el hierro, los cuales eran objeto de un activo comercio en todo el continente europeo. Como es natural, las principales fuentes de energía en esta época eran el viento y

la fuerza motriz humana, factores esenciales para propulsar y maniobrar las embarcaciones en mares y océanos. Desde épocas muy tempranas, en la península ibérica está testimoniada la prohibición de exportación de materias primas[110], aunque esta podía levantarse en los casos en los que las poblaciones habían adquirido el favor real por la asistencia en la guerra en forma de moneda o armamentos. Durante el reinado de **Alfonso X**, se prohíbe la extracción de materiales empleados para la construcción de buques, como podían ser la madera, la estopa, el hierro, la clavazón, pez y el cáñamo. Materiales cuyo transporte debía quedar justificado (de Salas, 1864).

En lo que respecta al suministro local, no siempre se resolvía mediante la importación, sino que también existía una adaptación geográfica a ciertas materias primas. En contraste con los astilleros europeos, que empleaban cáñamo para el calafateo, en América, especialmente en el Pacífico, se utilizaban fibras de coco seco[111]. Estas se introducían en las uniones entre los tablones mediante martillos y posteriormente se cubrían con brea (León Sáenz, 2009).

Los materiales, especialmente la madera, desempeñaron un papel esencial en la construcción naval antigua y se convirtieron en recursos estratégicos que posibilitaron la navegación y la guerra en el mar. La elección y el uso adecuado de los materiales fueron aspectos fundamentales para garantizar la resistencia y el rendimiento de los barcos en el pasado. Los materiales de construcción naval han sido parte de la literatura generalista y especializada durante centurias o milenios, e incluían instrucciones tan relevantes como el calafateado y la selección de maderas. En los orígenes de la época tratadista, que cimenta el desarrollo científico europeo, **Bartolomeo Crescenzio Romano** (s. XVI) escribe su obra *Nautica Mediterranea* (1607)[112]. Esta dedica un parte substancial[113] a la construcción de galeras y, curiosamente, una división de materiales que no pierde vigencia hasta la Revolución Industrial. La Figura 3.6 muestra esa división general de materiales. Tras esta, las siguientes páginas abordan la organización de las maderas incluyendo la especie y el elemento estructural, así como los metales incluyendo y su uso a bordo y las velas (cotonima) con sus tipos.

[110] Alfonso III de Aragón (1265-1291), consciente de que pudiese reducirse la construcción naval en su reino y aumentar en el de sus enemigos, prohíbe la tala sin autorización real (de Salas y Rodriguez, 1864).
[111] Planta: Cocos nucifera, comúnmente conocida como cocotero.
[112] Ver: Crescenzio Romano, Bartolomeo, *Nautica Mediterranea*, Roma: Bartolomeo Bonfadino, 1607.
[113] El libro primero está dedicado a la construcción de galeras, cuyo segundo capítulo lo dedica a los materiales utilizados.

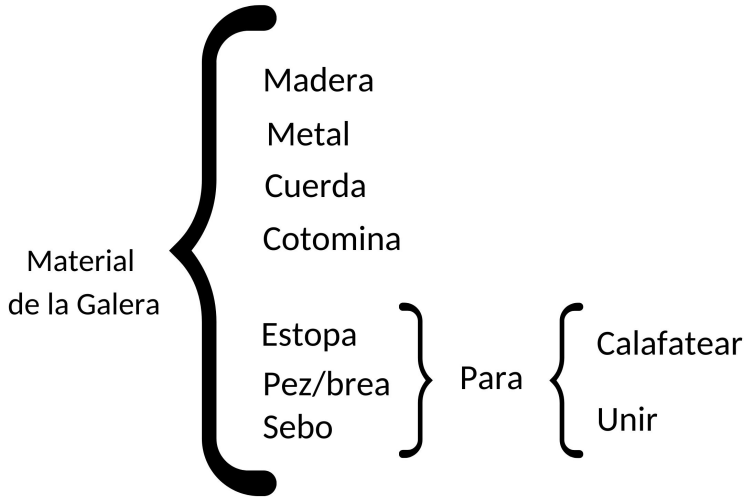


Figura 3.6: Material de la Galera basado en Crescenzio Romano (1607)

Con la navegación atlántica, los requisitos de resistencia y porte de las naves precisan del uso prevalente de otras especies madereras tales como el roble.

Las condiciones medioambientales jugaron un papel fundamental en la desigualdad de acceso a los recursos forestales en el antiguo Mediterráneo. Por tanto, estados como el egipcio y el griego, caracterizados por sus escasas precipitaciones, y grandes extensiones de suelo infértil, se vieron obligados a importar grandes maderas para lograr estos recursos. Además en el marco del estado griego, el carácter fracturado de su política desembocaba en la competencia por estos recursos (Veal, 2017). En el caso de Italia, las dificultades de obtener madera local eran menores, como muestra la referencia de **Meiggs** sobre la obtención de la madera para construir la flota dromones de **Teodorico el Grande** (454-526) con cipreses y pinos de la costa y abetos del valle del Po (Meiggs, 1982).

3.7. La Ilustración y el cambio dinástico

A finales del XVII y en los albores del XVIII, la construcción naval europea estuvo sometida a un intento de normalización que se apoyó en la transmisión de texto escrito en y en la formación científica de los constructores navales. Ese intercambio científico, dentro del contexto de la República de las Letras, permitió que durante la Ilustración se formaran las bases de publicaciones y sociedades científicas cuyos principios perduran en la actualidad.

Para poder abordar el tema de las enseñanzas navales iniciadas en el siglo XVIII, es necesario retrotraerse a una centuria anterior, dado que las corrientes de desarraigo empírico, de raíces aristotélicas, y el fomento del empleo de la lógica

proporcionan un desarrollo científico que afecta directamente a la construcción de los buques. En el campo de la resistencia de materiales, y más específicamente en la teoría de las vigas, se observa una incipiente formulación en la obra *Diálogos sobre dos nuevas ciencias*, de **Galileo Galilei** (1564-1642), publicada en 1638. Posteriormente, esta teoría fue revisada y enriquecida por **Pierre Bouguer** (1698-1758), para ser finalmente tratada con una mayor exhaustividad y profundidad por **Jorge Juan** (1713-1773).

En el desarrollo de teorías de resistencia de materiales[114] del siglo XVII, aparecen dos tendencias que tratan de resolver el mismo problema: por un lado, el teórico[115] con soluciones matemáticas y físicas y, por otro, el de la experimentación. Asimismo, tienen su origen en la promoción de la filosofía experimental frente a la filosofía natural[116]. Esta disciplina se beneficiará de trabajos experimentales como los de **Petrus van Musschembroeck** (1692-1761) en los que se analizaron ensayos de flexión, tracción y pandeo, pese a que se consideren sus resultados poco representativos debido al tamaño de las muestras. A posteriori, fueron corregidos por[117] **Georges Louis Leclerc** (1707-1788), conde de Buffon, en su trabajo comparativo de la resistencia de diversas especies de arbóreas para su empleo en la construcción de embarcaciones[118].

Durante este periodo, se originó el concepto de metacentro, un aspecto crucial en el estudio de la estabilidad naval, gracias a las contribuciones de **Bouguer**. Su trabajo inicial fue más tarde expandido y profundizado por figuras como **Johann Bernoulli** (1667-1748), **Jorge Juan** y **Leonard Euler** (1707-1783)[119]. Paralelamente, en el terreno de las matemáticas, se observó un notable desarrollo en el cálculo infinitesimal, liderado por **Isaac Newton** (1642-1727) y **Gottfried Wilhelm Leibniz** (1646-1716), cuyos fundamentos se remontan a los métodos

[114] Trabajos de Galileo Galilei, Jakob Bernoulli, Edme Mariotte, Robert Hooke, Gottfried Wilhelm Leibniz y Charles-Augustin Coulomb, entre otros.

[115] Con defensores como el ingeniero civil y militar francés Bernard Forest de Bélidor (1698-1761) Ver: *La Science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile* (1729).

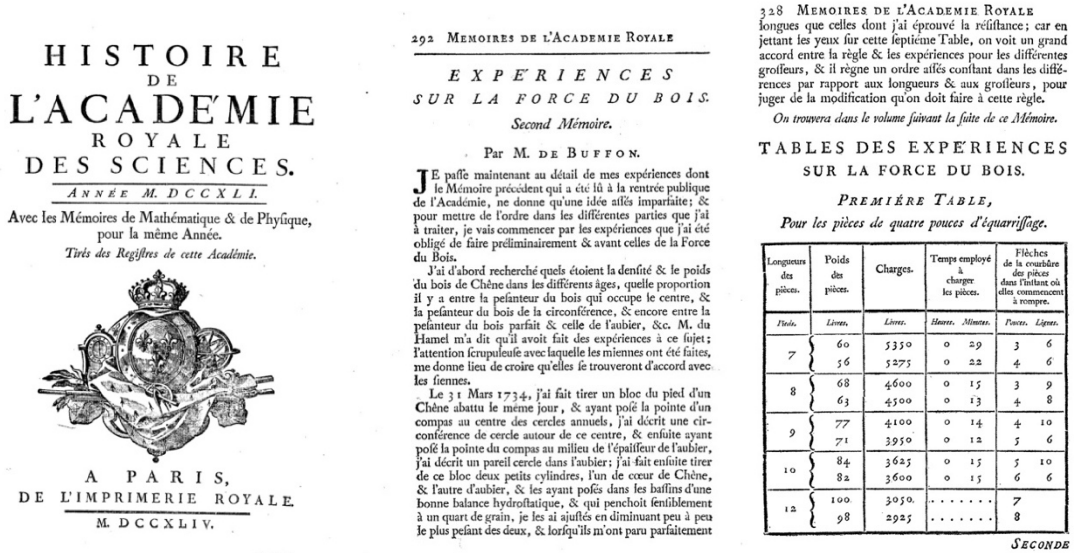
[116] Ver: Anstey, Peter R. & Vanzo, Alberto (2016). *Early Modern Experimental Philosophy*. In Justin Sytsma & Wesley Buckwalter (eds.), A Companion to Experimental Philosophy. Blackwell. pp. 87-102.

[117] Al usar muestras de poco tamaño, sus resultados iniciales fueron inconsistentes. Por lo tanto, repitió dichos ensayos a escala real con piezas de roble de longitudes entre 2.5 y 5 (ft) Ver: Godoy, L.A. (2009). *Contribuciones tempranas al estudio del fenómeno actualmente conocido como pandeo*. Epistemología e Historia de la Ciencia. Selección de trabajos de las XIX jornadas. Vol. 15.

[118] Estos estudios se realizan influidos por la solicitud a la Académie des Sciences del secretario de marina francés Jean-Frédéric Phélypeaux (1701-1781), conde de Maurepas.

[119] Euler tuvo una extensa trayectoria de publicación en el ámbito naval; iniciada con un trabajo sobre el posicionamiento óptimo de los mástiles en un barco. En lo relativo a la construcción naval, sus tres obras principales fueron: *Traité du Navire* en 1746, *Scienctia Navalis* en 1749, y *Théorie complete de la construction et de la manoeuvre des vaisseaux* en 1773.

aritméticos aplicados por **Arquímedes** (287 a.C.-212 a.C.) en el siglo III a.C. para el cálculo de áreas y volúmenes. Asimismo, se registró un progreso en los estudios de cuadratura[120] durante este periodo.



HISTOIRE
DE
L'ACADE'MIE
ROYALE
DES SCIENCES.
ANNÉE M. DCCXLI.
Avec les Mémoires de Mathématique & de Phyſique, pour la même Année.
Tirés des Regiſtres de cette Académie.
A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.
M. DCCXLIV.

292 MEMOIRES DE L'ACADEMIE ROYALE

EXPE'RIENCES
SUR LA FORCE DU BOIS.
Second Mémoire.

Par M. DE BUFFON.

JE paſſe maintenant au détail de mes expériences dont le Mémoire précédent qui a été lû à la rentrée publique de l'Académie, ne donne qu'une idée aſſés imparfaite; & pour mettre de l'ordre dans les différentes parties que j'ai à traiter, je vais commencer par les expériences que j'ai été obligé de faire préliminairement & avant celles de la Force du Bois.

J'ai d'abord recherché quels étoient la denſité & le poids du bois de Chêne dans les différents âges, quelle proportion il y a entre la peſanteur du bois qui occupe le centre, & la peſanteur du bois de la circonférence, & encore entre la peſanteur du bois parfait & celle de l'aubier, &c. M. du Hamel m'a dit qu'il avoit fait des expériences à ce ſujet; l'attention ſcrupuleuſe avec laquelle les miennes ont été faites, me donne lieu de croire qu'elles ſe trouveront d'accord avec les ſiennes.

Le 31 Mars 1734, j'ai fait tirer un bloc du pied d'un Chêne abattu le même jour, & ayant poſé la pointe d'un compas au centre des cercles annuels, j'ai décrit une circonférence de cercle autour de ce centre, & enſuite ayant poſé la pointe du compas au milieu de l'épaiſſeur de l'aubier, j'ai décrit un pareil cercle dans l'aubier; j'ai fait enſuite tirer de ce bloc deux petits cylindres, l'un de cœur de Chêne, & l'autre d'aubier, & les ayant poſés dans les baſſins d'une bonne balance hydroſtatique, & qui penchoit ſenſiblement à un quart de grain, je les ai ajuſtés en diminuant peu à peu le plus peſant des deux, & lorſqu'ils m'ont paru parfaitement

328 MEMOIRES DE L'ACADEMIE ROYALE

longues que celles dont j'ai éprouvé la réſiſtance; car en jettant les yeux ſur cette ſeptiéme Table, on voit un grand accord entre la règle & les expériences pour les différentes groſſeurs, & il règne un ordre aſſés conſtant dans les différences par rapport aux longueurs & aux groſſeurs, pour juger de la modification qu'on doit faire à cette règle.

On trouvera dans le volume ſuivant la ſuite de ce Mémoire.

TABLES DES EXPE'RIENCES
SUR LA FORCE DU BOIS.

PREMIÉRE TABLE,
Pour les pièces de quatre pouces d'équarriſſage.

Longueurs des pièces.	Poids des pièces.	Charges.	Temps employé à charger les pièces.	Flèches de la courbûre des pièces dans l'inſtant où elles commencent à rompre.
Pieds.	Livres.	Livres.	Heures. Minutes.	Pouces. Lignes.
7	60	5350	0 29	3 6
	56	5275	0 22	4 6
8	68	4600	0 15	3 9
	63	4500	0 13	4 8
9	77	4100	0 14	4 10
	71	3950	0 12	5 6
10	84	3625	0 15	5 10
	82	3600	0 15	6 6
12	100	3050.	.....	7
	98	2925	.....	8

SECONDE

Figura 3.7: *Expériences sur la force du bois* por M. de Buffon[121] (1741)

Para dar autonomía en el diseño a los arquitectos navales, la defensa de una formación completa en matemáticas aún era necesaria en el siglo XIX. Este razonamiento se basaba en que la innovación, dentro de la construcción naval, requería de esa rama científica para evitar caer en la práctica común o en el empleo de reglas basadas en la experiencia, es decir, no se trata de no limitarse a reglas, sino de conocer los principios que gobiernan la construcción naval y, por tanto, sus limitaciones[122]. No es de extrañar que **John Fincham** emplease su introducción de *A History of Naval Architecture* de 1851 a la aplicación de la ciencia matemática en la construcción naval[123].

La cooperación científica, tanto a nivel nacional como internacional, emerge como uno de los rasgos más distintivos del período de la Ilustración. Sin embargo, esta tendencia de colaboración, aunque no con la misma intensidad, ya se manifestaba en la península ibérica un siglo antes de este movimiento. Durante el siglo XVI, la astronomía y cosmografía experimentaron avances significativos en España y

[120] Incluyendo *De quadratura curvarum* (1704), como apéndice de *Opticks* de Newton, y el *Methodus differentialis sive tractatus de summatione et interpolatione serierum infinitarum* (1730) de James Stirling.

[121] Este trabajo incluye la descripción de 32 experiencias y 7 tablas con los resultados. Localizado en las páginas 292-334 de *Memoires de l'Academie des sciences* (1741).

[122] Ver: Woolley, J. (1860). On the present state of mathematical theory of naval architecture, INA Transactions.

[123] Ver: Fincham, J. (1851). *A history of naval architecture: to which is prefixed, an introductory dissertation on the application of mathematical science to the art of naval construction*. London: Whittaker and co.

Portugal, con egregios astrónomos y matemáticos como **Diego de Zúñiga**[124] (1536-1598) y **Jerónimo Muñoz** (c. 1520-1592) en España y **Pedro Nunes** (1502-1578) en Portugal, quienes realizaron importantes observaciones, estudios y contribuyeron al desarrollo de instrumentos astronómicos; así perfeccionaron la precisión de las mediciones y la navegación marítima. **Jerónimo Muñoz** logró alcanzar gran fama nacional e internacional debido a sus trabajos sobre astronomía además disponía de un gran conocimiento en otras áreas científicas[125]. Y el portugués, con educación universitaria salmantina, reputado por sus tratados de navegación[126] y la invención del nonio[127] que le entronizan como un científico de referencia. La aportación portuguesa en el ámbito de las matemáticas es un claro ejemplo de transferencia de conocimiento del siglo XVI.

La aparición, en el siglo XVII, de Sociedades Científicas en Europa sigue dos patrones distintos promovidos, ya sea por la comunidad científica o por el Estado, ejemplificados respectivamente en Inglaterra y Francia. Hay ciertas similitudes notables con las Academias italianas del Renacimiento que eran utilizadas por mecenas como fuentes de consejo. La *Accademia Nazionale dei Lincei* (1603) es un ejemplo, con su publicación de los progresos científicos de **Galileo Galilei**. A pesar de esto, las bases del avance científico en estas Academias eran distintas al objetivo previo de enseñanza. Mientras las Academias atraían a eminentes científicos cuyo trabajo se realizaba bajo su protección, las Sociedades Científicas presentaban un enfoque de divulgación.

La *Royal Society* (1660) se origina a partir del breve período de actividad del *Invisible College* (1646-1647), y debe su fundación a las instalaciones aún activas del *Gresham College* (1597). En las primeras décadas de su existencia, esta sociedad pública en 1687 la obra de alcance insuperable *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* de Newton. A pesar de su regio nombre, la Sociedad se mantiene independiente tanto económica como organizativamente de la Corona y depende de donantes privados denominados *Fellows*. En 1665, la Sociedad

[124] Conocido por su aceptación de la teoría copernicana de la que posteriormente reniega (Navarro Brotons, 1995).

[125] Su formación y su obra lo encumbran como matemático, astrónomo, geógrafo, helenista y hebraísta. No obstante, es el *Libro del nuevo cometa* (1573) el que le confiere mayor fama, se trata de un estudio sobre la supernova de 1572.

[126] Entre los que se encuentran *Tratado da sphera com a theorica do sol e da luna* (1537), *De crepusculis liber unus* (1542), *De arte adque ratione navigandi* (1546), *Pedri Nonni Salacencis Opera* (1566), *Petri Nonii Salaciencis de arte atque ratione navigandi libri duo* (1573) y *Annotações á mecánica de Arsitoteles e ás theoricas dos planetas de Purbachio com a arte de Navegar* (1578).

[127] Empleado para la obtención de fracciones de grado que, en conjunción con el astrolabio, permitían medir la longitud, de gran importancia para la navegación. No obstante, la precisión en la longitud no se alcnaza hasta la llegada de los cronógrafos marinos.

establece el *Philosophical Transactions of the Royal Society* el cual se convierte en la prístina publicación de esa naturaleza en Europa y en el mundo.

Creada en 1666 por **Jean-Baptiste Colbert**, la *Académie des Sciences* de Francia tenía como objetivo fomentar el conocimiento científico para impulsar el desarrollo científico en el país. Con el respaldo de **Luis XIV**, científicos tanto franceses como internacionales se congregaban en instalaciones reales y se beneficiaban de fondos estatales. Algunos de estos logros científicos se divulgaban en el *Journal des sçavans* (1665-1792), y desde 1699, la Academia emprendió la edición de una nueva serie, *Histoire et mémoires de l´Académie Royale des Sciences de Paris*. Dentro de las actividades de la Academia se incluían premios, como el destacado premio *Meslay*, iniciado por **Jean Rouillé** (1615-1698). Entre 1720 y 1792, veintidós premios estaban vinculados a la mecánica de fluidos y la teoría de los buques, subrayando así el interés de la Academia en promover el progreso de las ciencias navales.

Otras sociedades y academias europeas emergen en el siglo XVIII. En España, la Regia Sociedad de Medicina y Demás Ciencias de Sevilla se establece en 1700. Estos desarrollos serán objeto del siguiente capítulo.

Los tratados, entendidos como obras centradas en una materia determinada, en este caso particular, la construcción de embarcaciones, describieron la práctica décadas e, incluso, centurias previas a la *República de las Letras*. En lengua española se elaboran textos que dedican parte de su contenido a la construcción naval, aunque habitualmente mezclados con temática de navegación que distan del tratamiento que se les da durante el siglo XVIII. Es, por tanto, que se requiere realizar una distinción entre los tratados más completos y/o modernos, según se entiende en la actualidad. Obras tan primigenias como el *Itinerario de Navegacion de los Mares y Tierras Occidentales*[128] (1575) de **Juan Escalante y Mendoza** (¿-1596) abordan tanto las medidas, proporciones y materiales de los navíos y sus mástiles, como las características y oficios del personal embarcado. Esta obra escrita a modo de diálogo[129] no recibió autorización para su publicación por facilitar demasiada información sobre la carrera de Indias, lo que podía "ilustrar a los extranjeros en la navegación de la América" (Fernández de Navarrete, 1851). La

[128] Esta obra es posteriormente rescatada por Cesáreo Fernández Duro en su obra *Disquisiciones náuticas libro quinto*, en el capítulo de fábrica de Naos entre las páginas 413-515.

[129] La técnica de diálogo tiene cierta acogida, por lo que es empleada en obras posteriores como la *Instrucción Náutica para el buen uso y regimiento de las naos, su traça y gobierno conforme a la altura de México* (1587) de Diego García de Palacio, el *Arte para fabricar, fortificar y aparejar naos de guerra y merchante naos* (1611) de Thomé Cano, publicado en Sevilla en 1611 o el *Diálogo entre un vizcaíno y un montañés sobre la fábrica de navíos* (1601) de autor desconocido.

manera en la que está escrita no deja de ser una expresión de la aún vigente tradición empírica de transmisión del conocimiento de la construcción naval propio de la tradición oral.

De algunos trabajos se pueden inferir técnicas de construcción, como en el campo de la arquitectura, en iluminaciones como las que se encontraban en los libros de horas del siglo XVI[130].

Hasta el siglo XVIII no encontramos un tratamiento más completo así el *Diccionario* del **Marqués de la Victoria** o las obras de **Gaztañeta**. Por ello, que el siguiente capítulo comenzará con estos trabajos junto al evidente cambio dinástico.

Durante el siglo XVII, España se enfrentó a diversos desafíos y dificultades en su política exterior y militar. El reinado de **Carlos II** (1661-1700) estuvo marcado por la debilidad de la monarquía y la influencia de ministros extranjeros poco capacitados. La nación sufrió un declive en la producción, el tesoro y el crédito, mientras las potencias extranjeras aprovechaban la situación para debilitar su poder. La política exterior se caracterizó por la rivalidad con otras potencias europeas, especialmente con Francia e Inglaterra. La lucha por el control de territorios, recursos y rutas comerciales llevó a una serie de conflictos y alianzas cambiantes, en las que la marina desempeñó un papel clave. No obstante, pese a la clara importancia de la marina, la flota experimentó un constante deterioro por diversos factores. La falta de inversión y de recursos suficientes limitó la capacidad de construir y mantener naves modernas y bien equipadas. Todo ello, sumado a la corrupción y la ineficiencia en la administración, debilitaron también las flotas de galeras y galeones, columna vertebral de la fuerza naval.

El abandono de la Armada Española puede ser atribuido, entre otras causas, al avance en la construcción naval y al incremento en la capacidad y artillería de los barcos de guerra. Consiguientemente, el anterior modelo de buque polivalente, incorporado a la marina de guerra en los conflictos mediante embargos, da paso a un buque especializado. La construcción naval también deriva en una mayor complejidad administrativa, al igual que en una creciente inversión realizada por

[130] En particular el libro de horas de Juana I de Castilla muestra la construcción de la torre de Babel con métodos acordes a su tiempo. Las iluminaciones del arca de Noé en los diferentes trabajos religiosos se encontraban influenciados por los barcos o dibujos accesibles al maestro o copista.

la Corona. Este es el caso del acuerdo de 1678 que obligaba a la Corona a hacerse responsable de la construcción y del pago en tres plazos[131] (Fernández Duro, 1895).

También aparece una corriente de influencia extranjera que, de alguna manera, vemos repetida en el siglo XIX, que lleva al envío de constructores navales para que se formen en otros centros de construcción europeos. La incorporación del diseño y métodos de construcción foráneos contó también con sus opositores, entre ellos **Francisco Antonio Garrote**[132] quien critica abiertamente estos barcos pues no disponen de la robustez de las naves españoles ni cumplen con los requisitos[133], pero aguantan mares más agitados, aunque se construyen con los métodos y materiales necesarios; a su vez admite la necesidad de mejorar la construcción en España en cuanto al diseño y proporciones[134]. En 1691, dicho autor publica su recopilación de mejores prácticas de construcción naval y las adapta a las necesidades españolas, con el objetivo de reformar y mejorar la construcción adaptando algunas prácticas extranjeras. En una época de decadencia naval, surgieron instituciones como el ya mencionado Colegio de San Telmo, destinadas a fortalecer la marina y a proteger a los vulnerables, en un contexto marcado por desafíos navales, migraciones estratégicas y preocupaciones sanitarias.

La Casa de Austria llega a su fin en España en 1700 con el deceso de **Carlos II** (1661-1700). Este monarca había heredado una debilitada armada la cual, a pesar de los desafíos mencionados, fue capaz de mantener los intereses del Imperio español y sentó las bases para el esplendor que llegaría con el cambio de siglo.

[131] Inicio de la construcción, la botadura y la entrega.

[132] Capitán de mar y guerra, con una gran importancia como tratadista en construcción naval. El ahora famoso Galeón San José (1698) se construye bajo sus especificaciones.

[133] Como ejemplo está la incapacidad de pasar todo el año por la barra de Sanlúcar.

[134] Para ampliar: *Recopilación para la nueva fábrica de baxeles españoles, donde se declaran las proposiciones y nuevo gálibo correspondiente a seis órdenes diferentes de portes, con la utilidad de servir de guerra en las armadas del océano, 1691*. Y particularmente los análisis de Cesáreo Fernández Duro.

> "Pocas son las profesiones, que en la sociedad requieran tanta complicación de conocimientos, como la marina"[135]

4. La madera ilustrada: 1700-1748

La estructura estatal de España experimentó una transformación significativa en el siglo XVIII. Esta metamorfosis se desencadenó tras la muerte del último monarca Habsburgo en España, hecho que dio lugar a una guerra de catorce años (1701-1715). Este conflicto, conocido como la guerra de sucesión española, culminó con la victoria de **Felipe de Anjou**, nieto de **Luis XIV** (1638-1715). Esta victoria marca la llegada al poder de los Borbones, quienes introdujeron en España métodos administrativos y políticos inspirados en el modelo francés lo cual derivó en un auge sin precedentes de la Marina de Guerra.

Una de las principales transformaciones político-administrativas fue la emisión de decretos como el de *Nueva Planta* (1707-1716). Estos cambios aspiraban a una España más centralizada, con una estructura política, jurídica y administrativa unificada. **Felipe V**, aunque principal promotor de estas reformas, contó con la influencia de distintos grupos y personajes, tanto nacionales como extranjeros.

El ámbito naval también fue testigo de importantes cambios. Durante el siglo XVIII, la construcción naval española experimentó un renacimiento. Líderes visionarios como **José Patiño** y el **Marqués de la Ensenada,** en la segunda mitad de siglo, fueron fundamentales en las primeras fases de este proceso. Se propuso un sistema logístico para la construcción y el mantenimiento de la flota y se establecieron arsenales en localidades estratégicas como Ferrol, Cartagena y Cádiz, además de fortalecer La Habana y sus astilleros. Estas directrices también abordaron desafíos como la escasez de madera y la necesidad de buques de guerra más eficientes.

En 1713, **Bernardo Tinajero de la Escalera** presentó al rey **Felipe V** un ambicioso plan naval que buscaba aprovechar la durabilidad de las maderas americanas. Aunque este plan no llegó a concretarse, sentó las bases para futuras iniciativas. En este contexto, **Antonio de Gaztañeta e Iturribalzaga** (1656-1728) ejerció un papel destacado en el diseño de barcos y logró que su técnica se conociera como "construcción a la española".

[135] Extracto de la parte tercera de la *Disertación sobre la historia de la náutica y de las ciencias matemáticas que han contribuido a sus progresos entre los españoles* (1846) de Martín Fernández Navarrete.

El final formal de la guerra de sucesión vino marcado por el Tratado de Utrecht en 1714[136]. Benefició en gran medida a los británicos, pues les otorgó ventajas comerciales y territoriales. España, por su parte, perdió territorios clave. Este hecho incrementó la relevancia estratégica de lugares como Cádiz. Además, se despertó una conciencia mercantilista en la corte española que reconoció la importancia del comercio como pilar de la riqueza nacional y condujo a reformas enfocadas en el monopolio de Indias y la política naval. No obstante, estas transformaciones propuestas encontraron numerosos desafíos en su implementación.

La guerra evidenció la necesidad de reformar las estructuras marítimas y comerciales y, con ello, la renovación de la Marina. Estas reformas avanzaron significativamente tras el tratado de Utrecht. Una Real Cédula de 1714 estableció oficialmente la Armada Real y un decreto posterior creó un ministerio específico para la Marina. Este nuevo organismo se centró en una administración más eficaz y en la toma de las decisiones directas tomadas por el monarca. Es, en este momento, en el que irrumpe un personaje crucial en la renovación naval de comienzo de siglo, **José Patiño y Rosales**. Este ministro, milanés de origen, sobresalió en diversos cargos de la administración borbónica, principalmente, desde su nombramiento como Intendente General de Marina en 1717, un cargo que reflejaba el modelo francés y conllevaba amplias responsabilidades sobre la flota naval y el comercio.

Una de las acciones iniciales más destacadas fue el traslado de la Casa de Contratación ese mismo año[137] que, desde 1503, se encargaba de regular el comercio entre España y sus colonias en América, de Sevilla a Cádiz. Aunque Sevilla había sido un punto clave para el comercio, su acceso al Atlántico estaba restringido por el río Guadalquivir, condición que planteaba desafíos para las operaciones marítimas y para la protección de flotas. Cádiz, en cambio, al estar en una península con acceso directo al océano, presentaba ventajas logísticas y estratégicas. Lógicamente, este cambio aspiraba a optimizar y proteger el comercio transatlántico, con ello, Cádiz vivió un notable crecimiento económico y demográfico, por su renovada relevancia en el comercio con las colonias.

[136] El Acuerdo de Utrecht, a menudo denominado como la Paz de Utrecht o los Convenios de Utrecht y Rastatt, consiste en varios pactos multilaterales suscritos entre 1712 y 1714 por las naciones en conflicto durante la guerra de sucesión española.

[137] No hay un acuerdo unánime a causa de la intrincada naturaleza del proceso y del velo de misterio que lo envolvió. A pesar de esto, el cambio se produce al mismo tiempo que Patiño fortalece su posición, siendo él quien designa a los futuros administradores. Sin embargo, la decisión final recayó en manos del rey Felipe V.

La Corona entendía la necesidad de intervenir activamente en la industria naval, con el propósito de transformar la bahía en un núcleo de construcción naval y almacenamiento de recursos clave, como la madera. No se limitó a ser simplemente una aspiración el reimpulsar el comercio colonial, sino que, se convirtió en una estrategia naval efectiva. Se implementó el sistema de asientos, lo que permitió que la construcción, el equipamiento y la provisión de recursos, incluida la madera, fueran gestionados por el sector privado; este contrataba flotas con armadores tanto nacionales como internacionales.

Esta consolidación enfocada en el comercio y en la marina culminó en la formación de la Intendencia General de Marina, responsable de toda la logística naval. Como Intendente General, **Patiño** logra una autonomía significativa en decisiones relacionadas con la industria naval. Dichas decisiones incluían la administración de madera y otros suministros en los puertos. En 1726, esta visión se solidificó con la creación de departamentos navales en España. Aun así, el desvío del interés de Patiño hacia asuntos militares afectó a su capacidad para influir en las reformas iniciales para las que fue propuesto (Bustos Rodríguez, 2017). Este mayor interés significó mayor influencia en la transformación de la Marina de Guerra con una especial parcialidad hacia Cádiz. El ministro se centró en fortalecer Cádiz como el núcleo de la política naval y comercial de la Corona. Sus esfuerzos incluyeron una reorganización administrativa, la capacitación de marinos competentes y el crecimiento de la flota. En cuanto a la formación de marinos, 1717 vio la creación de la Compañía y la Real Academia de Guardiamarinas en Cádiz, con el objeto de preparar a los oficiales navales, a los que se le daba formación, aunque en ocasiones limitadas a nociones básicas en matemáticas, navegación y construcción naval.

A pesar de la centralización del suministro naval, existía una dependencia del sector privado, a lo que se había comprometido, pero que **Patiño** oculta en sus exposiciones sobre navegación y construcción naval, especialmente en financiación y suministro de maderas (Crespo Solana, 2017). En la colaboración entre la empresa privada, llamados asentistas y el estado, predominó el asiento durante el primer tercio de siglo. Esta tendencia se fue revirtiendo en la segunda mitad del siglo XVIII, a pesar de las limitaciones de la producción nacional, con la producción de los arsenales y las reales fábricas.

Es difícil entender la estrategia naval española entre los siglos XVIII y XIX sin ocuparse del papel de las secretarías de Estado y del Despacho. Desde su creación por **Felipe V**, el cual sigue el patrón francés, mediante el Real Decreto del 30 de noviembre de 1714, esta da lugar a una administración con cinco secretarías:

Estado, Asuntos Eclesiásticos y Justicia, Guerra, Indias y Marina y Hacienda (Figura 4.1). Es necesario mencionar que desde 1705 hasta 1812[138] las diferentes secretarías sufrieron múltiples cambios de denominación, número y competencias. La administración de Nueva Planta no sustituye a las antiguas instituciones, sino que reduce paulatinamente sus funciones (Nava Rodríguez, 1994).

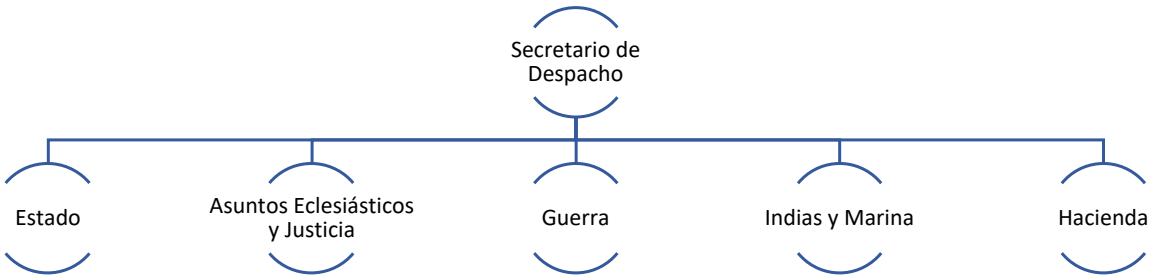


Figura 4.1: Secretarías del Despacho Universal. Fuente: Elaboración propia

Los avances significativos en la construcción naval europea se derivan de decisiones estratégicas políticas y militares. En el contexto de la Corona Española, factores como la necesidad de asegurar los convoyes de la Carrera de Indias, el soporte a la independencia de las Trece Colonias en América del Norte y la protección de sus territorios ultramarinos, impulsaron el desarrollo de una armada superior en número y tecnología. Esto llevó a la creación de astilleros y arsenales avanzados para la construcción y mantenimiento de una flota en expansión, y lo más crucial, el establecimiento de una administración eficiente y una gestión efectiva de los recursos disponibles.

Respecto a la protección de los convoyes de la flota de la Carrera de Indias, que había comenzado a mediados del siglo XVI y había sido reforzado por el Sistema de Flotas y Galeones de la década de 1560, se mantuvo ese sistema hasta mediados del siglo XVIII. Su desaparición gradual coincide con las reformas económicas y la liberalización comercial Borbónica.

Felipe V y **José Patiño** reconocieron la importancia de contar con una poderosa armada para proteger el vasto Imperio que gobernaban. En consecuencia, impulsaron la construcción de buques e infraestructuras necesarias con el objetivo de fortalecer la seguridad de las costas, establecer conexiones ultramarinas y equilibrar el poder mediante alianzas internacionales. Para llevar a cabo esta ambiciosa tarea, el Secretario de Estado, **José Patiño**, creó el Cuerpo General con

[138] La Secretaría del Despacho de la Gobernación de la Península, establecida por la Constitución de Cádiz, era una de las siete secretarías del Despacho. Según el Decreto CXLV de las Cortes del 6 de abril de 1812, esta Secretaría tenía competencias específicas relacionadas con la administración y el gobierno del reino en la Península e Islas Adyacentes.

funciones militares marítimas y el Cuerpo de Ministerio (Intendencia, ya mencionado) con un enfoque económico y de gestión. Además, se ordenó la construcción del primer astillero moderno en España, el Real Arsenal de La Carraca, seguido por los astilleros de Cartagena en 1731 y Ferrol en 1750.

El cambio dinástico de 1700 significa la incorporación de la moda francesa en multitud de campos. En lo que respecta a la construcción naval, conllevó que constructores franceses fueran incorporados a la producción de navíos a lo largo de la primera mitad del siglo XVIII.

Entre esas incorporaciones francesas se encontraba **Cipriano de Autrán y Oliver** (1697-1773), un reconocido constructor naval, que es destinado al arsenal de la Carraca en 1732; este desempeñó un papel esencial en la evolución de la construcción naval española. Inició su formación en la Real Fábrica de Navíos de Sant Feliu de Guíxols bajo la tutela de su padre, quien servía a **Felipe V**. Posteriormente, en el Real Astillero de Guarnizo en Cantabria, junto al maestro constructor **Juan Pedro Boyer**, construyó destacados navíos como el **Real Felipe** (1732) y el **Princesa** (1730), consolidando así su reputación en el ámbito naval. **Autrán** fue un defensor apasionado de las *proporciones de Gaztañeta*, establecidas por **Blas de Lezo** y **Gaztañeta**. Sin embargo, no se conformó con seguir estos principios al pie de la letra. Introdujo relevantes correcciones, como el ajuste del lanzamiento de los barcos, la optimización de las proporciones de la arboladura y mejoras en la fortificación, con miras a alcanzar siempre la máxima eficiencia en los navíos.

En la construcción naval de fines del XVII y principios del XVIII ejerció una patente influencia el intento de estandarización de la construcción naval. Su origen radica en una mayor transmisión de la información en texto escrito y en un empleo más consciente de los recursos naturales. Es el estado, desde la Marina, el que asume la responsabilidad de formar a los constructores. El hecho de formarse en las mismas academias y de haber bebido de las mismas fuentes deriva en la similitud de los buques construidos.

La evolución de estos navíos, impulsada por el uso avanzado de la artillería que incrementa la carga del buque, llevó a importantes decisiones de diseño geométrico como aumentar el volumen sumergido para elevar el francobordo y el puntal de las baterías, y mejorar la resistencia ante el fuego enemigo. Estas transformaciones, fruto de una especialización, posicionaron a estas obras maestras de la ingeniería del siglo XVIII en el foco de un análisis técnico más detallado.

La construcción de navíos en siglo XVIII español no puede entenderse sin discutir las figuras de **Antonio de Gaztañeta e Iturribalzaga** y de **José Romero Fernández de Landa** (1735-1807). Mientras que el primero sienta las bases de lo que supondrá la construcción naval del siglo XVIII, el segundo las lleva a su máximo potencial, dejando su cargo de ingeniero general de Marina el 22 de marzo de 1807. Entre la labor de estos dos ilustres personajes, existieron también los otros dos sistemas de construcción francés e inglés, que, aunque no existiesen límites entre estos periodos, sí tuvieron ejemplos claros. La construcción , cuya arquitectura se había distanciado de reglas tradicionales como el "as, dos, tres"[139] desde el siglo pasado, comienza gradualmente a abandonar el sistema de ligazones superpuestas. Este sistema tenía entre sus principales inconvenientes el desperdicio de la madera, fruto del uso de piezas curvas. Un elemento que causaba gran desperdicio era el fiador, cuya labra llegaba a resultar en un 50% para esta pieza (Apestegui, 2001). La naturaleza arbitraria de la construcción artesanal de estos barcos resultaba en un sobredimensionamiento de la estructura y la imposibilidad de construcción de navíos en serie, a los que estamos familiarizados en la actualidad. Este sistema de ligazones continúa en España con alguna incorporación del sistema de cuadernas, que no se populariza hasta la década de 1730 con el sistema francés encabezado por **Autrán**. Este sistema transversal no tenía la resistencia estructural propia del proceso constructivo anterior, lo cual fue criticado y, por tanto, no todos los buques, debido a la diversidad de astilleros, constructores y materiales, incorporaron totalmente el sistema.

En la primera mitad del siglo XVIII, figuras destacadas como **Gaztañeta** se dedicaron a la construcción de los navíos de línea más destacados de su tiempo. Estos buques, modelos de excelencia naval, fueron posteriormente replicados por ingleses y franceses en sus propias construcciones navales. Esta dedicación al refinamiento en el arte de la construcción naval facilitó un crecimiento extraordinario de la Armada Española durante el curso de la centuria que nos ocupa.

4.1. Desarrollo científico y obras

España estaba aún sumida en la modernidad medieval, de la cual el religioso Fray **Benito Jerónimo Feijoo y Montenegro** (1676-1764) es un admirable ejemplo. Por

[139] A pesar de no ser una regla homogénea, establecía la manga como unidad fundamental desde la cual se derivaban el resto: quilla, eslora, puntal y planta.

tanto, la Ilustración y el Racionalismo estaban sometidos a la religión y al dogma (Nieto, 1997). No obstante, estas limitaciones no obstaculizaron la adopción de las ideas promovidas en la Ilustración cuyo fruto resultó en un desarrollo excepcional de las ciencias aplicadas y la ingeniería. Dicho desarrollo benefició en gran medida a una flota cuya construcción estaba tradicionalmente basada en artesanos y cuyo diseño y producción son, entonces, producto de la aplicación del método científico.

La primera mitad del siglo XVIII fue testigo del surgimiento de una considerable variedad de obras y tratados relacionados con la construcción naval que contribuyeron al desarrollo y perfeccionamiento de las embarcaciones y los navíos. De estas obras, se han seleccionado las que se consideran más relevantes para este trabajo.

Indiscutiblemente, **Antonio de Gaztañeta e Iturribalzaga**, un marino distinguido, se erige como la figura central en la transición de la Marina Española en el cambio de siglo. Autor de tres obras fundamentales, sus escritos se convirtieron en los pilares esenciales para el desarrollo naval que se viviría a lo largo del siglo XVIII. Por tanto, **Gaztañeta**, a través de sus tratados *Arte de fabricar Reales* (1691), *Proporciones de las medidas arregladas a la construcción de un bajel de guerra de setenta codos de quilla* (1712) y *Proporciones de las medidas más esenciales para la fábrica de nuevos navíos y fragatas de guerra* (1720), desplegó una profunda influencia en la construcción naval española durante el siglo XVIII. Gracias a sus escritos y a la experiencia acumulada en los astilleros cántabros y vascos a lo largo de numerosos años, logró optimizar la fabricación de navíos y establecer estándares que sentaron las bases para el desarrollo de la construcción naval en España en esa época. Además, introdujo notables cambios en el diseño de los navíos de combate de la Armada Española, entre ellos el alargamiento de la eslora para mejorar su rendimiento y la maniobrabilidad en el combate. Sus innovaciones fueron tan significativas que algunas de las características citadas fueron adoptadas y replicadas por otros países, incluyendo Inglaterra y los Países Bajos.

El *Diccionario demostrativo de la arquitectura naval moderna*, conocido como el *Álbum del Marqués de la Victoria*, elaborado entre 1719-1756 por ***Juan José Navarro*** (1687-1772)[140], es un manuscrito de gran importancia al ilustrar minuciosamente la construcción naval de mediados de siglo XVIII. Esta obra también incluye el estado, el suministro y la organización de los montes de marina, información indispensable para la construcción. Esta podía venir como informe,

[140] Primer Marqués de la Victoria.

como fue la identificación de treinta y tres puntos a lo largo del Ebro, por parte de **Juan Valdés y Castro** y **Antonio Gallegos**, donde se podía obtener madera para la construcción naval (Martín López, 2010). En este trabajo no se tratará en profundidad esta fascinante obra, que incluye no sólo los detalles constructivos como las uniones, ligazones y enlaces, máquinas e ingenios utilizados en los arsenales, los diferentes tipos de embarcaciones, sus elementos empleados para la navegación como los cabestrantes y las ruedas de timón, sino también detalles ignorados en otros trabajos como las provisiones y víveres necesarios para las travesías oceánicas, los instrumentos y utensilios para la navegación, la indumentaria y el mobiliario de los camarotes.

Continuando con publicaciones españolas, pero manifestando una clara influencia francesa, se encuentra **Cipriano de Autrán y Oliver** (1697-1773) con su manual *Métodos, reglas y proporciones para la construcción de bajeles* publicado en el año 1742. Este es considerado el legado y la obra culmen de este destacado constructor naval y sirve de revisión y ampliación del sistema introducido por **Gaztañeta**. A pesar de ser un claro defensor de las *proporciones de Gaztañeta*, con ejemplos como el navío **Real Felipe** (1732)[141], sí corrigió el lanzamiento de los navíos, modificó las proporciones de la arboladura y perfeccionó la fortificación.

Siguiendo con la influencia francesa, resulta conveniente dedicarle unas líneas a la obra del astrónomo y matemático francés, **Pierre Bouguer** (1698-1758). Conocido como el padre de la arquitectura naval, realizó una notable aportación al campo de la arquitectura naval al introducir el concepto de "metacentro", por primera vez, en su célebre *Traité du navire de sa construction et de ses mouvements* (1746). **Pierre Bouguer**, durante su participación en la Misión Geodésica Hispanofrancesa para medir la distancia de un grado de latitud en el Ecuador, llevó a cabo la elaboración de esta obra monumental, la cual transformó la ciencia de la construcción naval y la elevó al rango de una ciencia matemática y geométrica. El tratado, una vez publicado, obtuvo reconocimiento a nivel global y, en menos de diez años, se tradujo al inglés. A lo largo de varias décadas, este documento se convirtió en una fuente de consulta clave para otros científicos franceses notables, incluyendo a **Jean-Charles Borda** (1733-1799), **Jean le Rond d'Alembert** (1717-1783) y **Henri-Louis Duhamel du Monceau** (1700-1782). Además, su nombre está vinculado al de **Antonio de Ulloa y de La Torre-Giralt**,

[141] Diseño de Autrán siguiendo los modelos de Gaztañeta.

otro miembro de la expedición, en el término meteorológico conocido como "Halo de Bouguer/de Ulloa".

La construcción naval en Inglaterra fue, predominantemente, una disciplina enraizada en la tradición y la experiencia empírica, más que en principios científicos y matemáticos sólidos. La visión generalizada de la época dictaba que la ciencia aplicada al diseño y a la construcción de barcos constituía una perspectiva tanto absurda como innecesariamente compleja. Los constructores navales de la época, típicamente carpinteros hábiles, a menudo se basaban en conocimientos pasados a través de manuscritos secretos y métodos de prueba y error, reacios a la inclusión de la ciencia teórica en su oficio y opuestos a las teorías y experimentos propuestos por científicos y filósofos, como lo ejemplifica la desestimación de los trabajos de **William Petty** (1623-1687) y **John Wallis** (1616-1703)[142].

El diseño del **HMS Royal Katherine** (1664), aunque derivado de la teorización científica y matemática de la *Royal Society*, culminó en un barco que adolecía de estabilidad insuficiente, revelando que la transición directa de los principios científicos a la aplicación práctica no era un proceso ni directo ni infalible en el ámbito de la construcción naval. **William Sutherland**, en su libro *Ship-builder's Assistant* de 1711, expresó críticas pragmáticas respecto a las propuestas de aumentar la longitud de los barcos para incrementar la velocidad, indicando que tal ajuste no solo exigía más madera, sino que tampoco garantizaba una estructura fortalecida o una nave más eficiente en el agua.

En esencia, durante este período, la intersección de la ciencia y la construcción naval se encontró, en general, con una considerable resistencia y escepticismo por parte de los practicantes de la época, quienes privilegiaban la sabiduría acumulativa y los métodos probados por encima de los enfoques teóricos y experimentales recién creados. Este enfoque cauteloso, y a menudo reacio hacia la innovación científica en la construcción naval, reflejaba un punto de vista que sostenía que las habilidades artesanales y la experiencia práctica prevalecían sobre los principios científicos abstractos y las teorías en desarrollo. La construcción naval, por lo tanto, se mantuvo, en muchos aspectos, como una disciplina firmemente arraigada en el empirismo y la tradición.

[142] Este matemático trabajó en el sólido de menor resistencia. Autor, en 1864, de la obra *Cono-cuneus, or, The shipwright's circular wedge that is, a body resembling in part a conus, in part a cuneus, geometrically considered*.

4.2. Transferencia tecnológica

La Ilustración trajo consigo innumerables casos de transferencia tecnológica. Estos incluyeron avances científicos en ciencias como las matemáticas y la física, también en el ámbito de la construcción naval. En esta última podían ser abiertas, como en el caso de **Zar Pedro I de Rusia** (1672-1725), o encubiertas a través del espionaje. **Pedro I**, conocido por su labor reformista, fue consciente de la necesidad de tener una armada fuerte y, por ello, en una acción insólita, viajó a los principales países constructores navales europeos del momento: Holanda e Inglaterra. Este viaje tenía por objetivo aprender sobre tecnología, ciencia, construcción naval y navegación. En la construcción mantuvo una preferencia por la metodología inglesa[143], que conoció en su visita a Inglaterra en 1698. El zar se alojó en Deptford, por su cercanía a los astilleros y tuvo acceso completo a bases navales y militares. A su regreso, el Zar inició un programa extenso de construcción naval en Rusia, que incluyó el establecimiento de una flota en el mar Báltico en 1703 y que, a su muerte, como primer emperador, convierte a Rusia en una potencia naval.

A lo largo de la elaboración de la tesis, el autor participó en dos investigaciones que han desenterrado casos reseñables de transferencia tecnológica: el navío saboyano **Vittorio** (1716) y el primer rompehielos registrado como **Pilot** (1862). El primero se introducirá a continuación.

4.2.1. El navío Vittorio (1716)

La fabricación de modelos, una práctica que consiste en crear representaciones a escala reducida, se ha entretejido a través del tapiz de la historia global, proporcionando una visión tangible de la evolución de los objetos y las tecnologías. En la historia de la náutica, en particular, los modelos de barcos, desde el Antiguo Egipto, donde representaban un valor práctico y ritual, hasta la Europa del siglo XVIII, revelan los avances y cambios en el poder naval y en las técnicas de construcción.

Más allá de las fronteras geográficas, estos modelos han trascendido su uso funcional inicial y se han convertido en piezas célebres de museos marítimos de todo el mundo. Su excelencia técnica y artística revela el progreso de la construcción naval durante sus respectivas épocas, proporcionando una lente

[143] Esto fue reforzado por el interés del rey Guillermo III de Inglaterra (1650-1702) en el comercio con Rusia.

inestimable a través de la cual se pueden percibir y comprender los momentos históricos.

A raíz de una colaboración con los **Museos Reales de Greenwich** en Inglaterra, se ha llevado a cabo una investigación[144] en unos de los modelos registrado como SLR0436, de proveniencia incierta. Este pertenece a la amplia colección de modelos del archivo de Chatham. El investigador naval, autor de este texto, se desplazó a su localización intrigado por las características del modelo y por requerimiento de los conservadores del museo debido a su establecido supuesto origen español. El texto, única información inicial suministrada por el museo, sin incluir acceso al modelo, es el que se muestra a continuación:

"Warship (1730-40); Spanish; 60 guns

Scale: 1:48. A contemporary full hull model of a 60-gun, two-decker ship of the line. It is built plank on frame in the Navy Board style. The model has a cutaway and is decked and equipped. The date and nationality of the ship are both uncertain. It is not a British ship: the oar ports were not found in British ships of this size. It is possibly Spanish and has been tentatively identified as the 'Nueva Espana', built at Havana around 1740. The eagle and snake on the stern may be derived from the Mexican coat of arms.

Spanish 60-gun ships were of a very similar size to their British counterparts. A Spanish 60-gunner was 142 feet by 40 and weighed 950 tons burden, while British ships (of the 1719 Establishment) were 144 by 39, and 951 tons."

Este es un modelo realizado en una técnica conocida como el *Navy Board*, con unas medidas generales del modelo 322 x 1093 x 260 mm y la base 127 x 1085 x 300 mm.

La investigación se basó en sus características, las influencias de su diseño y sus materiales. Por lo tanto, apoyándose en las pruebas directas y circunstanciales, los autores argumentaron que el modelo es una reproducción del navío **Vittorio** (1716). Dado que ni los autores ni otras instituciones colaboradoras han sido capaces de encontrar algún registro de planos o pinturas que proporcionen alguna indicación sobre el aspecto del **Vittorio** (1716), este se convertirá en la única reproducción del

[144] Finalizada en noviembre 2022.

antiguo navío saboyano conocido (Figura 4.2). La breve y accidentada hoja de servicios del navío, así como su origen clandestino, podrían justificar el olvido archivístico. Sin embargo, esto lo convierte en un notable descubrimiento de una época crucial de la historia europea.

Figura 4.2: Fotografía del modelo estudiado. Fuente: Tomada por el autor

4.3. Las riquezas del Estado. Comercio y mercantilismo

Durante la primera mitad del siglo XVIII, se cuestionó la creencia mercantilista de que la riqueza de un estado proviene únicamente de los metales preciosos. Se promovió el control estatal del comercio y el proteccionismo. Un argumento contrario que se comienza a gestar es el de la agricultura como verdadera fuente de riqueza (Vivier, 2007). Esta transformación de la economía política se evidencia en España a partir del reinado de **Carlos III**, en el que se enfatizaba el fomento de la agricultura, las artes y el comercio.

La Hacienda real española, por un lado, se benefició de los ingresos generados a través de la carrera de Indias y del comercio privado. Sin embargo, también se encontró frenada por diversas crisis, tales como conflictos con Holanda y crisis financieras[145], que, a la larga, inhibieron el crecimiento económico de la nación. A pesar de la destreza en gestión e innovación mostrada por comerciantes y banqueros, las dificultades acumuladas y ciertas decisiones políticas generaron desigualdades en la sociedad y redujeron la preeminencia comercial de regiones como Castilla (Lorenzo de Membiela, 2019).

[145] Incluyendo desastres marítimos y falsificación de moneda en Perú.

Desde principios del siglo, España evidenció un giro significativo con la fundación de compañías privilegiadas e instituciones financieras, diseñadas para revitalizar y expandir el comercio tanto a nivel nacional como internacional. El modelo francés comenzó a influenciar las leyes y políticas de España, siendo manifestado en obras como *Theórica y práctica de Comercio y de Marina* de **Gerónimo de Uztáriz** en 1724, en la que defendía las ideas mercantilistas de **Jean Baptiste Colbert**, y promovía el fortalecimiento de la industria y la construcción de una poderosa flota naval.

Simultáneamente, la construcción naval y los sistemas mercantiles también se encontraban en una coyuntura de evolución y discusión. Durante décadas, se contemplaron diversas propuestas para modificar el sistema tradicional de Flotas y Galeones y para adaptarse a los cambiantes contextos y necesidades, tanto en la metrópoli como en las colonias americanas. Ya desde 1679 se discutía la idea de alterar el monopolio indiano mediante la introducción de modelos mercantiles implementados por otros países europeos.

La resistencia a las reformas a menudo se hallaba arraigada en el poder de entidades como el Consulado sevillano y los intereses de naciones extranjeras y sus conglomerados industriales y mercantiles, los cuales, a menudo, se beneficiaban del sistema existente, ya fuera accediendo al mercado americano a través de Sevilla o mediante contrabando. La guerra de sucesión y los tratados de Utrecht también complicaron el contexto internacional, y pusieron restricciones a las reformas del sistema mercantil español.

A pesar de las barreras, el siglo XVIII gestó un ambiente de reforma. Durante los tratados de Utrecht, Inglaterra obtuvo notables concesiones comerciales, tales como el *Asiento de negros* y el *Navío de permiso*, lo que la colocó en una posición de ventaja frente a España y precipitó la necesidad de que España introdujera reformas para apoyar a sus propios comerciantes. Las reformas incluyeron estrategias como el *Real Proyecto de Flotas y Galeones de 1720*, diseñado para reforzar el control español sobre el comercio con las Indias.

Las compañías privilegiadas, si bien ideadas como soluciones para impulsar la economía y potenciar la posición política de la monarquía, tuvieron un rendimiento variable. La creciente influencia de las ideas de libre comercio, eventualmente, disminuyó la popularidad de tales proyectos de compañía.

Con la entronización de la dinastía borbónica, en concreto **Felipe V**, España experimentó un renacimiento en su política interna y externa. Las reformas de

Felipe V abogaban por un estado centralizado, la abolición de los fueros y privilegios regionales y una unificación monetaria, colocando la moneda castellana como referencia. Al final de su reinado, España había reconquistado una posición destacada en la esfera mundial y experimentó un auge en áreas como las artes y la industria. La cuestión monetaria también pasó por un proceso de estandarización y unificación. Las cecas regionales fueron cerradas y la moneda fue centralizada, estableciendo así un precedente para las futuras evoluciones políticas y económicas de España y permitiendo la adaptación a los desafíos de los siglos posteriores.

Cabe recordar la existencia de las compañías del periodo, como la Compañía de los Mares del Sur, las cuales respondían a la gran deuda pública que habían contraído países como España, Francia e Inglaterra y cuyos intentos de financiarse resultaron en algún escándalo[146]. Por ejemplo, la Burbuja de los Mares del Sur, un delirio especulativo de 1720, llevó a la ruina financiera a muchos inversores británicos. Esta se había centrado en la Compañía de los Mares del Sur, fundada para comerciar con la América española, con la expectativa de un tratado provechoso al final de la guerra de sucesión española. Las acciones de la compañía se dispararon, alcanzando valores elevados, pero el tratado no resultó tan favorable y condujo al colapso del mercado. Aquellos que no pudieron adquirir acciones de la compañía fueron engañados e invirtieron de manera imprudente. El escándalo envolvió sobornos y especulación entre ministros y directores. Los acontecimientos llevaron al poder[147] a **Robert Walpole** (1676-1745). Este prometió llevar a los responsables ante la justicia, pero, para proteger a numerosos líderes políticos, solo unas pocas personas tuvieron que hacer frente a las consecuencias. La Compañía de los Mares del Sur continuó hasta 1853, tras haber vendido la mayor parte de sus derechos al gobierno español en 1750.

Paralelamente, las cuestiones relacionadas con el comercio de recursos fundamentales, como el cáñamo ruso, también fueron cruciales en las luchas imperiales y el comercio internacional. El Imperio ruso fue el principal productor de cáñamo: suministró toneladas de jarcia y velas a las flotas europeas. Esta cuestión fue relevante en las luchas imperiales, especialmente entre España e Inglaterra, ya que el acceso a suministros fundamentales para la defensa y coerción ejerció un papel importante en el triunfo de Inglaterra en la hegemonía imperial. Los circuitos comerciales del cáñamo se establecieron a través de productos

[146] La compañía del Mississippi, fundada en 1684, es otro ejemplo de burbuja especulativa en el año 1719.
[147] Se convierte en primer ministro en abril de 1721.

manufacturados, como velas y jarcias, producidos en fábricas de Inglaterra y España y consumidos en puertos y astilleros clave en América (Nueva York, Boston, La Habana, Veracruz, Cartagena de Indias o Portobelo). La mencionada red comercial distribuía estos productos a través del sistema de la Carrera, utilizando flotas y buques para ejercer el comercio en los puertos principales. Sin embargo, en la región del Pacífico, dependían de las manufacturas enviadas desde España a través de rutas costosas por los caminos reales de Panamá o Nueva España. El Imperio español resolvió esta situación fomentando el cultivo de cáñamo en regiones de Chile, Nueva España y California, lo que llevó al establecimiento de circuitos interregionales de distribución en los puertos del Pacífico español y el suministro de estos productos al archipiélago filipino a larga distancia (Díaz Ordóñez, 2019).

Un tipo de embarcación que prosperó durante el segundo tercio de 1700 fue la balandra de guerra. Su evolución en la Marina Real Británica se manifestó patentemente a lo largo del siglo, la cual se centró en el Caribe y Mediterráneo Occidental, donde tenía intereses comerciales que estaban siendo amenazados por los conflictos con España y con otras potencias navales europeas. Esta embarcación estaba sin clasificación debido a su tamaño y aparejo, pero llegó a duplicar su tonelaje a mediados de siglo.

Las Bermudas en el Caribe, foco de la piratería inglesa, estaban agraciadas por la abundante presencia del cedro de las Bermudas, un recurso renovable endémico de la isla. Para su conservación, desde 1627 existían leyes de protección que restringían la exportación del cedro; durante el siglo XVIII se estimaba en ocho millones de árboles. Este preciado recurso posibilita la construcción de casas, iglesias y barcos. De estos, la Balandra de Bermudas[148], construida con *Juniperus bermudiana*, se convierte en un tipo de embarcación codiciada debido a la longevidad y resistencia de esta madera.

4.4. Deterioro de la madera

La vida útil de la madera queda determinada por varios factores. Estos pueden atribuirse al tratamiento de la madera como la presencia de albura, el curado o el preservante empleado; otros tienen que ver con la construcción y operación del mismo, desde el contacto con especies de madera de vida más corta o la ventilación en el interior del barco (Thayer, 1924). Además, desde los orígenes de la

[148] Su concepción se atribuye al holandés Jacob Jacobson.

navegación, los navegantes se han enfrentado a un enemigo tan terrible como diminuto: El *Teredo navalis*, también conocido como "broma", es un molusco bivalvo que desde su identificación[149], en el segundo tercio del siglo XVIII en Holanda (Sellius, 1733) ha sido objeto de estudio y aprensión debido a sus efectos devastadores en diques, esclusas, puertos y embarcaciones (Figura 4.3). Esta especie encuentra sus condiciones más favorables a una temperatura de 15-25˚C, baja velocidad de corriente (<0,8 m/s) y una salinidad mayor de 9 g/l, lo que pone en riesgo las estructuras de madera en los estuarios, dados las reducidas descargas fluviales y el aumento global de temperatura (Paalvast & Van der Velde, 2011). En sus memorias, **Jorge Juan** y **Antonio de Ulloa** mencionan que hallan broma entre la costa de Panamá hacia Acapulco.

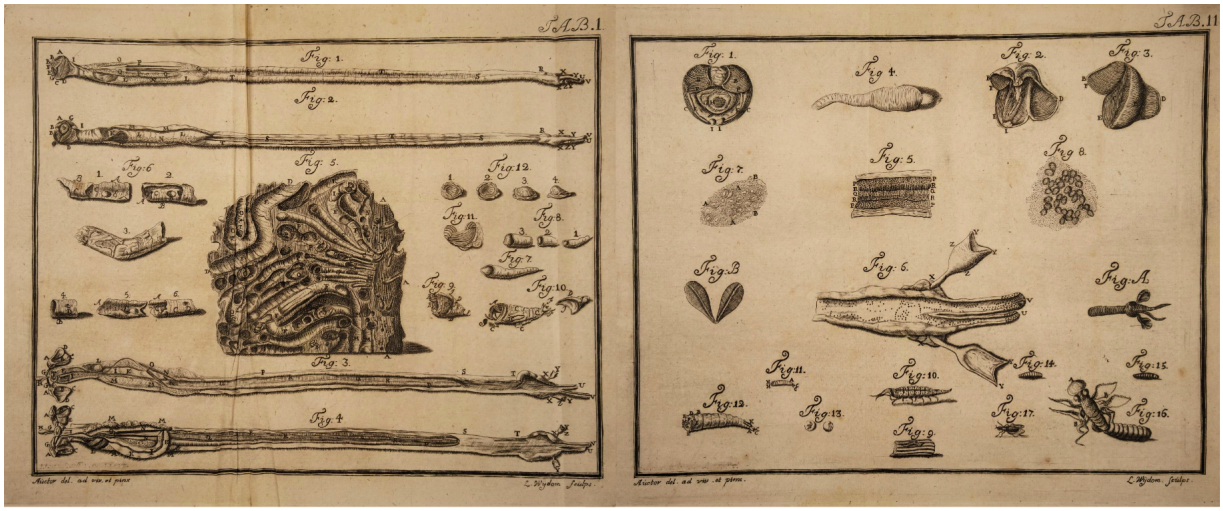


Figura 4.3: Láminas representando el Teredo. Sellius (1733). Fuente: Biodiversity Heritage Library

En el campo de la ingeniería civil se afirma que la familia de los Teredos inspiró al ingeniero francés **Marc Brunel** (1769-1849), padre del ilustre **Isambard Kingdom Brunel** (1806-1859), para el diseño de la tuneladora de hierro fundido[150], la cual empleó para horadar el túnel del Támesis conectando Rotherhithe and Wapping, cuya patente se solicitó en 1818 (GB 4204/1818). Este diseño fue posteriormente mejorado por las patentes de **Peter Barlow** y **James Henry Greathead** (1844-1896); estas introdujeron un escudo circular con anillos de hierro y lo dotaron de una mayor resistencia y seguridad para los operarios. Estos diseños, en un ejemplo de biomímesis, emulaban el uso de las conchas del *Teredo Navalis* para avanzar y estabilizar las paredes que luego serían reforzadas.

[149] Su origen es desconocido; se considera una especie criptogénica.

[150] Aunque se refiere a una tuneladora, su diseño es primitivo y sirve como escudo, requiriendo un trabajo manual para retirar la tierra.

La obra de **Sellius** no solo resaltó el problema, sino que también incentivó a las naciones a buscar e implementar nuevas tecnologías con el objetivo de limitar los daños. A pesar de que la solución para combatir el teredo en los puertos resultó en la simple sustitución de la madera por piedra, fue una medida costosa. Sin embargo, en relación a las naves, la solución pasaba por el uso de maderas resistentes como la teca y medios con miras a paliar su ataque.

En los Países Bajos tuvo unas consecuencias económicas y políticas dignas de mención, que, a pesar de que el problema de la carcoma se conocía como un inconveniente para los navegantes en todo en todo el mundo, las consecuencias para los diques resultarían nefastas.

Si bien el problema de la carcoma era conocido mundialmente como un desafío para los navegantes, las implicaciones para los diques holandeses en la década de 1730 resultaron ser especialmente perjudiciales. La respuesta mediática ante esta crisis mostró un patrón particular pues inicialmente, la atención de los medios fue limitada. Los primeros informes aparecieron discretamente en verano de 1732, con un aumento notable de cobertura a finales de ese año y principios de 1733. Aunque los periódicos informaron sobre el problema y compartieron anuncios relacionados, no ofrecieron una narrativa continua desde el inicio de la infestación en 1730. Esta tardanza en la cobertura se rompió cuando las autoridades apelaron al público holandés en busca de soluciones y generaron así un ambiente propicio para discutir y manejar la crisis (Koopmans, 2016).

El impacto del Teredo en la Europa del siglo XVIII fue estudiado en el proyecto europeo *SHIPWORM*[151], en el que se incide en el valor de la innovación frente a los desafíos. Destaca la adaptabilidad de algunos países que añadieron un revestimiento de cobre en los barcos, lo que además de protegerlos, los hacía más rápidos, dándole a los países con recursos de cobre una ventaja comercial y militar.

La madera no es únicamente susceptible a esta especie, también notoriamente al efecto de los limnóridos. Estos, comúnmente conocidos como gusanos barrenadores de madera, también suponen una clara amenaza significativa para las estructuras de madera sumergidas, como embarcaciones, diques y pilares. Similar al problema con los teredos (gusanos de nave), los limnóridos perforan y debilitan la madera, por lo que ocasionan un efecto perjudicial en su integridad estructural. Un estudio de 2014, llevado a cabo en quince localizaciones europeas concluyó que, a pesar de

[151] *A transregional and interdisciplinary study of the societal impact of the shipworm epidemic in the North Sea region in the eighteenth century*, liderado por Michael-W. Serruys.

que los teredínidos xilótrofos sean generalmente una amenaza mayor que los limnóridos, estos pueden ser igual o más destructivos si se dan las circunstancias apropiadas (Borges, 2014). Del mismo orden, *Isopoda*, se encuentran los Sphaeromatidae.

En la década de 1760, la Marina Real Británica introdujo el revestimiento de cobre en la construcción naval para proteger a los barcos frente a la carcoma y las incrustaciones. Sin embargo, esta solución innovadora introdujo involuntariamente la corrosión galvánica, que afectaba sobre todo a los pernos de hierro y a los hierros del timón, peligros que los científicos del siglo XVIII no comprendían bien. A pesar de la adopción y posterior difusión del revestimiento de cobre desde Gran Bretaña hasta el continente en la década de 1770, la corrosión siguió siendo un problema persistente. Se exploraron diversos métodos anticorrosión con éxito variable (Lemmers, 2013). Las innovaciones, como el uso de pernos de aleación de cobre y zinc, introducido por **Matthew Boulton** (1728-1809) y **James Keir** (1735-1820), y el laminado de pernos endurecidos a máquina dirigido por **William Forbes of Callendar** (1756-1823), mejoraron gradualmente la fiabilidad del revestimiento de cobre. Sin embargo, los problemas y las posibles soluciones del revestimiento de cobre continuaron siendo objeto de intensos debates y experimentos durante las décadas de 1780 y 1790, lo que pone de relieve los intrincados retos que planteaban los avances tecnológicos navales y la metalurgia durante este periodo.

Como se ha introducido anteriormente, la longevidad de la madera de los barcos se rige en gran medida por cinco factores clave, entre ellos la presencia de albura[152]. La albura es más susceptible al deterioro que, una vez iniciado, se extiende rápidamente al duramen. Por consiguiente, en las zonas propensas a la descomposición, como suelos y entramados, se debe utilizar duramen o han de estar protegidas con conservantes.

La recomendación más habitual es la del corte de la madera en las superficies de albura, asegurándose de que las caras de albura estén aireadas, y de que las superficies de madera en contacto estén desprovistas de albura. Como tratamiento de la madera, es común salar barcos de roble, mientras que aquellos de pino amarillo o abeto Douglas se trataban con creosota. Esta decisión se basa en las propiedades inherentes de estas maderas; el roble, al ser más húmedo, es apto para

[152] Capa blanda, de color blanquecino, que se halla inmediatamente debajo de la corteza en los tallos leñosos o en los troncos de los vegetales gimnospermos y angiospermos dicotiledóneos, formada por los anillos anuales más jóvenes.

la salazón y las maderas secas se benefician del creosotado. Es vital mantener una buena ventilación, en especial en espacios confinados, para prevenir la humedad. El objetivo del curado es reducir la humedad, volviendo a la madera menos propensa a la descomposición. El curado también controla la expansión y contracción, garantizando uniones herméticas. Finalmente, pintar embarcaciones de madera puede ser contraproducente, ya que la pintura obstruye los poros e impide el curado adecuado. Es esencial cortar, ventilar y, en ciertos casos, secar la madera, evitando el contacto con el suelo y con la pintura interior, para garantizar la durabilidad del barco.

Una madera que sufre de escasez, entrado el siglo XVIII, es el roble inglés. Esta, sin embargo, logró amplia aceptación debido a la longevidad de los barcos que se construyeron con ella, posiblemente por las características ambientales particularmente favorables para su crecimiento y consolidación, siendo preferidas las que provenían de áreas apartadas frente a la de los grandes bosques (Robertson, 1921). Un ejemplo se encuentra en el **Royal William** (1719) que no necesitó reparaciones significativas hasta 1757 y, tras una dilatada carrera, fue convertido en guardacostas en los albores del siglo XIX.

Por último, la construcción por contrato de asiento conllevaba riesgos[153] respecto a los barcos construidos por la administración que, no infrecuentemente, estaban hechos de maderas verdes y ensamblados de manera descuidada.

4.5. Astilleros

Las diversas fuentes consultadas por el autor resaltan la preponderancia de los astilleros de la Habana en la reforma naval del siglo XVIII dada su importancia estratégica en el Caribe. No obstante, a lo largo de este periodo conviven diversos astilleros tanto en la Península como en los territorios de Ultramar (Figura 4.4).

Si se emplea la ilustración anterior, es posible comprender la predilección por el puerto de San Blas, constituido en Departamento Marítimo, para la comunicación con Filipinas. Este puerto, junto al de Cavite, se convirtió en el eje defensivo del océano Pacífico. Su fundación, en las costas de la Nueva Galicia en 1767, puede considerarse tardía, pero respondía a detener la expansión de rusos e ingleses en

[153] Pese a ser considerados una alternativa más económica para la Corona, al ser el asentista el que asumía los riesgos y la gestión de costes y mano de obra, esta se prestaba a abusos derivados de un menor control por parte de la administración regular.

la costa noroccidental americana[154]. San Blas se erige en un centro de interés español, pero eso no limitaba la presencia regular de ingleses y angloamericanos, pues el puerto promovió la integración regional y atrajo a comerciantes extranjeros involucrados en el comercio interoceánico. Con el tiempo y debido a cambios en las políticas comerciales españolas, San Blas evolucionó de un apostadero naval a un puerto comercial, adaptándose a las presiones comerciales, especialmente de Gran Bretaña, y a las nuevas dinámicas de liberalización (Trejo Barajas, 2006). La elección de San Blas como localización para un astillero y arsenal responde, al igual que en anteriores decisiones, a la abundancia y calidad de las maderas que, en este caso, era el cedro rojo, *Cedrela odorata*.

Figura 4.4: Astilleros relevantes Siglo XVIII. Fuente: Elaboración propia

Tras la planificación y establecimiento de estructuras legislativas, administrativas y económicas iniciales, la Marina Real desarrolló la industria naval (Tabla 4.1; Tabla 4.2), lo que llevó a la exploración de nuevas fuentes de recursos forestales. Esta búsqueda se dirigió tanto en Nueva España como en Europa, con el objetivo de seleccionar las maderas más aptas para la construcción de barcos de guerra en astilleros peninsulares y en La Habana. Los asientos novohispanos fueron monopolizados por las élites locales criollas (Rafal, 2019). Para estos se proporcionaban dimensiones y reglamentos que indicaban las dimensiones de una gran variedad de piezas. Los asientos no eran exclusivos de la madera, sino también de los buques. En la Habana, la Corona y **Manuel López Pintado**

[154] La fundación, por parte de José de Gálvez y Gallardo (1720-1787), tiene también el objetivo de explorar y colonizar los territorios al noroeste de las posesiones españolas en América. San Blas se convirtió en un punto neurálgico para la construcción de embarcaciones y la coordinación de expediciones, transportando tropas, misioneros y colonos.

acuerdan en 1713 la construcción de diez navíos de guerra y dos de transporte en cuatro años.

Los astilleros dependían en gran medida de los suministros de madera de los bosques situados en las regiones que actualmente corresponden a México y Cuba. Se realizaron esfuerzos considerables por parte de los oficiales de la Marina para explorar estos bosques y determinar las especies de árboles más útiles, las localizaciones idóneas para la tala y las rutas más apropiadas para transportar la madera tanto por tierra como a través de los ríos. Estos esfuerzos reflejan la importancia estratégica de los recursos forestales y su relación directa con el mantenimiento y desarrollo de la capacidad naval del Imperio español.

En 1765, el rey **Carlos III** emitió una Real Cédula en la que se comunicaba al Gobernador de Filipinas, **Simón de Anda y Salazar** (1709-1776), la sugerencia de trasladar los astilleros a Cavite (Figura 4.5). A pesar del costo que implicaba transportar la madera hasta esa ubicación, los funcionarios reales consideraron conveniente hacerlo. Por ello, en otra Real Cédula dirigida a **Anda y Salazar** se informa sobre la carta de los oficiales reales de las islas fechada el 22 de julio de 1769. En la carta se plantean las ventajas de establecer un astillero en Cavite para la construcción de naos. Aunque se había fabricado con éxito un navío y tres galeras guardacostas en Pangasinan, en la actual región de Ilocos, su lejanía presentaba problemas de control de calidad y mayor costo. Se mencionan los navíos previamente construidos en las islas para que el gobernador pueda tomar una decisión informada sobre este asunto, aunque aún no se ha determinado ninguna acción inmediata. La madera de Filipinas como el roble autóctono conocido como Molave (Vitex parviflora) mostraba mejores cualidades que los cedros mexicanos de San Blas; y en general, sus maderas[155] fueron superiores a las empleadas en los territorios de ultramar.

A lo largo del siglo XVII, en Filipinas, se empleaba intensivamente la mano de obra local en la construcción naval. A pesar de los discursos diplomáticos que sostenían el uso de trabajo voluntario, en realidad se trataba de un sistema de trabajo forzado denominado "polo", inspirado en el "repartimiento" español (Jacquelard, 2016). Los trabajadores filipinos, asignados a tareas como la tala, transporte de madera y construcción de barcos, se hallaban sometidos a condiciones de trabajo similares a la esclavitud, con jornadas extenuantes y escasa remuneración. Estos abusos eran

[155] Banaba (Lagerstroemia speciosa), Teca (Tectona philippinensis), Lañang (Dimocarpus Longan) y el Mangachapuy (Hopea acuminata Merr), entre otras especies.

denunciados por misioneros[156], pero, a menudo, se pasaban por alto debido a las exigencias del servicio real y a los intereses de funcionarios locales. A pesar de estos desafíos, la construcción naval persistió en Filipinas y resultó crucial para la navegación transpacífica y la colonización. Empero, el costo de estos proyectos aumentó con el tiempo, reflejando las crecientes complejidades y desafíos del mantenimiento de los intereses de ultramar.

Figura 4.5: *Carta Hydrographica y Chorographica de las Yslas Filipinas*[157] (1734) y *Plano del puerto de Cavite* (1753). Fuente: BNE y PARES

Al llegar a Nicaragua, los españoles encontraron lugares ideales para la construcción de barcos, gracias a la abundancia de madera, resina y producción ganadera los cuales ofrecían materiales esenciales. Pronto se estableció un astillero en El Realejo (1534). **Pedro Arias Dávila** (1440-1531), ya como gobernador de Nicaragua[158], informó al rey sobre la importancia de construir barcos en la región para futuras exploraciones. En 1529, **Pedrairas**, comúnmente así nombrado, expresó su deseo de dedicar los barcos que estaba construyendo al servicio real, petición que en 1535 el **rey Carlos I** (1500-1558) autoriza con el fin de proteger el Mar del Sur. El astillero se mantuvo en activo durante el siglo XVII al igual que otros nicaragüenses como Cosigüina y Nicoya, debido al fácil acceso a Nicaragua para todo lo necesario para construir y reparar barcos, la mano de obra, maderas

[156] El jesuita Paul Klein reconoce, a principios del siglo XVIII, que, aun existiendo leyes para proteger a estos trabajadores, no se respetan debido a las exigencias del servicio real u otros intereses.

[157] Realizado por el realizado por el padre jesuita Pedro Murillo Velarde (1696-1753).

[158] Es desposeído del cargo de gobernador y capitán general de Castilla del Oro en 1526, región a la que pertenecía Nicaragua, por sus ansias de poder. Entre sus acciones más despóticas se encuentra la ejecución de dos figuras notables de la exploración española Núñez de Balboa ejecutado en 1519 y Francisco Hernández de Córdoba que corrió la misma suerte en 1526.

adecuadas, brea y la intensa relación comercial con los otros virreinatos. La actividad de este astillero se redujo durante el siglo XVIII, a pesar de las bondades que el gobernador interino de la Provincia de Costa Rica, **Luis Díez Navarro y Albuquerque** (1699-1780), atribuyó a El Realejo. Su ocaso se debió a la burocracia, a las políticas comerciales restrictivas y a la piratería; todo este conflicto deterioró el potencial comercial de su puerto (Esgueva Gómez, 2006). En el ámbito comercial, El Realejo desempeño un papel fundamental en la comunicación con los Virreinatos de Nueva España, principalmente las regiones de Guatemala y México y El Perú con Panamá y el Callao.

Sobre el estado de los Astilleros de América, existe el informe *Noticias secretas de América*[159] confeccionado por el **Marqués de la Ensenada**, a partir de la información de **Jorge Juan** y **Antonio de Ulloa** (Juan & Ulloa, 1826). En este, destaca Guayaquil como uno de los astilleros más prestigiosos del mar del Sur, superando a otros en términos de calidad y abundancia de madera. La densidad de sus bosques, junto con la cercanía al río, ofrecían condiciones óptimas para la construcción, incluso simultánea, de embarcaciones. El transporte no era un factor gravoso debido a la cercanía del río y esteros que se adentran en los bosques, siendo el principal gasto el corte y preparación de la madera. Las especies principales utilizadas en la construcción naval en Guayaquil eran: el guachapeli, el roble amarillo, la maría, el canelo, el mangle, el bálsamo y el laurel. Los autores citados observaron que el roble no era de la misma calidad o fortaleza, pero se podía trabajar y presentaba buena durabilidad.

Con menos relevancia que el resto, pero con mayor antigüedad, el Golfo de Fonseca[160] albergaba el astillero de El Realejo. Este tenía acceso a maderas de gran calidad y a fibras locales para velas y cordaje. No obstante, dependía de la importación para elementos metálicos. Durante el siglo XVIII su actividad disminuyó considerablemente.

[159] El autor se refiere a la edición de don David Barry de 1826; es una obra de dudosa originalidad y probablemente está basada en un manuscrito que copiase total o parcialmente la información recopilada por estos ilustres marinos científicos (Donoso, 1957).

[160] Desde el siglo XIX ha sido fuente de conflicto entre El Salvador, Honduras y Nicaragua.

Tabla 4.1: Astilleros peninsulares relevantes

Astilleros Peninsulares	Construcción	Localización
Astilleros de Falgote	1475	Cantabria
Real Astillero de Guarnizo	1581[161]	Cantabria
Astillero de Pasajes[162]	1597	Guipúzcoa
Real Astillero de Basanoaga	1610[163]	Guipúzcoa
Real Astillero de Zorroza	1615	Vizcaya
Real Arsenal de Mahón	1708	Menorca
Real Fábrica de Navíos[164]	1716	Cataluña
Arsenal de la Carraca	1717-1752	Cádiz
Real Astillero de Santoña	1727	Cantabria
Arsenal de Cartagena	1731-1782	Murcia
El Ferrol[165]	1751-1770	La Coruña

Tabla 4.2: Astilleros de Ultramar relevantes

Astillero Ultramar	Construcción	Localización
Astillero de El Realejo	1534	Puerto natural. Actual Nicaragua[166]
Real Astillero de Cavite	1571[167]	Filipinas
Real Astillero de Guayaquil	1671	Actual Ecuador
Real Astillero de La Habana	1722	Puerto natural. Actual Cuba
Real Astillero de Coatzacoalcos	1731	México (Atlántico)
Astillero de San Blas	1768	México (Pacífico)

Durante el primer tercio del siglo XVIII, se evidenciaron cambios significativos en el modelo naval español. Estos cambios fueron influenciados por factores externos, como la necesidad de fortalecer la capacidad naval de España frente a las amenazas inglesas e internas derivadas del cambio dinástico anteriormente

[161] El Real Astillero de Guarnizo tiene un origen anterior, pero se tomará esa fecha debido al impulso de Cristóbal de Barros.

[162] Hablar de Astilleros de Pasajes es una imprecisión que engloba al menos 11 astilleros en este puerto. La fecha empleada corresponde al Real Astillero de Bordalaborda. Existiendo también el Real Astillero del Barrio Vizcaya, y otro número de astilleros públicos y privados menores. Más información en: *La construcción naval en Gipuzkoa. Siglos XVI-XVIII.* Lourdes Odriozola Oyarbide. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

[163] Fecha exacta desconocida, se discute su origen en final de siglo XVI, pero la primera documentación data de la primera década del siguiente siglo.

[164] Construida en Sant Feliu de Guíxols y cerrada en 1724.

[165] Se omite la corta existencia del Astillero de la Graña sustituido por una localización más conveniente en la ribera oriental del monte del Esteiro.

[166] Antigua Provincia de Nicaragua creada en 1527, posteriormente incluida en la Capitanía General de Guatemala (1542-1821). El realejo es fundado por Pedro de Alvarado en 1534.

[167] El año empleado es el de la conquista de Manila, aunque el puerto data de asentamientos prehispánicos.

expuesto. El modelo naval francés adoptado, que posteriormente mostró sus bondades, tuvo una resistencia interna no hacia el sistema de manera conceptual, sino a su puesta en práctica, debido al control francés sobre la política española que ello significaba, especialmente durante los primeros quince años del siglo. La Habana, como principal astillero del Caribe, desempeñó un papel esencial en este proceso de cambio. A pesar de estar alejada de la Península y de las tensiones políticas entre España y Francia, la isla mantuvo su identidad española (Serrano Alvarez, 2011). Fue en La Habana donde primero se implementó un sistema de construcción supervisado por comisarios de marina e intendentes, aunque estas figuras aún no estaban formalmente establecidas. La estrategia principal consistía en revolucionar la política naval para fortalecer la Armada, independientemente de las disputas internas. Gracias a su ubicación geográfica, a su financiamiento cercano, una oligarquía poderosa y una administración militar estructurada, La Habana se convirtió en un ejemplo de éxito y reflejó la adopción del modelo francés en un contexto español. La Habana se beneficiaba de una localización estratégica en la ruta de Indias, que junto a su amplia bahía y abundancia de maderas, le permitieron convertirse en un prominente centro de construcción naval desde el siglo XVI. Con la renovación de la Marina Española a comienzos de siglo XVIII, tras una evaluación del secretario del Consejo de Indias, **Bernardo Tinajero de la Escalera** (XVII-1718), se decide impulsar la construcción naval hispanoamericana con el establecimiento de la Habana como el principal astillero para la Armada en el Caribe (Figura 4.6). Esto resulta en las obras de un renovado astillero en 1722, que dos años más tarde produce su primer navío, el **San Juan Bautista** (1724) de 50 cañones. Durante este periodo, destaca el constructor habanero **Juan de Acosta** (XVII-1749), quien se benefició de contratos ventajosos (Martínez Shaw & Alfonso Mola, 2015). A pesar de que la introducción de nuevas tecnologías como la sierra hidráulica y la torre de arboladura supusieron un salto cualitativo en las capacidades del arsenal, este experimentó un declive temporal en su actividad constructiva, centrada en embarcaciones menores, que pudo ser por reorganizaciones administrativas y tuvo lugar durante el relevo de **Ensenada** por **Julián de Arriaga**, el cuál continuó con la renovación naval. En la década siguiente, la plaza es brevemente ocupada por los ingleses (1762-1763) y siete años más tarde se bota el **Santísima Trinidad** (1769).

El declive del arsenal de la Habana fue fruto de múltiples factores externos que incluyeron: la invasión napoleónica, el comienzo de la independencia de los

territorios americanos y el ocaso de la Marina Española, dando fin al que seguramente fuese el arsenal más importante de su tiempo.

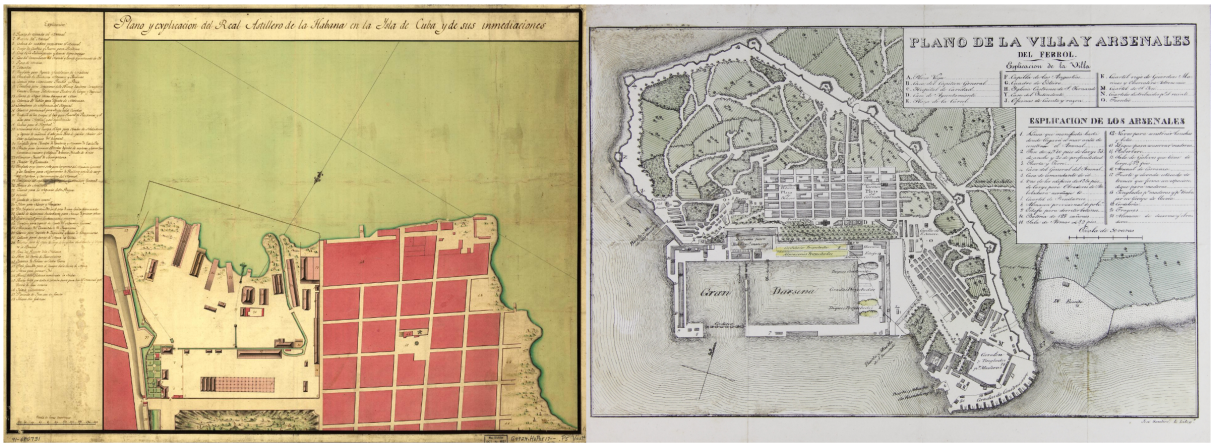


Figura 4.6: Plano Real Astillero de la Habana en la Isla de Cuba y Plano de la villa y arsenales del Ferrol. Fuente: US Library of Congress y Biblioteca de Galicia

El Real Astillero de Zorroza se establece sobre una zona con una tradición marinera, Abando en Bilbao, gracias a una geografía favorable, acceso a madera de calidad y cómodo transporte que se remonta al siglo XV, cuyos barcos habían sido sometidos a los comunes embargos de la Corona con la consecuente reducción de la demanda privada. La consideración Real le confiere a este astillero una posterior relevancia en la Carrera de Indias gracias a la infraestructura permanente que se extiende hasta la ocupación francesa[168] en 1795. También favorecido por la carrera de Indias fue el Real Astillero de Basanoaga, ubicado al sur del puerto Pasajes en Rentería, deviene en un prominente centro de construcción naval durante los siglos XVII y XVIII. Este astillero disfruta de su apogeo en la segunda mitad del siglo XVII gracias a la Corona y al comercio indiano; la política naval borbónica es la que fomenta el cese de actividad, en gran parte causado por la inauguración de los Reales Arsenales en otras localidades[169].

El Real Astillero de Guarnizo, situado en Cantabria, tuvo una sobresaliente historia en la construcción naval que se remonta al siglo XVI. El astillero de Guarnizo se distinguía no solo por su ubicación óptima, con fácil acceso a recursos forestales al igual que a Reales Fábricas de Artillería de Liérganes y La Cavada, sino también por su infraestructura avanzada. Por ello, tuvo un protagonismo significativo en la reactivación de la Marina borbónica y desempeñó un papel

[168] Con la ocupación francesa en 1795, se pierden los recursos y los barcos en construcción. Posteriormente, las instalaciones cayeron en decadencia y, con ello, su consideración real. Antes de esta ocupación era un centro crítico para el Servicio de la Renta de Correos.

[169] El Ferrol, Santoña, Cádiz y Cartagena entre otros.

fundamental en los planes de **Ensenada**[170], cuyo declive se gesta en el último tercio del siglo XVIII. Por influencia del **Marqués de la Ensenada**, el Guarnizo se inclinaría hacia prácticas y sistemas constructivos influenciados por Inglaterra, que para algunas construcciones, requería de mayor cantidad de madera[171]. La menor actividad de este Real Astillero, ajena a las demandas de la Armada real, la fuerza a atender encargos de particulares. Esa demanda de la Corona es suplida por otros astilleros como el de El Ferrol, el cual a pesar de carecer de la modernización de Guarnizo, cuenta con el favor institucional, derivado de un clientelismo y una tensión política (Maruri Villanueva, 2001).

Con la entronización de la dinastía de los Borbones en España en el siglo XVIII, surgió un renovado interés por fortalecer la armada nacional para competir con potencias como Inglaterra. Ferrol, un anteriormente discreto pueblo pesquero de Galicia, se convirtió en el foco de este ambicioso proyecto gracias a su puerto estratégicamente valioso, con una ría profunda y bien protegida. Pese que el puerto de Ferrol siempre había tenido un reconocimiento táctico, con el plan de **Felipe V** para revitalizar la Marina Española, 1724 marca la fecha de comienzo de la ola ilustrada que convierte a esta villa en un núcleo industrial y militar.

El ambicioso proyecto del arsenal ferrolano durante el reinado de **Fernando VI** se apoyó significativamente en figuras como el **Marqués de la Ensenada** y destacados ingenieros y marinos como **Cosme Álvarez** y **Jorge Juan Santacilia**. Este incluyó la adquisición de conocimientos extranjeros con la incorporación de ingenieros ingleses aprovechando el escenario de concordia derivado de la *Paz de Aquisgrán* (1748), como fue la incorporación de **Richard Rooth** a este astillero en 1749 y, posteriormente, **William Turner** (c.1720-1799) quien termina sus días en La Habana. Este esfuerzo de incorporación de conocimiento y prácticas junto con la construcción de las gradas de Esteiro, impulsado por **Cosme Álvarez**, da comienzo a la modernización del astillero convirtiéndolo en un centro de vanguardia (Figura 4.6). Entre 1750 y 1770, Ferrol vio un desarrollo sin precedentes, culminando en una ciudad y puerto que ejemplificaban la visión naval y defensiva del siglo XVIII.

La industria de la construcción naval ha estado arraigada en la vanguardia tecnológica, amalgamando diversas especialidades industriales, entre ellas la

[170] Con la colaboración de figuras como Jorge Juan y Juan Fernández de Isla (1709-1788). Su declive coincide con la retirada del favor real del Marqués de Ensenada.

[171] A eso hubo que sumar el mayor uso de madera por algunos asentistas para el uso privado, así Fernández de Isla el cual es acusado de un uso de esa madera para sus actividades no relacionadas con el astillero al igual que el uso de madera de calidad inferior. Ver: Biblioteca Municipal Menéndez Pelayo, *Fondos Modernos*.

carpintería, la confección de jarcias y velas, y la fabricación de componentes de hierro, cobre y plomo. La producción de materiales impermeabilizantes, como la brea, también ha sido fundamental. Mientras que entre los siglos XVI y XVIII, los métodos de construcción naval, asiduamente, se basaban más en las tradiciones y la pericia de los maestros constructores que en un conocimiento técnico "científico", se evidenció un conservadurismo palpable en las técnicas utilizadas en la costa del Mar del Sur, en contraste con los avances que se estaban produciendo en Europa (León Sáenz, 2009).

Los astilleros de la época variaban en complejidad y permanencia, con algunos, como los de La Habana, Guayaquil y El Realejo, poseedores de infraestructuras más robustas y estables. El Real Arsenal de La Habana se distingue como una entidad industrial destacada, impulsada por la financiación de la Corona Española y equipada con maquinarias avanzadas, como aserraderos hidráulicos y grúas para la instalación de mástiles, personificando una de las expresiones más avanzadas de la industria en el siglo XVIII. Contrariamente, en lugares como Guayaquil y El Realejo, los astilleros podían reubicarse para adaptarse a las necesidades y recursos disponibles.

Las actividades de los astilleros no se limitaban a la construcción de naves, sino que también incluían la reparación y el calafateo, operaciones esenciales que demandaban lugares adecuados para carenar los buques y que, en algunos casos, eran igual de importantes que la construcción de nuevos barcos. Los materiales eran de igual modo cruciales para este proceso. La madera, de variadas especies como cedro y roble, solía ser fuente local y era esencial para fabricar desde el casco hasta los mástiles, mientras que los metales como el hierro, el cobre y el plomo se utilizaban en elementos desde las anclas hasta los revestimientos de cascos y, aunque, a menudo, se importaban de lugares como España, también se aprovechaban los recursos regionales cuando estaban disponibles.

El papel cardinal del Istmo de Tehuantepec en la construcción naval y la economía de la Nueva España durante el periodo colonial entrelaza los mundos de exploración y comercio, afectando tanto la economía local como a las interacciones transatlánticas. Desde los tiempos de **Hernán Cortés** (1485-1547), cuando algunos exploradores fueron enviados para descubrir el Mar del Sur, el Istmo fue identificado por su potencial estratégico y riqueza en recursos, principalmente madereros, fundamentales para la construcción naval. Tehuantepec, en particular, y su rica selva de Chimalapa, se convirtieron en un foco para la creación de navíos

bajo la supervisión de **Francisco Maldonado** desde 1526, facilitada por la disponibilidad de madera y la conectividad proporcionada por el río Coatzacoalcos.

En el contexto de la construcción naval, la intrincada relación entre la riqueza maderera del Istmo y los procesos de edificación de buques establece una narrativa cohesiva al lado del desarrollo y la demanda de otros materiales como la jarcia, la brea y el alquitrán, que eran igualmente primordiales para la industria. Mientras la selva proveía la materia prima esencial para cascos y mástiles, fibras locales como el henequén[172] eran transformadas en jarcia y sustancias como la brea y el alquitrán, se utilizaban para impermeabilizar las embarcaciones, así ejemplificaban cómo las operaciones navales y la construcción de buques estimulaban no solo la utilización sino también la innovación en torno a los materiales disponibles.

El conflicto y la colaboración teñían la historia de la construcción naval en la región, desde las luchas para establecer astilleros estables y eficientes, como se vio en el intento fallido de Coatzacoalcos en el siglo XVIII, hasta la administración y la explotación de la mano de obra. Esta última frecuentemente, se encontraba en el centro de los conflictos: los trabajadores locales, conocedores de la labor maderera, a veces huían tras recibir pagos adelantados, y los trabajadores traídos de otras regiones, por medio de repartimientos, generaban tensiones y resentimientos locales.

Esta fusión de historia industrial y socioeconómica en la región pone de relieve la complejidad de la construcción naval en la Nueva España, donde la demanda de materiales, conocimientos y tecnologías, como podían ser las bombas de achique estimularon tanto el progreso como los conflictos en el contexto de una economía colonial en desarrollo. La construcción naval, por lo tanto, se suscribe a una industria que no sólo construyó barcos, sino que también modeló la dinámica económica, tecnológica y social en el Nuevo Mundo.

El intento de Inglaterra por romper el monopolio comercial español debilitó claramente las relaciones comerciales y la primacía de los puertos. Esto afectó también a aquellos que también albergaban astilleros y arsenales. El Caribe fue escenario de estas operaciones encubiertas inglesas con su fomento de la piratería, al igual que acciones abiertas con la marina de guerra, la cual no vino sin numerosos fracasos como el de Cartagena de Indias (1741).

[172] *Agave fourcroydes*.

4.6. Plan de crecimiento naval, tecnología y recursos

Como se ha desarrollado en este capítulo, la primera mitad del siglo XVIII fue un período de cambios fundamentales en España, caracterizado por una transformación política y administrativa significativa, un renacimiento en la construcción naval, y un enfoque renovado en la centralización del estado y la importancia del comercio y la marina en la consolidación del poder nacional. Este mayor crecimiento de la Marina exige un mayor uso de los recursos, que fomentará esfuerzo de racionalización y producción de los montes, y un avance de la técnica de la construcción naval. En 1743, **Zenón de Somodevilla**, marqués de la Ensenada, asume, entre otros cargos, el papel de secretario de Marina, y presenta en 1747 un plan para construir 50 navíos en un plazo de ocho años. En 1748, envía a dos expertos a Inglaterra con el propósito de aprender las técnicas de construcción naval británicas y atraer a técnicos competentes.

> "¿acaso el ramo de construccion estará mas asegurado en las ordenanzas que en el interés de los propietarios?"[173]

5. Los montes de Marina e Influencia extranjera: 1748-1794

Durante el siglo XVIII, Europa vivió una preocupación creciente causada por el agotamiento de los bosques. Específicamente, Inglaterra, debido a la deforestación local, dependía en gran medida de sus colonias en América del Norte para garantizar su suministro de madera; cuyo uso de los robles locales había sido un factor diferenciador respecto a sus cercanos holandeses. De manera similar, en España, si bien hubo un optimismo inicial respecto a sus reservas forestales, no tardaron en surgir informes de deforestación. Dicha deforestación resultó de una combinación de factores: entre otras, la carencia de regulaciones de conservación efectivas, el pastoreo y la demanda de madera para combustible.

La deforestación y la creciente demanda de madera, no solo para la construcción naval sino también destinada a la edificación y producción de papel, derivaron en una escasez significativa del recurso. Este fenómeno, conocido en Inglaterra como *timber problem*, enfatizaba el impacto de esta exigüidad en su capacidad naval. Como consecuencia de esta merma de recursos forestales, en la segunda mitad del siglo XVIII, España experimentó dificultades en el suministro de madera para la construcción naval. Esta escasez condujo a innovaciones en el diseño y en el mantenimiento de la flota y en las regulaciones, las cuales, dada a su naturaleza despótica sufrieron un rechazo por parte de la población rural y de personalidades ilustradas. Las críticas apuntaban a su rigidez y arbitrariedad así como a la severidad de su implantación. El mundo rural miraba al monte para cumplir sus necesidades básicas, mientras que el estado lo entendía como un recurso crítico para el desarrollo del poder naval presente y futuro del reino.

Además, la situación política y militar de la época evidenciaba la necesidad de una armada fuerte. En 1750, se produjo un intercambio entre expertos con la llegada de técnicos ingleses a España, asignados principalmente a arsenales y astilleros españoles. **Ensenada**, un prominente defensor de esta causa, pugnaba por una marina robusta y autónoma, comparable con potencias como Inglaterra. A pesar

[173] Extracto del capítulo IV del *Informe sobre la Ley Agraria* (1820) por Gaspar Melchor de Jovellanos. En ella indica la escasez de madera y leña en algunas provincias que podría revertirse con la revocación de las medidas proteccionistas impuestas. Aboga por el interés particular para el desarrollo económico y el cuidado de los bosques.

de establecerse una Junta de Constructores en Madrid en 1752 bajo el mando de **Jorge Juan**, la destitución del **Marqués de la Ensenada** en 1754 disminuyó su influencia sobre la Marina y sobre la gestión de los bosques cuyo control devino menos severo.

El siglo XVIII también fue testigo de tensiones entre España y Gran Bretaña. La guerra del Asiento y el Tratado de Aquisgrán en 1748 mostraron las debilidades militares de España. Ensenada impulsó un proyecto de reforma del Estado y rearme naval, pero enfrentó obstáculos internos, como las intrigas del embajador británico **Benjamin Keene** (1697-1757) y la posterior influencia pacifista de **Ricardo Wall y Devreux** (1694-1777), lo que llevó a la paralización de los esfuerzos de rearme naval de Ensenada. En este contexto, la administración de **Julián de Arriaga**[174] (1700-1776) en las colonias americanas jugó un papel crucial. **Arriaga** promovió una política de neutralidad pasiva y fortaleció la Armada, esforzándose por proteger las colonias americanas (Baudot Monroy, 2018). Con la llegada al trono de **Carlos III** en diciembre de 1759, la política previa de estricta neutralidad, impuesta por el rey y el secretario de Estado, que limitaba el uso de la flota a un rol disuasorio es revertida y se retorna a una postura decididamente anti-inglesa. **Carlos III** no solo continuó con la política de fortalecimiento naval iniciada por sus predecesores sino que la intensificó, ordenando un aumento considerable en la construcción de barcos y apoyando a **Arriaga** en el reforzamiento y mantenimiento de la flota existente, a pesar de las dificultades económicas y las tensiones geopolíticas de la época.

Las relaciones diplomáticas jugaron un papel crucial. Los pactos de familia, firmados en 1733, 1743 y 1761, fortalecieron la alianza entre España y Francia contra un enemigo común: Inglaterra. Además, trajeron consigo una estandarización en técnicas y diseños navales en España, con innovaciones lideradas por figuras como **Francisco Gautier**. Estos tratados resultaron en un equilibrio numérico favorable frente a la armada inglesa y permitieron colaboraciones como el apoyo franco-español en la guerra de Independencia de los Estados Unidos, resultando en recuperaciones territoriales significativas[175]. En la independencia americana, aunque inicialmente no fuese una alianza abierta, se proporcionó ayuda en forma de suministros, tropas y fondos; con una figura destacada, **Bernardo de Gálvez** (1746-1786), cuyos éxitos en Pensacola y el Golfo de México fueron fundamentales para cambiar el curso de la guerra. La estrategia

[174] Julián Manuel de Arriaga Rivera de San Martín y duque de Estrada.
[175] Entre las que se encuentran Florida y la isla de Menorca.

naval de España, principalmente sus acciones en el Caribe y el Atlántico fue fundamental para contener el poder británico.

La fabricación de barcos de guerra reflejaba significativamente el nivel de desarrollo industrial y tecnológico de una nación. La existencia de arsenales y astilleros avanzados, sumada a la habilidad de ingenieros, expertos y carpinteros navales, resultaba esencial para preservar y gestionar las rutas marítimas, así como para protegerse de agresiones externas. Requería entre dos a tres mil árboles, lo que indica la enorme demanda de recursos naturales para la construcción naval. Con la madera volviéndose cada vez más escasa y costosa, los astilleros exploraron alternativas. Se comenzó a utilizar maderas menos resistentes pero más accesibles, como el pino y el abeto, aunque esto comprometía la durabilidad de las embarcaciones. El uso del abeto, una madera inferior, a menudo resultaba peligrosa porque sus astillas eran mortales, en ocasiones más letales que las balas de cañón enemigas. A su vez, surgieron cambios en el diseño naval tanto el uso más habitual de materiales como el hierro y se optó por diseños de barcos más esbeltos y alargados, que demandaban menos madera. Este escenario propició una evolución hacia métodos de construcción más precisos y eficientes, maximizando la utilización del recurso maderero disponible.

5.1. Red de abastecimiento y pertrechos navales

A lo largo del siglo XVIII, España, bajo la dinastía borbónica, emprendió estrategias clave para asegurar suministros navales, enfocándose en la recuperación del dominio naval hispano y en contrarrestar la hegemonía británica en los mares. Esta época representó un periodo crucial para potencias como Gran Bretaña, Francia y España, todas inmersas en una feroz competencia por el control marítimo a nivel mundial. Para ello se requirió una compleja red comercial que conectó diversas regiones de Europa y América, beneficiando tanto a la Corona Española como a los comerciantes. Esta materia prima fue extraída no solo de territorios ibéricos, sino también de las colonias americanas y regiones europeas del Norte, facilitando la conectividad y movilidad de recursos a nivel global. El objetivo era asegurar un suministro constante de materias primas del Báltico y de las Indias.

Siguiendo el análisis de **Rafael Reichert**, se puede caracterizar el sistema de suministros de España en este siglo en tres fases: un periodo inicial de mínima importación de maderas (1701-1739); seguido por una etapa de crecimiento

constante (1740-1776), reflejada en contratos con asentistas novohispanos y en el comercio con el Báltico; y, finalmente, una fase de apogeo en los suministros madereros (1777-1795), impulsada por la carrera armamentista entre las guerras de Independencia de EE.UU y las Revoluciones. En el periodo que comprende los mandatos de **Julián de Arriaga**, **Pedro González Castejón** y **Antonio Valdés** en la secretaría de Marina, hubo registro de 479 embarcaciones con cargamento de madera destinada a la construcción naval, representando el 88,4% del total enviado desde el Báltico sur a España en ese siglo (Reichert, 2019). Nueva España, en el actual México, desempeñó un papel fundamental en el suministro de madera para el Imperio español, destacándose por contratos significativos como el de 1742 entre la Real Hacienda y el capitán **Andrés Berdeja**. Las operaciones de tala se adaptaron y evolucionaron a lo largo de las décadas, a pesar de algunas críticas sobre la calidad de la madera. Entre 1787 y 1789, la región de Veracruz fue un centro neurálgico para la extracción y transporte de madera, especialmente cedro, para cumplir con los requerimientos de los departamentos navales españoles. A pesar de enfrentar desafíos como problemas de transporte y deterioro de la madera, la mayoría de las remisiones llegó a su destino. En la importación en el Báltico, con Königsberg y Pillau, Memel emergió como un punto crucial en la Prusia oriental, almacenando materias primas forestales provenientes de regiones como Polonia, Bielorrusia y Lituania. Aun así, Memel se convirtió en el puerto de referencia para la categoría de madera inferior en el abastecimiento inglés, el abeto (Åström, 1970).

Los contratos de aprovisionamiento, asientos, en la Península se realizaban tanto a nivel personal, como el otorgado a **Juan Bautista de Echeverría** en 1726 para el suministro de maderas, brea, alquitrán y otros pertrechos desde Guipúzcoa y Navarra, como a sociedades, el contrato concedido a la Real Compañía Guipuzcoana de Caracas en 1783 para el suministro de maderas y arboladuras desde los montes de Guipúzcoa (Aragón Ruano, 2019).

5.1.1. Comercio

La construcción naval europea se basó en el tráfico comercial entre naciones y territorios ultramarinos, lo que llevó a flotas más preparadas y modernas (Lorenzo de Membiela, 2019). En el siglo XVIII, España reformó su sistema de flotas que unían la metrópoli con sus territorios americanos, debido a desafíos internos y a la competencia con potencias europeas. Las reformas borbónicas, incluyendo el Proyecto de 1720 y regulaciones posteriores como las de 1725 y la Real Cédula de 1735, buscaban mejorar la eficiencia y regularidad de las flotas, pero tuvieron un

éxito limitado. La verdadera transformación se vislumbró con la gradual substitución del sistema de flotas y galeones por el régimen de navíos sueltos, que prometía y logró ofrecer mayor flexibilidad y efectividad al tráfico marítimo. Este cambio se desplegó en tres etapas clave entre 1717 y 1778[176], evolucionando desde un reconocimiento inicial con tráfico limitado, pasando por una sustitución casi completa durante las guerras europeas, hasta la instauración definitiva del nuevo sistema, que se validó con la experiencia y los beneficios palpables que aportó tanto al comercio como a los ingresos del Estado. En este contexto emerge la figura de **José de Gálvez y Gallardo** (1720-1787) que desempeñó un papel crucial en las reformas borbónicas en Nueva España como el *Reglamento de Libre Comercio* de 12 de octubre de 1778. Estas reformas tenían como objetivo fortalecer el control de la corona sobre sus colonias y mejorar la administración y eficiencia del Imperio. Es crucial entender las reformas españolas del siglo XVIII en el comercio y las relaciones transatlánticas en un contexto más amplio. Cambios significativos como la transferencia de la Casa de la Contratación de Sevilla a Cádiz en 1717, la creación de compañías de comercio y la apertura a un régimen de libre comercio en 1765, se alinearon con una política dirigida a adaptarse a las realidades internas de las colonias y a las tensiones geopolíticas internacionales de la época.

5.1.2. La madera en los pertrechos navales

El siglo XVIII fue una época dorada para la construcción naval militar, lo que resultó en una armada bien equipada. Las poleas y motones eran componentes esenciales para la navegación a vela debido a la necesidad de fuerza humana en las maniobras. Los navíos empleaban una gran cantidad de motones para diversas tareas. Estos se componían de una caja de madera con una roldana giratoria en su interior, utilizados para la maniobra y el mantenimiento de los barcos.

Las maderas para los motones provenían de diferentes regiones y para su construcción se utilizaban el roble, el nogal, el fresno y otras maderas. También, la caoba y el guayacán de América eran apreciadas para estas críticas piezas. Con el tiempo, el álamo negro se convirtió en una opción popular debido a su disponibilidad y resultados satisfactorios. En 1756, se experimentó con maderas como la ácana y el zapote desde La Habana para diversificar las opciones y centralizar el abastecimiento (Quintero González, 2004).

[176] Desde el Proyecto de 1720 hasta el Reglamento de aranceles de 1778.

5.1.3. Holanda: Centralización logística y VOC

La búsqueda de la estandarización de los buques fue palpable en el VOC, del que se hablará más adelante. Durante los siglos XVII y XVIII, Holanda se convirtió en uno de los principales centros de construcción naval del mundo debido a su ubicación geográfica privilegiada y a un desmedido interés mercantil. El astillero más grande de la VOC era *Oostenburg* en Ámsterdam, donde entre 1660 y 1799 se produjeron alrededor de 500 barcos mercantes de un total de 728 barcos para la cámara VOC de Ámsterdam. *Oostenburg* constaba de tres islas: una con un almacén para guardar bienes importados de Asia y materiales para los barcos, otra con talleres para producir partes de barcos y una tercera con un astillero, tres diques secos y talleres adicionales. Durante la década de 1750, *Oostenburg* empleó a 1100 trabajadores y a 180 supervisores y personal administrativo. La organización era amplia y compleja, con una estructura piramidal con tres controladores financieros en la cima y una base diversamente estructurada con quince unidades de producción artesanal. A nivel operativo, el astillero funcionaba como un sistema de unidades independientes y especializadas. La organización se describe como "casi moderna" por su eficiente ensamblaje estandarizado de productos en madera, a diferencia de la burocracia jerárquica de los Heeren XVII.

El astillero *Oostenburg* no solo se considera un sitio de producción, sino también como un punto de encuentro para cientos de líneas de suministro. Materiales y bienes eran transportados, adquiridos y transformados en barcos mercantes completos. Se compraba roble para estructuras del barco en Deventer, proveniente de Münster y se utilizaba madera de pino en mástiles y cubiertas y abeto para áreas más económicas. Los barriles de roble se fabricaban en el área de *Zaan*. Los clavos de hierro venían de Lieja o se hacían localmente con hierro español o sueco. Los anclajes eran una aleación de hierro español y sueco. Las cuerdas se fabricaban de cáñamo holandés y las velas de lona holandesa o francesa. El alquitrán, destinado a tratar partes del casco, se importaba de Rusia. La resina de Francia, mezclada con azufre de Sicilia, se convertía en un revestimiento contra el gusano de barco. En este contexto, los astilleros de la VOC y, específicamente, *Oostenburg* eran el núcleo de una compleja red logística y tecnológica internacional, que actuaba como un centro de acumulación.

Este aprovisionamiento variado fue también propio de Inglaterra, tanto de la madera para cascos y arboladura, que provenía del Báltico y Noruega. Materiales como el alquitrán y la brea, fundamentales para la impermeabilización, eran

importados principalmente de Suecia y Finlandia, con América emergiendo como un proveedor significativo. El cáñamo, vital para la fabricación de cuerdas, se importaba de Rusia, Polonia y Alemania, siendo el ruso preferido por su mayor calidad. La pólvora requería salitre, principalmente de la India, y azufre de Italia, mientras que la madera para el carbón provenía de los bosques ingleses. Para los metales, con el hierro siendo esencial para los accesorios de los barcos, se importaba principalmente de Suecia, y el cobre, usado para revestir los fondos de los barcos, se producía localmente.

5.1.4. La introducción del cobre y del latón

Como se ha introducido en el capítulo anterior, en el primer tercio del siglo XVIII aparece el temido teredo, un molusco perforador, que dañaba constantemente las maderas de roble de los barcos, llevándolos a la putrefacción. Para combatir esto, el Almirantazgo británico revistió de manera experimental la fragata **HMS Alarm** (1758) con cobre en 1761. La solución no solo protegía contra el teredo, sino que también mantenía a raya otros organismos marinos, mejorando así la velocidad del barco. El éxito fue tal que muchos barcos de la flota, como el buque insignia **HMS Victory** (1765), adoptaron fondos de cobre. Esta práctica se popularizó especialmente entre barcos que navegaban en aguas tropicales. Sin embargo, en 1832[177], **George Fredrick Muntz** (1794-1857) introdujo un latón más económico con un 60% de cobre y un 40% de zinc, llamado metal Muntz, que sustituyó rápidamente al cobre en el revestimiento de barcos y en muelles. Aunque los buques de hierro, que surgieron años después, cambiaron la dinámica, el metal Muntz continuó siendo popular para embarcaciones más pequeñas.

En la actualidad, el latón naval es una aleación específicamente diseñada con un 59% de cobre, un 40% de zinc y un 1% de estaño, además de trazas de plomo. Pertenece a la categoría de los latones alfa beta y es más duro y resistente que otros tipos de latón. El estaño se añade para potenciar su resistencia a la corrosión, mientras que el plomo mejora la maquinabilidad del material. Además, el estaño previene la desgalvanización, proceso corrosivo que elimina uno de los componentes de una aleación. Esta problemática fue particularmente notoria en los tubos de latón de los condensadores de barcos alrededor de 1920, momento en el que se le llamaba "condenseritis". Desde entonces, se crearon varias aleaciones, como el latón naval, para contrarrestar este efecto. Pese a que fue concebido para

[177] Año de la patente.

aplicaciones navales, con la agresividad del ambiente marino en mente, su resistencia a la tracción y al desgaste lo ha hecho popular en otras áreas. Es comúnmente utilizado en casquillos, bandas de desgaste, tornillería y vástagos de válvulas.

5.2. Ordenanza de Montes de Marina

Bajo una notable influencia francesa, durante el siglo XVIII y en el marco de la administración forestal, se presenta la *Ordenanza para la conservación y aumento de los montes de Marina en las provincias y distritos que se expresan* (1748). Promovida por el **Marqués de la Ensenada** con la intención de otorgar a la Marina el control sobre los bosques esenciales para la flota naval y su administración e inspirada en la legislación francesa[178], dicha ordenanza priorizaba las necesidades del Estado y de la Marina frente a otros intereses de los súbditos; así mismo esta ordenanza restringía la exportación de maderas, subrayando una vez más el valor esencial de este recurso. La ordenanza que nos ocupa generó polémica y originó conflictos, pues, al ser promulgada, no fue bien recibida, especialmente por los campesinos, quienes sintieron que afectaba a sus intereses. Estableció una jerarquía territorial en los bosques y fortaleció el poder de la monarquía borbónica. (Aragon Ruano, Reichert, & Wing, 2019). La gestión forestal estuvo bajo el control de la Marina durante varios años, aunque enfrentó resistencia de figuras ilustres como **Gaspar Melchor de Jovellanos** (1744-1811), evidente en su *Informe sobre la Ley Agraria* (1794). En cuanto a la madera, era incuestionable su importancia estratégica en esa época dados sus múltiples usos. **Jovellanos** reconoció los esfuerzos del gobierno por aumentar la masa forestal, pero criticó su intervencionismo, puesto que, en su opinión, restringía la iniciativa individual, la cual era la verdadera impulsora de la conservación y expansión de los bosques. Para **Jovellanos**, la solución consistía en confiar en la libre competencia y en la propensión natural de los montes a regenerarse. Proponía eliminar ciertos privilegios y permitir la libertad de explotación y comercio de madera con miras a facilitar la recuperación de los bosques; esgrimía como argumentos que estarían mejor cuidados si fueran propiedad privada y si su aprovechamiento fuera exclusivo. Este argumento resulta equivocado, al no contar con la inmediatez del interés individual frente a los planes a largo plazo del estado. Además de la madera, **Jovellanos** señala la gran abundancia de carbón mineral en Asturias, el

[178] *Ordonnance de Louis XIV, roi de France et de Navarre, sur le fait des Eaux et Forêts* (1669).

cual no atraía la inversión capitalista dada esa abundancia, pero anticipó que su valor aumentaría con la disminución de la madera y la mayor demanda de carbón.

A la ordenanza anterior, se le suma el mismo año la *Ordenanza para el aumento y conservación de montes y plantíos*; fechada el 7 de diciembre, afectaba, a nivel nacional, al uso tradicional de los bosques por parte de particulares. En ambas ordenanzas el texto es más limitado que la ordenanza francesa: la impulsada por **Colbert** es un detallado código forestal que comprende un preámbulo, 32 títulos y 500 artículos. Los capítulos, equivalentes a los artículos franceses, suman un total de 118, con 79 capítulos en la de Marina y la de diciembre consiste en 39. Mientras que la francesa si es un código forestal, la norma española debe esperar hasta la revisión de 1803, con la *Real Ordenanza para el gobierno de los montes y arbolados de la jurisdicción de Marina*, para tener una complejidad comparable (Casals Costa, 2005).

Estas ordenanzas de carácter absolutista resultaron impopulares, puesto que establecían un control estatal sobre los recursos naturales, lo que derivó en reformas más moderadas. La iniciativa privada fue visible en la concienciación del estado forestal y procedía de la mano de las Sociedades Patrióticas; estas impulsaron el conocimiento sobre la deforestación y promovieron plantaciones.

A lo largo de la centuria del XVIII, España experimentó una renovación silvícola influenciada principalmente por autores franceses, entre los que destaca **Henri-Louis Duhamel du Monceau**, un referente del Siglo de las Luces. **Duhamel**, inicialmente colaborador del **conde de Buffon**, fue reconocido por sus contribuciones a la construcción naval y a la silvicultura. Sus obras, profusamente traducidas, se erigieron en pilares para los estudios agronómicos y forestales en el país. A pesar de estas influencias teóricas extranjeras y de una valiosa tradición nacional, la implementación efectiva de las prácticas silvícolas distaba de ser una realidad en la España borbónica.

El deterioro forestal se evidenciaba, entre otros factores, en la escalada de precios de los productos forestales, especialmente en regiones como Cataluña. Las causas de este decaimiento se entrelazan con diversas actividades humanas: roturaciones, explotaciones para la Marina, usos tradicionales y utilización de madera como combustible. Ante este escenario, las políticas y regulaciones no solo se mostraron ineficaces, sino que, en algunas ocasiones, agudizaron el problema. Figuras ilustradas, tales como **Jovellanos**, propusieron la privatización y liberalización del uso forestal como antídoto a las leyes que consideraban contraproducentes. Otras

personalidades de la época, como **Pedro Rodríguez de Campomanes y Pérez** (1723-1802), también identificaron la deforestación como un problema del que culpaban a la ignorancia y a las leyes opresivas. Se creía que la solución pasaba por la educación de los agricultores y la apropiación privada de los montes.

En la esfera naval, se apreciaba un interés concreto respecto a la conservación y explotación de montes. **José Patiño** y **Juan José Navarro de Viana** iluminaron la importancia intrínseca de los recursos forestales en la construcción naval, lo que promovió el desarrollo de técnicas y estudios asociados no solamente a los árboles, sino también a recursos complementarios, como el cáñamo y los hornos de alquitrán. Mientras **Patiño** impulsó la explotación y cuidado de los montes, **Navarro de Viana** aprovechó su *Diccionario demostrativo*, para resaltar la importancia de los montes en la arquitectura naval y propuso técnicas avanzadas, como modelar árboles desde jóvenes para lograr la forma adecuada para la construcción de barcos. Mapas detallados, que registraban ubicaciones y características de montes cruciales para la Marina, se convierten en testimonio de esta necesidad estratégica.

Paralelamente, la solución a la degradación forestal trató de ser abordada desde diversas perspectivas, como la privatización propuesta por **Martín Fernández Navarrete** o la creación de organismos locales de gestión propuestos por **Joaquín de la Croix Vidal**. **Juan Bautista Galobardas**, por su parte, llevó el discurso más allá de una mera discusión sobre recursos y, en su compendio, introdujo la perspectiva del bosque como garantía del equilibrio natural, la cual anticipaba una conciencia más moderna y amplia sobre el conservacionismo.

El navío de 70 cañones, prototipo del siglo XVIII, requería para la construcción de su estructura, una cantidad de madera de roble labrada de no menos 3.000 m^3, correspondientes a 2.000 pies de más de 120 años, en una superficie de al menos 36 ha con marco de 12x15 m (Aranda y Antón, 1999).

5.2.1. Despertar de la silvicultura

Este despertar científico ve el nacimiento de la silvicultura como un campo de estudio autónomo, centrado específicamente en los "árboles de monte" o silvestres, los cuales se diferenciaban de los árboles frutales o cultivados. Esta diferenciación se destacó en las adiciones de **Arias** a **Herrera**. A diferencia de la arboricultura, que proviene de la tradición y el conocimiento práctico, la silvicultura se basa en la ciencia, especialmente en la botánica. Personalidades francesas, como **Reamur**,

Buffon y, sobre todo, **Duhamel de Monceau**, se dedicaron a la experimentación forestal científica y estudiaron aspectos como la densidad y dureza de la madera y las mejores épocas para talar. Estas investigaciones llevaron a prácticas como las cortas de aclareo y a la propuesta de **Duhamel** de prolongar el aprovechamiento del monte y el talar hasta los 30 años. La silvicultura moderna buscó regularidades en el desarrollo de los bosques y se interesó por el turno forestal óptimo. También se exploraron patrones espaciales en la distribución del uso del suelo en los bosques, un tema que **Antonio Sandalio de Arias** abordó y que luego se relacionaría con las teorías de **von Thünen** en *Der isolierte Staat* (1826), que dedicó una parte sustancial al estudio de los bosques, mostrando el alcance del pensamiento científico en el ámbito forestal. Hacia finales del siglo XVIII, la silvicultura se volcó hacia el rendimiento, atrayendo tanto a administradores de fincas como a "silvicultores calculistas". La gestión forestal se entrelazó con los principios económicos y exigió una gestión del espacio rigurosa, además de la implementación de principios geométricos, lo que llevó a extensos trabajos de topografía en Europa a fines del siglo XVIII y principios del XIX.

Hasta el siglo XVIII, la silvicultura tuvo una orientación eminentemente práctica, con un impacto mínimo de las ciencias botánicas. Sin embargo, durante esta centuria, especialmente en Alemania, la fusión de aplicaciones matemáticas, estadísticas y conocimientos prácticos transformó significativamente la gestión proactiva de los bosques. Esta evolución se vio probablemente influenciada por factores como el miedo a la escasez de madera, la fragmentación política y la necesidad de preservar reservas locales de madera; esta conjunción dio paso a la educación formal en silvicultura y a un patrocinio estatal que desarrolló una red de conocimiento especializado en toda Europa Central. La creación de escuelas y revistas forestales oficiales a finales del siglo XVIII, sobre todo en Alemania, permitió aplicar principios científicos y de gestión, como la clasificación de los árboles por edades y la gestión de los bosques mediante ciclos de tala específicos y regulares. Silvicultores pioneros como **Carl Christoph Oettel** (1727-1802) innovaron áreas de la gestión forestal, como la incorporación de modelos matemáticos más precisos con el objetivo de predecir los rendimientos y promover los monocultivos de árboles.

La madera se seleccionaba por sus propiedades físicas y su forma. Por tanto existía una relación estrecha entre la curvatura natural de la madera y la forma final de los componentes del barco. En la silvicultura naval, se utilizaba una unidad de medida estándar conocida como **codo de ribera**, que medía 574,69 mm. Esta unidad

de medida era fundamental para estimar el volumen de la madera destinada a la construcción de barcos, destacando la importancia de tener métodos de medición uniformes en ambos campos.

Las piezas de madera podían estar dibujadas en tres perspectivas en una escala 1:10 e incluyendo al menos dos secciones. Adicionalmente, señalaban la ubicación y ruta de los elementos de sujeción, tales como clavijas, clavos de hierro y pernos. Se registraban detalles notables en la superficie de la madera, abarcando zonas de albura, madera deteriorada y el uso de herramientas poco comunes (Loewen, 2000).

A finales del siglo XVIII, los bosques europeos presentaban una gran diversidad debido a los avances de la silvicultura y a las distintas demandas locales y a las estrategias de gestión. Algunas regiones adoptaron con éxito regímenes de monte bajo, mientras que otras practicaban talas excesivas, sobre todo para financiar guerras o el pago de impuestos. El crecimiento demográfico, el aumento de la demanda de productos básicos y la presión del pastoreo incrementaron la presión sobre los bosques y, hacia 1720, dieron lugar a una amplia literatura panfletaria que se lamentaba de la escasez de madera que se percibía en la Europa central (Warde, 2006).

Al unir hilos de economía, política y ecología, la silvicultura se sumergió en un cruce de caminos entre el liberalismo y la intervención estatal durante los siglos XVIII y XIX en Europa, revelando una red intrincada de ideologías y prácticas que impactaron no solo en la explotación y en la conservación de los bosques, sino también en las estructuras socioeconómicas y políticas de la época. En este escenario, la gestión forestal, vital para la economía y la marina, reflejó tensiones inherentes entre derechos de propiedad privada, estrategias de explotación de recursos y la imperante necesidad de conservación ecológica.

5.2.2. Legislación europea previa

Previo a los textos mencionados, en diferentes regiones de Europa existieron leyes y ordenanzas previas (Tabla 5.1). Estas equilibraban las necesidades de suministro de madera, las demandas socioeconómicas y ecológicas, y los intereses de distintos grupos, como la marina, las industrias y la población civil. Frecuentemente, estas leyes no introducían técnicas de gestión forestal novedosas, sino que ampliaban la aplicación de prácticas ya existentes. Sin embargo, la implementación de estas leyes enfrentó desafíos debido a la diversidad de necesidades locales y al equilibrio

entre los objetivos fiscales a corto plazo y la sostenibilidad ecológica a largo plazo. La evolución de estas normativas refleja una negociación constante en el uso y gestión de los recursos forestales, influenciada tanto por factores prácticos como políticos, y marcada por el papel crucial de los burócratas, la reforma administrativa y la literatura profesional en silvicultura. Esta progresión histórica demuestra cómo las diferentes regiones y entidades políticas han abordado la escasez de madera, tanto real como percibida, considerando no solo las necesidades inmediatas sino también las estrategias a largo plazo para un uso sostenible de los bosques para las generaciones futuras.

Algunas de ellas se recogen en la tabla siguiente:

Tabla 5.1: Textos notables

País/Región	Año	Textos notables
Italia	1330s	Primeros estatutos en la Toscana[179]
	1476	Ordenanza forestal en Venecia
	1559	Ordenanza forestal en la Toscana
España	1513	*Agricultura General* de Herrera
	1518	Pragmática para la guarda y conservación
Países Bajos	1517	Legislación forestal
Alemania	1530s-1540s	Múltiples leyes y normativas en *Württemberg*, Palatinado, Baviera y Hesse
	1552	Ordenanza forestal en *Württemberg*
	1565	Ordenanzas forestales en el Palatinado[180]
	1568	Ordenanza forestal en Bavaria[181]
	1576	*Jag und Forstrecht* de Noé Meurer
Inglaterra	1543	Ley Forestal de Enrique VIII[182]
	1664	Publicación de *Sylva* de John Evelyn
Suecia	1558	Decreto del rey Gustavo Vasa[183]
	1647	Primera ordenanza forestal
Francia	1669	Ordenanza de Colbert
Dinamarca	1670, 1683, 1710	Diversas legislaciones[184]

Otros como el ducado prusiano de *Cleves-Mark* tuvieron tanto una *encuesta sobre la industria metalúrgica y los bosques* (1704) como *Ley sobre la silvicultura y la industria* (1742).

[179] Ver: Salvestrini, F. (2000). Law, Forest Resources and Management of Territory in the Late Middle Ages: Woodlands in Tuscan Municipal Statutes. In *Forest History. International Studies* (pp. 279-288).

[180] Posiblemente inspirados en la *ordenanza de Wurtemberg* de 1552 e influidas por el jurista alemán Noé Meurer (c.1525-1583).

[181] Esta ordenanza, junto a la del Palatinado, introdujo una novedosa prescripción de remojar la semilla antes de su uso y sembrarla mezclada con serrín o arena, removiendo la semilla con cepillos o rastrillos de hierro. Ver: Fernow, Bernhard E. (1911) *A Brief History of Forestry in Europe, the United States and Other Countries*. Toronto : University Press.

[182] Influenciada por la creciente necesidad de construcción naval en Inglaterra.

[183] Decreto que estipula que nadie, excepto el rey, podía cortar, talar, quebrar o descortezar robles o hayas.

[184] Ver: Paul Warde (2006).

5.3. El roble como recurso base

Desde el siglo XVII, la explotación intensiva de los bosques de roble, especialmente en el Mediterráneo, Inglaterra y Francia, se realizó principalmente para satisfacer las crecientes demandas de los astilleros estatales. Esta práctica llevó al desarrollo de políticas forestales racionales y a la experimentación con nuevas especies de roble. Por ejemplo, **Jean-Baptiste Colbert** plantó bosques en *Nevers* y *Alliers* con especies de roble rojo de América (Loewen, 2000).

La edad útil del roble estaba comprendida entre los 10-200 años, como escribe **Jorge Juan**, con fecha de 17 de junio de 1763, en un informe sobre el tratamiento de la madera de roble (Busquets Artigas, de la Fuente de Pablo, & Pujol i Hamelink, 2013) para la construcción naval cuyo extracto se recoge a continuación:

> *Los Robles no se deben cortar antes de tener 10, ò 50 años, ni después de los 200: antes es la criadera tierna y floja, sin ninguna firmeza, cargada de ordinario, de mucha savia, y por consiguiente fácil en su pudrición. Después de los 200 el árbol empieza a descrecer y perder su fuerza, de suerte que no tiene consistencia en sus partes y se pudre con facilidad: la edad de 80, 100, hasta 120, ò 140 años es aquella en que el roble tiene su mayor vigor y fortaleza.*

El empleo sustitutivo de otras maderas deriva en la necesidad de ejercer la comparativa entre las maderas y, de forma, clara indicar los gruesos equivalentes que se necesitan para la misma (Tabla 5.2). A modo de ilustración, se muestran los gruesos indicados en el *Reglamento de maderas* de **Romero de Landa** (Figura 5.1).

Tabla 5.2: Propiedades de las maderas: roble, pino laricio, pino rojo y cedro

	Densidad (kg/m3)	Densidad Relat.	Volumen equivalente	Factor Incremento peso	Módulo de elasticidad (Kg/cm^2)	Módulo equivalente
Roble	710	1	1	1	115.000	1
Pino Laricio	576	0,81	1,44	1,17	96.500	0,83
Pino Rojo	510	0,72	1,44	1,04	94.000	0,81
Cedro	490	0,69	1,56	1,08	90.000	0,78

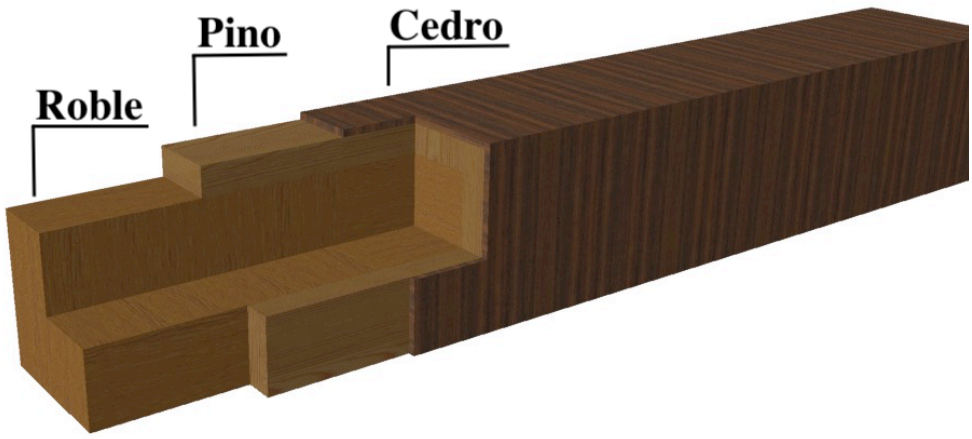


Figura 5.1: Gruesos de madera según las indicaciones de Romero de Landa (1784)

Aunque el proviniese de un análisis básico y fundamentado en la experiencia, la decisión de usar distintos grosores según el tipo de madera en los reglamentos refleja un conocimiento sobre las propiedades mecánicas de las diferentes maderas.

5.4. Venta y transporte de la madera

En la España de la centuria del XVIII, la gestión de la venta y el transporte de madera, especialmente para la construcción naval, se encontraba intercalada con diversos desafíos y estructuras de operación. La fórmula del "asiento" emergía como un método esencial, en la que la Corona Española establecía contratos con un asentista. Este, un intermediario, se comprometía a obtener y suministrar madera, adherida a un precio predefinido por cada codo entregado, y era remunerado por ello. Además, se le adelantaba un porcentaje del pago total, que sería gradualmente saldado a medida que las entregas, validadas por expertos de la Marina, se llevasen a cabo.

Estas se diferenciaban de otras formas de venta como la almoneda o la venta directa también conocida como ajuste. Tras el *Auto general de montes* del **Corregidor Cano y Mucientes** a mediados del siglo XVIII, surgen cambios notables en las normativas. Los rematantes debían cubrir los costos de remates de montes y el período de corte de leña se reducía[185], e impactaban en la salud y productividad de los bosques a largo plazo. Además, la venta por suertes se volvía más popular debido a su rentabilidad.

[185] Se acortó de los 15 años en el siglo XVI a entre 7 y 10 años en el siglo XVIII.

El coste de transporte de la madera se ha expuesto como crucial para las decisiones de aprovisionamiento y establecimiento de los arsenales y astilleros. Esta no sólo era terrestre o fluvial, sino que existía también la vía marítima. El transporte de madera presentaba innumerables desafíos, principalmente relacionados con la infraestructura vial en regiones como Guipúzcoa. Los carros, usados asiduamente con llantas afiladas, deterioraban los caminos y, aunque existían esfuerzos emprendidos por las autoridades para promover el uso de carros con ruedas y prohibir arrastrar madera, estas prácticas seguían presentes con sus consiguientes sanciones y debates sustanciales (Aragón Ruano, 2001). Los asentistas, comprometidos no solo con la extracción sino también con el transporte de madera, pactaban con transportistas y, ocasionalmente, financiaban mejoras en los caminos, aparte de gestionar los conflictos que surgían en las localidades afectadas por la extracción y el transporte maderero.

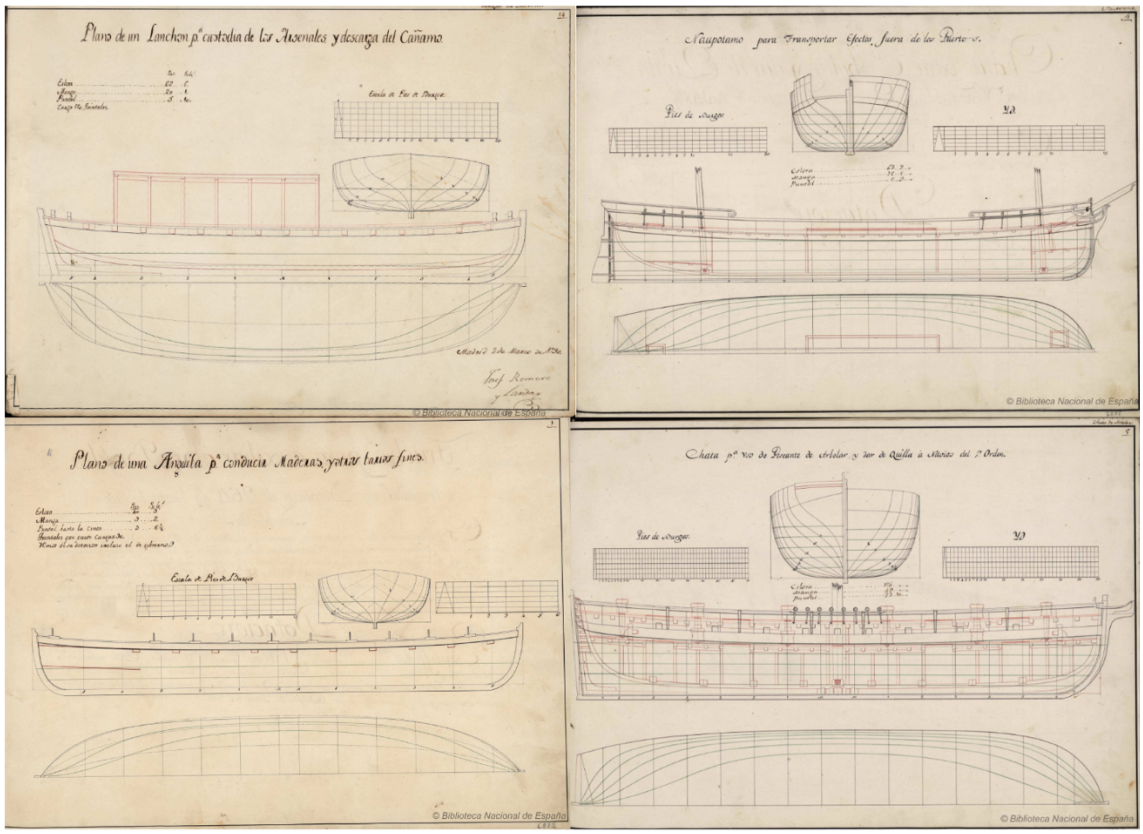


Figura 5.2: *Planos de un Lanchón para custodia de los Arsenales y descarga del Cañamo* (1790), *Plano de una Anguila para conducir Maderas y otros varios fines* (1790-1807?), *Naupotamo para transportar efectos fuera de los Puertos. Chata para uso de Pescante de Arbolar y dar de Quilla a Navios del primer Orden* (1790-1807?). Fuente: BNE

Con el surgimiento de astilleros y arsenales como El Ferrol, la madera para la construcción naval comenzó a extraerse desde Guipúzcoa y el Pirineo. Esta madera

era transportada por rutas terrestres y fluviales hasta puertos como Deva, Pasajes y San Sebastián. Desde allí, embarcaciones especializadas (Figura 5.2) la llevaban a destinos como El Ferrol, Cantabria y Bilbao y las destinaban a la construcción naval.

A su vez, los precios de la madera, ya fuera para leña o para construcción, estaban sujetos a múltiples variables, como el costo del hierro, la oferta y la demanda, y las normativas tanto locales como de la Corona. Por ejemplo, la *Concordia sobre los montes francos del Urumea* de 1691 aspiró a estabilizar los precios mediante la implementación de tarifas fijas, pero la fluctuación de precios era una realidad innegable dada la diversidad de factores en juego, los cuales incluían las necesidades y situaciones económicas de los municipios y las demandas de varias industrias. Específicamente para la construcción naval, la madera estaba sujeta a precios variables, que dependían de su calidad, destinatario y ubicación, aparte de reconocer la variación de precios entre el monte y los astilleros, lo que se diseñaba para compensar posibles pérdidas durante el transporte.

La política naval española alternaba entre la adquisición de materiales en mercados internacionales y nacionales, con especial atención a las dificultades geográficas para la extracción de recursos en el área pirenaica. A pesar de varios proyectos para hacer los ríos pirenaicos navegables, ninguno se materializó completamente debido a dificultades técnicas y altos costos. La utilización de los ríos para el transporte reducía costos, pero provocaba la estatalización y apropiación de estos cursos de agua, lo que generaba conflictos con las necesidades locales. Incluyendo los conflictos en el río Oria (Aragón Ruano, 2019). La Monarquía Hispánica buscaba reducir costos y, para ello, ofrecía asientos para la provisión de maderas y otros pertrechos navales al mejor oferente. Los asientos variaban en duración y enfoque, incluyendo la provisión de arboladuras, madera, brea, alquitrán, lona y jarcia desde diferentes regiones, como Navarra, Aragón, Cataluña y Valencia. Estos asientos evidenciaban un cambio en la política de aprovisionamiento de la armada, buscando un equilibrio entre la importación de pertrechos y el abastecimiento nacional.

Otras regiones se identificaron como fuente potencial de madera para el uso naval y se apoyaron del uso del transporte fluvial o de maderas por flotación. Uno de estos fueron los bosques de la Sierra de Segura y Cazorla que empleaban este método para alcanzar Sevilla y Cádiz (Vigueras González, 2002). Esta estimuló la creación del Real Negociado de Maderas de Segura, que se encargó de administrar y explotar los recursos forestales de la zona para la Armada hasta su cese en 1836.

5.4.1. El barco desechable y el transporte fluvial

Una ventaja de la construcción en madera es su capacidad de reutilización. Esta fue explotada en los llamados barcos desechables, de balsa o droghers de madera, que jugaron un papel crucial en el transporte fluvial y marítimo hasta finales del siglo XIX. Diseñados para un solo viaje, estos barcos eran desmontados en su destino, reutilizando sus materiales. Eran comunes en ríos como el Danubio, el Rin y el Misisipi, facilitando especialmente el transporte de mercancías. Las balsas de madera eran estructuras flotantes comunes en ríos europeos, usadas para transportar madera a destinos como los Países Bajos. En Rusia existió un tipo de embarcación autóctona, las *belyanas*, que fueron utilizadas desde el siglo XVI hasta la década de 1930 en los ríos Volga y *Vetluga*, eran barcos desechables esenciales para el transporte de madera (Figura 5.3 dcha.). Estos buques medían entre 55 y 100 metros de eslora, siendo la manga un cuarto de la longitud, llegaban a una capacidad de carga de hasta 17.000 toneladas (Okorokov, 2023). Aparte de su imponente tamaño, lo que les hacía más especiales era la existencia de habitaciones para los hombres durante la travesía.

Existiendo el transporte fluvial, el salto lógico era la oceánica. El rafting oceánico, una práctica que se extendió desde el siglo XIX hasta mediados del siglo XX, revolucionó el transporte de madera. A pesar de los primeros fracasos debido a las condiciones oceánicas y técnicas inadecuadas, se desarrollaron métodos más sofisticados. Pioneros como **Hugh Roderic Robertson** jugaron un papel crucial en este desarrollo, mejorando la resistencia y manejabilidad de las balsas (Adams, 1971). Estas iban encadenadas como las Benson Rafts (Figura 5.3 izq.). Esta nueva modalidad de transporte redujo significativamente los costos de transporte de madera, permitiendo el transporte de grandes volúmenes a mercados lejanos. Sin embargo, enfrentó resistencia de compañías navieras y sindicatos de marineros por preocupaciones de seguridad e impacto en la industria del transporte marítimo. Para ello no ayudaron los diversos incidentes, como balsas perdidas, roturas durante tormentas e incendios, que añadían riesgos y desafíos de esta forma de transporte. Eso no impidió que, con los adecuados incentivos económicos, se construyeran barcos desechables como respuesta a los aranceles sobre la importación de madera[186]. El declive del rafting oceánico se atribuye a cambios en la industria maderera, avances tecnológicos en el transporte. En el ámbito fluvial, debido a la gran maniobrabilidad requerida, estas balsas fueron eventualmente

[186] Claros ejemplos son los fallidos Columbus (1824) y el Baron of Renfrew (1825).

reemplazadas por el transporte a vapor que también ofrecía la posibilidad de navegar río arriba.

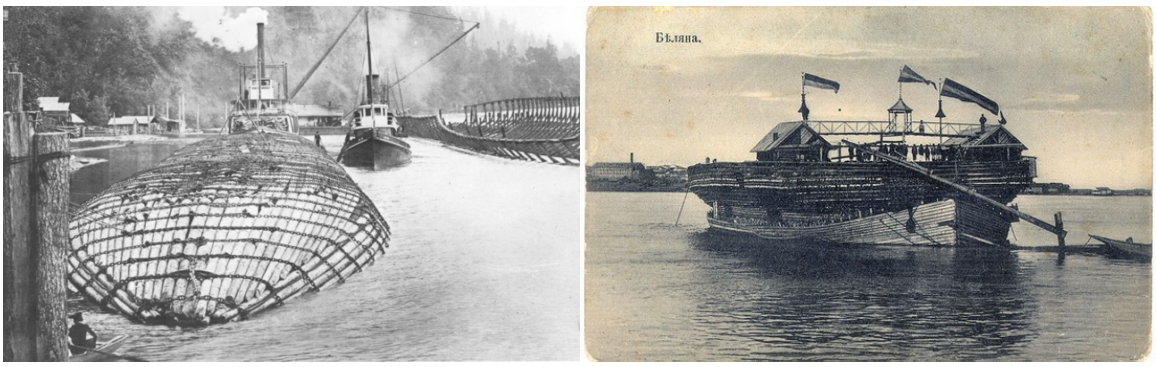


Figura 5.3: Benson Raft y belyana. Fuente: Oregon Historical Society y Museo-Reserva de Rybinsk

La madera continúa transportándose en los ríos de manera natural. Esta es la conocida como madera a la deriva, que, en ocasiones, son embarques perdidos de las compañías madereras y forman parte de los ecosistemas marinos y fluviales (Payton, 2018). La reducción de la actividad maderera, combinada con una mejor gestión fluvial, ha llevado a una notable disminución en la cantidad de madera en ciertos ecosistemas. Esta disminución tiene consecuencias adversas, ya que la madera proporciona hábitats cruciales para varias especies, juega un papel importante en el ciclo de nutrientes y ayuda a controlar la erosión, manteniendo así la estabilidad de los ríos. Además, esta situación afecta a las comunidades pesqueras y a los ecosistemas marinos, alterando las cadenas alimenticias y los ecosistemas. Desde una perspectiva antropológica, la madera tiene un valor cultural y económico significativo para diversas comunidades.

5.4.2. El derecho al acceso a la madera

Siguiendo con los conflictos originados por el uso de los recursos hídricos para la extracción de la madera, es importante mencionar los conflictos que se originaban por la limitación de acceso a los montes y bosques. Este acceso se llegaba a dar como privilegios reales, pero en localizaciones puntuales. Para los siglos XVIII y XIX, esas tensiones van creciendo. En la década de 1840, **Karl Marx** y **Wilhelm Heinrich Riehl**, destacadas figuras en Alemania, abordaron las "guerras forestales" en sus obras, reflejando la agitación socioeconómica y ambiental de la época. **Marx** criticaba las leyes que criminalizaban el robo de madera, viéndolo como una necesidad de supervivencia y un derecho natural de los pobres, mientras acusaba a la legislación de favorecer a los propietarios de tierras. **Riehl**, por otro

lado, adoptó una perspectiva conservacionista, valorando los bosques por su carácter aristocrático y su capacidad de ofrecer independencia a la gente rural, lejos de la competencia comercial (Warde, 2006). Ambos reconocieron que los conflictos forestales surgían de las necesidades contrapuestas de diferentes grupos sociales y de la variabilidad del potencial de los productos forestales. Contribuyeron a establecer que los conflictos ambientales estaban profundamente vinculados con el orden social. Mientras **Marx** enfocaba en las luchas de clase, **Riehl** promovía la conservación desde la óptica conservadora. Sus puntos de vista divergentes resaltaban las dinámicas socioeconómicas de su tiempo, entrelazando consideraciones ecológicas con los órdenes sociales emergentes e industrialización. Esta interacción se convirtió en fundamental para las discusiones en ciencias sociales, mostrando que los conflictos de la década de 1840 no solo eran por intereses variados, sino también por una escasez real, cuyas soluciones intensificaron antagonismos históricos.

5.5. Escasez de madera y deforestación

La construcción naval y la explotación forestal mantuvieron una relación íntima especialmente durante los siglos XVI y XIX, cuando los imperios marítimos, a pesar de la geografía y la orientación de su poder, dependían en gran medida de los bosques para obtener la madera necesaria para sus barcos. Los bosques han sido esenciales en la historia bélica de la humanidad. Históricamente, proporcionaron madera para armas y sirvieron como combustible para fundir metales, siendo el carbón vegetal crucial para la producción de bronce y hierro. El terreno forestal influía directamente en las tácticas militares, ofreciendo ocultación para emboscadas y desafiando la movilidad de grandes ejércitos. Las guerras han afectado a los bosques, ya sea por bombardeos o actividades de combate o, por el contrario, la naturaleza ha florecido debido a la ausencia humana en zonas de control militar. Además, los bosques ocultaban movimientos de tropas y resultaban esenciales en la preparación para la guerra, ya que proporcionaban sustento y materiales. Aunque la guerra moderna ha evolucionado gracias a la tecnología, los bosques siguen siendo entidades estratégicas y valiosas.

La escasez de madera no era un fenómeno aislado de una nación o un imperio en particular. Las potencias marítimas europeas, tales como Venecia, la República Holandesa, y las potencias atlánticas como Gran Bretaña y Francia, hubieron de confrontarse con la disminución de sus bosques no solo a sus necesidades navales, sino también a la expansión agrícola, lo que generó una notable preocupación por

la escasez de madera para la construcción de barcos. En respuesta, estas naciones procuraron soluciones diversas así como: la implementación de prácticas de silvicultura sostenible, los asaltos a territorios extranjeros en busca de madera, y la explotación de colonias y tierras extranjeras, incluyendo Norteamérica y los bosques de la región del Báltico (McNeill, 2004).

En un nivel más detallado, a partir de 1780, las crecientes necesidades de la construcción naval tuvieron un impacto notable en los paisajes boscosos de Inglaterra, afectaron en particular a parques y setos y marcaron un periodo donde la demanda de madera, especialmente para la construcción naval, modeló la industria, también los paisajes físicos y la gestión de los recursos forestales (Simmons, 2001). Asimismo, es digno de mencionar cómo, en el siglo XVIII, a pesar de que la madera se destinaba predominantemente a la construcción naval, otros sectores, como las tenerías, también pudieron haber consumido una cantidad significativa de madera.

El hierro desempeñó también un papel fundamental en la construcción naval, especialmente en la creación de cañones. La fundición de hierro, hasta la década de 1760, requería carbón de madera, lo que estrechó aún más la relación entre las armadas y los bosques. Sin embargo, hacia mediados del siglo XIX, el metal y el carbón comenzaron a reemplazar a la madera en la construcción naval, así concluyó la larga dependencia de las armadas en los bosques (McNeill, 2004).

La deforestación y la escasez de madera fueron palpables en diferentes localidades y periodos, motivadas principalmente por cuatro actividades: la tala para la agricultura, la obtención de leña, la construcción naval y la producción de carbón vegetal para la fabricación de hierro y para la industria en general. La percepción y la documentación de estos factores han sido diversas y, en algunas ocasiones, sesgadas, dependiendo del contexto nacional e internacional, lo que ha requerido un compromiso crítico y una contextualización al interpretar los registros históricos y entender el uso de los recursos y el cambio medioambiental en el pasado (Williams, 2006).

Para la segunda mitad del siglo XVIII, los agonizantes recursos forestales en España condujeron a que la provisión de madera destinada a la construcción naval se convirtiera en un asunto crítico, hecho que influyó tanto en el diseño de nuevas naves como en el mantenimiento de una flota que se encontraba en expansión. Las decisiones tomadas no solo estaban guiadas por la necesidad de reducción de peso sino que fueron, en parte, una respuesta a la escasez de madera. Por ejemplo,

durante el ministerio de **Antonio Valdés** (1744-1816), España se enfrentó a una significativa escasez de madera para la construcción naval. **Valdés** implementó medidas para fomentar el crecimiento de los bosques y regular la tala de árboles.

Por otro lado, la historia de la Armada Británica acuñó el término *timber problem* para reflejar la influencia que la escasez de madera ejerció en el poder naval del país. Al igual que España, Inglaterra también enfrentó problemas similares con sus recursos forestales. La Cámara de los Comunes inglesa descubrió en un estudio que solo quedaba un sexto de los árboles útiles comparado con los existentes en 1608 (García Fernández, 2005). Esto llevó a la implementación de medidas para fomentar el crecimiento de árboles y controlar su uso en la construcción naval. Gracias a los territorios de Ultramar, se expandieron las fuentes de madera más allá de la península ibérica. A diferencia de España, aunque Inglaterra también utilizaba maderas de sus colonias, prefería construir sus barcos en la metrópoli y no en las colonias. En una perspectiva más global, países como los Países Bajos, Portugal y Venecia también tenían estrategias variadas y desafíos únicos relacionados con el suministro de madera, lo que afectó tanto a las decisiones domésticas como a las internacionales en la construcción naval y en la gestión de los bosques. Los holandeses, por ejemplo, al contar con poco bosque, dependían de una amplia red de comerciantes para que les suministrara madera, y en ocasiones, la construcción de sus barcos se realizaba en colonias remotas como Indonesia.

A lo largo de los siglos XVII y XVIII, las naciones europeas hicieron frente a desafíos significativos en la gestión de los recursos forestales, vitales para el desarrollo y mantenimiento del poder naval, que pusieron de manifiesto las complejidades del abastecimiento naval, especialmente en Francia y Gran Bretaña. Mientras el roble destacaba como el principal material para los cascos de los buques de guerra, la calidad y adecuación de los árboles, como pinos y abetos para los mástiles, eran igualmente primordiales, siendo la madera de grano fino de grandes robles, de entre 120 y 200 años, altamente valorada (Bamford, 1956).

Francia, a pesar de su riqueza forestal, se encontró con dificultades notables en la gestión eficaz de estos recursos. Desde el siglo XIV, mientras se reconocía la importancia de los bosques para la construcción naval, la protección no era sistemática, conduciendo a problemas de deforestación que se agravaron con la promulgación de medidas como la *Ordenanza Forestal* de 1669; esta, pese a su implementación, se vio obstaculizada por la mala gestión y resistencia local, entre otros factores (Williams, 2006). Aunque en la época de **Colbert**, en el siglo XVII, Francia gozaba de una envidiable autosuficiencia en productos madereros, este

panorama se desdibujó en los siglos posteriores dada la deficiente calidad de sus árboles para los mástiles y la ineficaz explotación de suministros ultramarinos, pese a los esfuerzos de revitalización durante el periodo postbélico bajo **Choiseul** (Bamford, 1956).

Entre 1652 y 1862, periodo que incluye los grandes enfrentamientos navales de la vela y madera, Gran Bretaña, pese a enfrentarse a sus propias limitaciones en suministros de madera nacionales, supo maniobrar estratégicamente con miras a asegurar los recursos necesarios para su flota naval. La constante preocupación por la escasez de madera influía directamente en múltiples aspectos, como el derecho internacional y las políticas exterior, colonial, comercial y forestal de Inglaterra. Con una gestión eficiente de sus colonias norteamericanas para el abastecimiento de mástiles y el dominio ejercido en los mercados rusos, los británicos se aseguraron un suministro bastante estable de madera de alta calidad (Albion, 1926; Bamford, 1956).

Durante el siglo XVIII, Francia experimentó una búsqueda constante y complicada de madera para su industria naval, ya que sus bosques nacionales se agotaban gradualmente. Los bosques de Borgoña y el Franco Condado, entre otros, ya habían sido sometidos a una tala masiva y su calidad había disminuido, limitando así las fuentes internas de madera de calidad. Para paliar este problema, los franceses exploraron diversas regiones, como Cataluña, Italia y la Albania turca y consiguientemente tuvieron que afrontar problemas relacionados con la calidad de la madera y con las complicaciones logísticas y políticas. Si bien la posición de Francia era ventajosa en cuanto a la disponibilidad de roble, se encontraba mermada por necesidades domésticas y una gestión forestal deficiente, lo que aumentaba su dependencia respecto a rutas de suministro lejanas y arriesgadas. Aunque Francia y Gran Bretaña buscaron madera, especialmente para mástiles, en los mercados bálticos y en sus colonias, las disparidades entre sus estrategias se acentuaron notablemente. Gran Bretaña estableció un sistema eficiente en Norteamérica, mientras que la explotación francesa se vio obstaculizada por la infrautilización de recursos y por un desinterés relativo a maderas como el pino canadiense (Bamford, 1956).

El bosque, vital para la América colonial, estaba intrínsecamente entrelazado tanto con las actividades de subsistencia como con las comerciales y enturbiaba las distinciones entre el desbroce agrícola y la explotación comercial. A pesar de que productos como los mástiles y el carbón vegetal obtenidos de los bosques tenían un impacto directo aparentemente menor sobre la deforestación en comparación con

la agricultura y el uso doméstico de combustible, sus implicaciones internacionales, particularmente en lo que respecta a los intereses británicos en la madera americana para la construcción naval, resultaban significativas. Las tensiones entre las demandas coloniales y británicas ocasionaron conflictos y se manifestaron especialmente en el Norte, donde las restricciones y la explotación de recursos madereros provocaron un descontento considerable, el cual avivó la llama secesionista.

El papel fundamental de los bosques bálticos y el comercio de madera en la producción de mástiles navales y otras mercancías a granel para las naciones marítimas europeas se pone de manifiesto. Aunque los mástiles requerían atributos específicos como longitud, rectitud y durabilidad, los cuales se encontraban principalmente en las coníferas de los bosques bálticos, los desafíos políticos y económicos del comercio de madera báltica llevaron a que la adquisición en esta región se convirtiera en un desafío.

A lo largo de doscientes años: los siglos XVII y XVIII, Francia se enfrentó a significativos desafíos relativos a la adquisición y transporte de madera y mástiles, esenciales para su industria de construcción naval. Pese a la accesibilidad de los bosques por ríos y canales, la resistencia de las comunidades locales a proporcionar trabajo y recursos, junto con la necesidad de trasladar la madera a grandes distancias, complicaban enormemente el transporte. La necesidad francesa de obtener mástiles de alta calidad también condujo a una dependencia del comercio con el norte de Europa, aunque estas relaciones comerciales estaban plagadas de tensiones políticas y adversidades.

La escasez o disponibilidad de madera adecuada llevó a cambios en la construcción de buques. Se favorecieron soluciones que empleasen menor cantidad de madera, así fue el abandono del sistema de ligazones superpuestas y la implantación generalizada de refuerzos de hierro ya entrado el siglo XIX y, en general, un empleo más consciente de este recurso. Además, la prominencia de la madera como recurso altamente valorado y analizado es evidente con publicaciones como el *Reglamento de maderas* de **Romero Landa**. Otra consecuencia claramente perceptible fue la utilización de otras variedades de madera, como el abeto, y la disminución del escantillonado de las naves encuadradas en las flotas europeas, incluidas las españolas y francesas; decisiones que no solo se tomaron para reducir el peso, sino también como respuesta a la falta de maderas aptas para la construcción.

Esta disminución del escantillonado posibilitó la creación de barcos más veloces y, lo que es más notable, una mejora en la estabilidad de la artillería. Este ajuste no estuvo exento de críticas: tras la captura de barcos franceses, algunos oficiales ingleses expresaron sus objeciones al percibir una pérdida de rigidez. Este cambio presentaba consecuencias desastrosas debido a la construcción con tablones, ya que se generaba una separación entre ellas, que facilitaba la entrada de agua. Este efecto no era desconocido, sino que quedaba patente en buques que utilizaban la Hypozomata[187] para incrementar la rigidez en embarcaciones ligeras y salvaguardar la integridad estructural en la condición de quebranto.

Esta creciente necesidad de madera especializada nos traslada a un tema de debate sobre la gestión de recursos y su efecto ecológico.

5.5.1. Deforestación

Si bien ha habido acuerdo en que la deforestación fue un problema en los siglos XVIII y XIX, no se ha establecido consenso sobre su grado o sus causas. Algunos sostienen que los bosques disminuyeron rápidamente, mientras que otros argumentan que existían abundantes reservas de madera. Existen debates historiográficos acerca de quiénes son los principales responsables, ya sean las fundiciones del siglo XVIII o la Marina y sus requerimientos de madera. Junto con la variedad en el criterio de las diversas administraciones forestales de los bosques se encontraban los diferentes modelos de financiación para la explotación forestal, como la administración directa y por asientos. Estos sistemas variaron en eficacia y reglamentación a lo largo del siglo XVIII. Lo que resulta indiscutible es que la construcción naval dependió en gran medida del suministro de madera, proporcionada a la Armada Española desde la península ibérica, América y las Filipinas.

Además, el estudio de la deforestación ha estado generalmente integrado en marcos más amplios como la siderurgia y la industria naval, aunque se ha observado un creciente interés por temas ecológicos entre los historiadores (Aragón Ruano, 2001). Esta atención es particularmente evidente a nivel europeo, donde países como Inglaterra y Francia han liderado las investigaciones historiográficas sobre los bosques desde mediados y principios del siglo XX

[187] La Hypozomata o Hypozoma era una cuerda o cable que transcurría de proa a popa en naves como los trirremes y dotaba de mayor rigidez al casco, el cual debido al método de ensamblaje era especialmente susceptibles a partir en condición de quebranto. Su localización exterior o interior del casco es todavía discutida. El método de tensar las cuerdas es lo que en inglés se ha llamado el "Spanish windlass".

respectivamente, abordando la materia desde perspectivas tanto botánicas y geográficas como históricas. Sobre España, el ingeniero de montes **Erich Bauer Manderscheid** se erige como uno de los primeros investigadores en centrarse en su historia forestal.

Sin embargo, también se ha producido un debate historiográfico sobre el momento exacto en que comenzó la deforestación en España; sí hay un consenso sobre sus causas refiriéndose generalmente la actividad de las ferrerías, construcción naval, pastoreo excesivo, incendios, roturaciones desmedidas, extracción de brozas y leyes desamortizadoras. Sin embargo, las discrepancias apuntan al momento exacto de inicio de la deforestación en los bosques españoles. Un grupo, entre los que se encuentran Adán de Yarza, Michael Barkham, Caro Baroja, Díez de Salazar y Soria Sesé, sostiene que se inició antes del siglo XVI, y que ya resultaba perceptible en los siglos XIV y XV. Por otro lado, la mayoría, como Fernández de Pinedo, Fernández Albaladejo, Montserrat Gárate, entre otros, sitúan el inicio de la deforestación en el siglo XVIII, vinculándola a la crisis de la siderurgia guipuzcoana y extendiéndola hasta la primera mitad del siglo XIX (Aragón Ruano, 2001). No obstante, este trabajo no tiene la intención de divagar sobre el momento de inicio de la deforestación sino sobre los efectos de la misma en la construcción naval.

Es esencial reconocer que la madera desempeñó un papel crucial en la vida y en la economía de las regiones donde la construcción naval era predominante. Ya en el siglo XIII, ciertos privilegios otorgados evidencian la demanda de grandes cantidades de madera. A finales del siglo XIV, se impusieron restricciones para proteger ciertas especies de árboles, como el roble y el haya en el caso de Guipúzcoa (Aragón Ruano, 2001). Se establecieron medidas con el objetivo de controlar la tala y asegurar una extracción selectiva de madera. Sin embargo, con la expansión de otras actividades económicas, como la siderurgia y la agricultura, la deforestación se aceleró. Esta sobreexplotación llevó a conflictos sobre el uso y control de los bosques.

Asimismo, la estructura y forma de los bosques, y sus diferentes empleos, son elementos clave en el análisis del uso y del manejo del bosque en Europa en los siglos XV al XIX. Los bosques ofrecían más que madera: eran fuentes de corteza para la industria de la tenería y pasto para el ganado, por ejemplo. La interacción de estos diversos usos y la gestión de estos espacios conforman una historia intrincada de equilibrios y tensiones entre intereses variados (Warde, 2006).

En el siglo XVIII, la situación se complicó todavía más con la llegada de técnicas forestales avanzadas procedentes de Alemania y de Francia, que buscaban armonizar la explotación económica y la sostenibilidad ecológica. El dilema entre la producción de pastos y de madera complicó aún más la relación entre las poblaciones humanas y los bosques, requiriendo técnicas de manejo que equilibraran estas necesidades, a menudo, conflictivas.

Consiguientemente, la industria de la construcción naval, la cual tuvo un impacto significativo, aunque variado geográficamente, en el suministro de madera, pues precisaba de cantidades sustanciales de tipos específicos de madera se convierte en un culpable discutible. El porcentaje real de madera destinado a la construcción naval con respecto al uso doméstico de combustible fue relativamente pequeño a escala continental, a pesar de ser localmente significativo en determinadas regiones (Warde, 2006). El historiador **Robert G. Albion** describió este enorme consumo como "el problema de la madera", partiendo de la hipótesis de que había provocado una importante deforestación (Albion, 1926). Sin embargo, historiadores posteriores como **Oliver Rackham** refutaron esta afirmación, sugiriendo que la cuidadosa gestión de los bosques y la regeneración natural de los árboles permitían la sostenibilidad a pesar de la gran demanda de madera (Rackham, 1990). Por tanto, **Rackham** negaba la escasez de madera pre-industrial. **Russell Meiggs** se sumó a la opinión de reducir el impacto global de la construcción naval, ya que consideraba que las guerras terrestres habían consumido más madera que la construcción naval (Meiggs, 1982). Sostenía esta aseveración pese a que el empleo de la madera en fortificaciones había quedado obsoleto con el uso generalizado de la artillería entrado el siglo XVI, aunque el origen de su utilización se remonta al siglo XIV[188]. No obstante, los bosques siguen siendo talados al objeto de proporcionar una mayor visibilidad alrededor de dichas construcciones. Japón[189], en el siglo XVII (1660s), empieza a sufrir las consecuencias del uso de la madera, por lo que aparecen políticas de conservación y reforestación.

Algunos autores consideran que no se llegó al borde de una crisis ecológica. Las pruebas cuantitativas revelan que no era probable una escasez general de madera antes de finales del siglo XVIII, aunque sí existían escaseces localizadas. Aunque la escasez real surgió durante la época napoleónica, se abordó en gran medida en el siglo XIX mediante la adopción generalizada de la silvicultura científica,

[188] El empleo de la artillería en Europa data de 1331, durante los sitios de Alicante y Orihuela.

[189] Es bien conocida la construcción de castillos hasta bien entrado el siglo XVIII, aunque la costumbre había comenzado a decaer hacia 1620 (McNeill, 2004).

adopción exenta de importantes conflictos sociales (Warde, 2006). Lo expuesto sugiere que, durante este periodo, Europa no estuvo al borde de una crisis ecológica, aunque la perpetua demanda de madera sí influenció las políticas de gestión forestal europeas, su política exterior y sus relaciones comerciales.

En consecuencia, la consideración debería formularse de este modo: si bien la construcción naval no provocó una deforestación generalizada, es probable que superara el ritmo de regeneración. De esta manera, redujo la disponibilidad de roble y de otras maderas de calidad, lo que obligó a la industria naval a importar madera de diversas regiones de todo el mundo. Este hecho produjo un impacto mayor en las armadas británicas, francesas y holandesas, mientras que España se benefició del robusto suministro de los territorios de ultramar y de los bosques peninsulares.

5.6. Los Arsenales de Marina y la Junta de Constructores

En los capítulos anteriores se ha tratado el tema de la contratación de los buques a cargo de la Corona. Estos se realizaban mediante el procedimiento de asiento, en las que se acordaban con el constructor las dimensiones, la capacidad de carga, los materiales a usar y, en el caso de embarcaciones destinadas a la Carrera de Indias, ya fuesen comerciales o de guerra, se debían seguir especificaciones geométricas determinadas por reglamentos sucesivos. Este tipo de contratos, que daban una gran libertad al constructor, al ser descentralizada, dependían en gran medida de la habilidad y experiencia de los constructores y, por tanto, no permitían la requerida homogeneización de la flota. Por ello, a mediados del siglo XVIII, **Zenón de Somodevilla y Bengoechea** (1702-1781), primer marqués de la Ensenada, enfatizó la necesidad inmediata de establecer arsenales, astilleros y talleres para la fabricación de diferentes tipos de barcos, incluyendo navíos y fragatas, de los que la Armada Real requería. En respuesta a esta necesidad, la Corona optó por construir tres arsenales en puntos clave: Ferrol, Cartagena y La Carraca. Este esfuerzo pretendía desarrollar una flota moderna, priorizando los intereses transoceánicos sobre los continentales y buscando que estas nuevas embarcaciones pudieran competir eficazmente contra el creciente dominio británico en el mar. Lo que representó un importante avance en la estandarización y profesionalización del proceso de construcción de buques.

De esta forma, con la llegada de los Arsenales, se adoptó un sistema administrativo de construcción en sus astilleros, otorgando a la Armada un control más riguroso

del proceso, responsabilidad compartida entre constructores e ingenieros, y el personal técnico de los astilleros. Por ello, de alguna manera, aparece la oficina técnica en España que garantiza que las naves construidas en los diferentes arsenales tuviesen un diseño y comportamiento en la mar análogos y que permitiesen maniobrar conjuntamente y mantener la línea de combate.

Esta oficina técnica se materializa en la Junta de Constructores, la cual se congregó en Madrid durante 1752, bajo la dirección de **Jorge Juan**. La Junta de Constructores tenía como objetivo especificar y ejecutar los proyectos de las embarcaciones que se requerían para la Armada, asegurando el acatamiento de normas uniformes en todos los arsenales. Por otra parte, la ascendencia del estándar previamente instituido por el Almirantazgo británico, estudiado exhaustivamente por **Jorge Juan** durante su estadía en Londres, refleja el intercambio de conocimientos y técnicas entre diferentes naciones en el ámbito de la construcción naval. Esta colaboración y aprendizaje mutuos fueron fundamentales para el progreso y desarrollo de la tecnología naval en el siglo XVIII.

La creación de los arsenales, apoyada por el trabajo de la Junta de Constructores y la aplicación de reglamentos estandarizados, representó un paso crucial en la modernización y mejora de la Armada Española. La estandarización de los procesos de construcción y la utilización de técnicas avanzadas permitieron la construcción de una flota más homogénea, eficiente y competitiva.

El sistema a la inglesa presentó entre sus principales características: la racionalización de la madera superflua de la obra muerta y el uso del empernado de hierro y cobre (Lorenzo de Membiela, 2019).

La construcción de navíos durante este tiempo pasó de un enfoque tradicional a uno que integraba y adaptaba metodologías extranjeras, en particular francesas e inglesas, en la búsqueda del fortalecimiento y desarrollo tecnológico de la flota. Las decisiones de diseño estaban profundamente influenciadas por los materiales disponibles y los métodos de unión. Los reglamentos de construcción, a menudo inspirados en modelos extranjeros, buscaban estandarizar y mejorar la calidad de la construcción naval.

Este periodo de transición se movió en el entorno de la adaptación y avance tecnológico. La reforma del **Marqués de la Ensenada** permite el abandono de la construcción con maderas de gran tamaño, que resultaban en barcos de mayor coste y vida útil más corta. Estos cambios tuvieron como objetivo adoptar el sistema

inglés de construcción naval, caracterizado por el uso de piezas estandarizadas, construcción en diques, y menor necesidad de mantenimiento, ofreciendo así un método más eficiente y económico. La adopción del sistema inglés trajo cambios notables, como la modificación en la estructura de las quillas, varengas, genoles, y la fortificación de cubiertas. Se introdujeron innovaciones como planos detallados y series de barcos idénticos. Sin embargo, esta transición no estuvo exenta de desafíos.

Indudablemente la incorporación de decisiones constructivas extranjeras trajo desafíos estructurales, que requerían el refuerzo de las uniones o técnicas de empalme como podían ser la diferencia en las quillas y genoles. Un elemento claramente inglés era el uso de cabillas para el forro pero, debido a la pudrición y debilitamiento de la estructura, es sustituido nuevamente por la clavazón de hierro por *Real Orden* del 6 de diciembre de 1763, volviendo al método español (Valle Cabezas, 2020). Es por ello que a pesar de una vuelta a un sistema más español en los refuerzos, se conservaron elementos particulares del sistema inglés.

Estos problemas llevaron a la Junta de Constructores, convocada por Ensenada, a revisar y consensuar regulaciones y recomendaciones para mejorar la construcción naval, culminando en el *Reglamento* de 1752 y las *Recomendaciones* de 1754 que configuraron el sistema inglés enriquecido con aportaciones de los sistemas tradicional español y francés. Desde 1764, **Francisco Gautier**, se centró en la calidad de las maderas y lideró la adopción del sistema francés, marcando otro cambio importante en la construcción naval española. Este periodo fue también testigo de un intenso debate sobre la robustez y eficacia de los diferentes sistemas de construcción.

Se observó un periodo de experimentación y adaptación, incorporando conocimientos y técnicas tanto nacionales como extranjeras, y estableciendo un legado de innovación y adaptación técnica que sigue siendo relevante en la construcción naval moderna.

La construcción se dirigió a métodos híbridos que incorporaban las mejores prácticas de las influencias nacionales y foráneas. Por tanto, se puede considerar un periodo de experimentación y adaptación a través de la adopción de nuevos conocimientos, técnicas y reglamentos.

5.7. Los canales, desarrollo e influencia pre y posindustrial

En contraste con la ostentación francesa del Gran Canal de Versalles, el cual cumplía un propósito recreativo y simbólico, la segunda mitad del siglo XVIII trae la aparición del uso de los canales para alimentar la maquinaria pre y postindustrial en Europa.

5.7.1. Canal de Castilla

Durante la Ilustración española, un ambicioso proyecto de cuatro canales, llamado el Canal de Castilla, comenzó su construcción en 1753 a propuesta del **Marqués de la Ensenada** y fue desarrollado por el ingeniero **Carlos Lemaur**[190] (1721-1785) bajo la supervisión de **Antonio de Ulloa**. Estos dos últimos tuvieron ciertas discrepancias respecto al trazado, debido a que **Ulloa** consideraba el uso exclusivo del canal como transporte, mientras que **Lemaur** decidió incorporar el regadío, lo que incrementaba la longitud y la complejidad del canal (Figura 5.4). Estas obras quedaron paralizadas por primera vez tras la caída del **Marqués de la Ensenada** en 1754. Esta iniciativa faraónica fue interrumpida en varias ocasiones y comenzó a funcionar 100 años después, en 1849. La mayor interrupción de las obras la localizamos en el periodo comprendido entre 1799 y 1831, coincidiendo con la guerra de la Independencia (1808-1814) y la pérdida de la mayor parte de las colonias americanas.

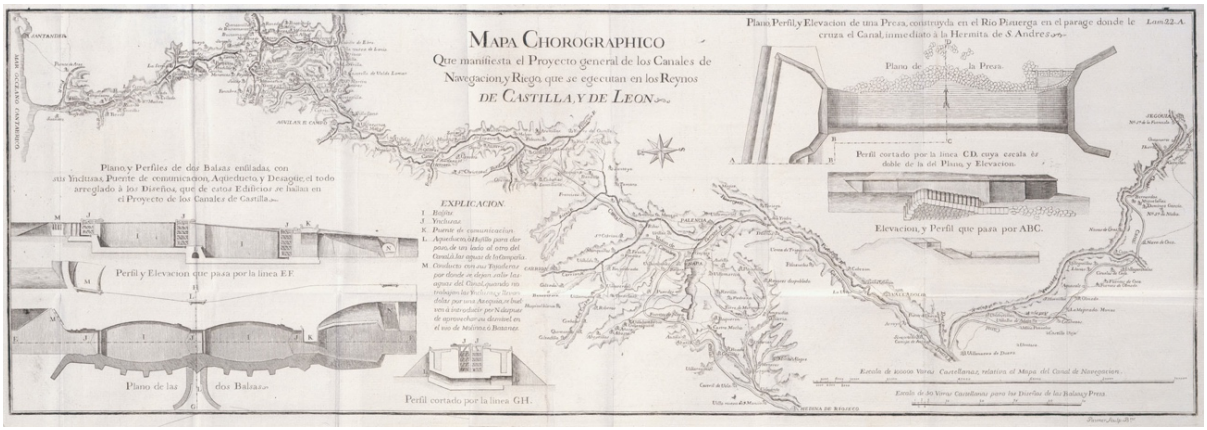


Figura 5.4: Proyecto del canal de Castilla. John Muller, 1769. Fuente: BNE

El objetivo principal del Canal de Castilla fue el de solventar el aislamiento del centro de la Península, especialmente de Castilla la Vieja y del Reino de León, los

[190] Carlos Lemaur fue un ingeniero militar de origen francés que se incorpora en 1750 al ejército español; se le encomendó el estudio de la viabilidad del proyecto y su posterior ejecución. Tomó parte en numerosas obras públicas y arquitectónicas durante el siglo XVIII. Su último proyecto: la presa de El Gasco.

cuales, frente a otros territorios más cercanos a la costa, no se beneficiaban de las ventajas del transporte marítimo. A lo largo de cientos de años, España no benefició a las infraestructuras, pues se decantó por la exploración y por los conflictos internacionales. Así, la riqueza adquirida durante esas grandes empresas fuera de la Península no revertió en una mejora en el propio país. Es por tanto que autores, como **Bernardo Ward**[191] (f. s. XVII-p. s. XVIII) con su *Proyecto Económico* (1779), refuerzan la idea de que el crecimiento de la economía está ligado a la comunicación y a la eliminación de obstáculos físicos y fiscales. Otros escritores económicos también apoyan esa necesidad de obra pública incluyendo a **Bernardo de Ulloa y Sosa** (1682-1752) quien publica *Restablecimiento de las Fábricas y Comercio Español* (1740), influenciado por **Gerónimo de Uztáriz y Hermiaga** (1670-1732) en *Theórica y práctica de comercio y de marina* (1757). La variación de los precios de las mercancías es un claro indicador del impacto del transporte, que, debido a la compleja orografía del norte de la Península, llegaba a requerir el transporte a lomos. La importancia del precio del grano fue destacada por **Gaspar Melchor de Jovellanos** (1744-1811) que supo analizar la situación agraria del siglo XVIII. Durante este siglo, España permaneció como un país profundamente agrario, al igual que el resto de Europa, con los que compartía muchos de los males como la concentración de tierras y la subida de precios. Dichos males acarrearon multitud de conflictos, al igual que una rica literatura al respecto.

> *"Aunque la fanega de trigo se vendiese en Palencia a seis reales, como sucedió, por ejemplo; en 1757, su precio en Santander sería de 22 reales, sin embargo de ser el punto más inmediato. Y cuál sería aquí el de los trigos de Campos, tanto más distante?"*
> *(Melchor de Jovellanos, 1820)*

La importancia del puerto de Santander en el desarrollo de este proyecto es destacada en publicaciones como *Canal de Castilla: El recuerdo de un sueño* ilustrado (López Linaje, 1985). En ella se destaca la transición como puerto exportador de lana al comercio harinero. Durante la etapa más relevante, entre 1844 y 1890 se llegó a exportar una media de 30.000 toneladas al año sólo en ese puerto. Esta producción harinera fue fruto de un interés por abastecer a los territorios de ultramar frente a otros productores extranjeros, que tras la travesía, traían productos como el azúcar y el café a la Península.

[191] Bernardo Ward fue un economista de origen irlandés que, gracias a una Real Orden Fernando VI, es enviado al extranjero para investigar el avance industrial. Tras su señalado viaje, es nombrado ministro de la Real Junta de Comercio y Moneda.

En la actualidad, el canal que nos ocupa está gestionado por la Confederación Hidrográfica del Duero, creada en 1927, y es empleado para abastecimiento de agua, la producción de energía eléctrica, el regadío y la navegación y otros fines recreativos. El aprovechamiento del canal para fines secundarios ya lo contempló **Lemaur** desde su origen. Este ingeniero incluyó un sistema de regadío del que se beneficiasen los territorios por los que transitase el canal y, actualmente, constituye una de sus funciones principales. Esta función supuso la aparición de otros cultivos que requerían de regadío más intenso como era el caso de la remolacha azucarera, reforzada debido a la pérdida de Cuba y, con su correspondiente ventajoso comercio de caña de azúcar. Beneficiándose del salto hidráulico las esclusas se emplearon como fuente de energía, factor especialmente favorable para las fábricas que allí se emplazaron. Esta explotación puede datarse de 1775 con el arquitecto real **Francisco Sabatini** (1721-1797), quien introdujo la idea tras sus visitas al canal.

5.7.2. Canales extranjeros

El empleo de nuevas técnicas en el uso del carbón abarató el hierro y el acero e incrementó el empleo de esos materiales en la construcción. Esta utilización dio lugar a la reducción del uso de la madera como combustible, pero requirió una nueva logística que permitiese un precio bajo para asegurar su demanda. Este hecho se manifestó en el floreciente uso del transporte por canales en países como el Reino Unido (Wrigley E., 1962). Otros países de Europa también eran conscientes del ventajoso uso de las vías navegables interiores para el transporte: Francia, con los canales de *Briare* y *Languedoc*, el canal *de Willebroek* en la actual Bélgica, los canales de Ámsterdam en los Países Bajos o el canal de *Stecknitz* en Alemania, entre otros.

El primer canal moderno en el Reino Unido se completó en 1741: el Canal de *Newry*. Aunque había registros de la extracción de carbón en 1654 en el este de *Tyrone*, no fue hasta que el aumento de la producción de la operación minera[192] cuando hubo la necesidad de transportar grandes cantidades de carbón de una manera más eficiente. Se consideraba que un carro tirado por un caballo transportaría alrededor de una tonelada y, cuando se utiliza una barcaza, ese mismo caballo podría tirar de setenta toneladas. Aunque el primer barco de vapor exitoso, el **Clermont**, fue construido por **Robert Fulton** en 1807, las barcazas

[192] La principal operación de la zona comienza con Francis Seymour en 1723, se trata de una zona que acabará siendo conocida como "Coalisland" por su actividad minera.

tiradas por caballos seguirán siendo un medio de transporte económico hasta principios del siglo XX.

Apenas 50 años después de la construcción del Canal de *Newry*, el Reino Unido fue objeto de un fenómeno denominado *Canal Mania*, donde entre 1791 y 1794 se construyeron un total de 42 canales. Los cuales representan un tercio de todas las inversiones hasta 1830 (Bagwell, 1988). Poco después, en 1812, el Canal de *Regent* abrió por primera vez sus puertas y formó parte de un sistema de vías navegables que comunicaba el mundo con los centros industriales de Inglaterra.

El declive del transporte por canal en el Reino Unido durante el siglo XIX se atribuye principalmente al auge del ferrocarril. A partir de 1845, el monopolio ferroviario, impulsado por eventos como la inauguración del *Liverpool Manchester Railway* en 1830, comenzó a absorber secciones vitales de la red de canales. A pesar de las ventajas de ciertos canales, como los de menor gradiente en Escocia, los ferrocarriles adquirieron predominio. Las esperanzas iniciales puestas en el ferrocarril fueron moderadas debido a ineficiencias y baja rentabilidad. La *Ley de tráfico ferroviario y de canales* de 1854, y las leyes posteriores intentaron nivelar el campo de juego, pero los ferrocarriles controlaban más de un tercio del kilometraje de canales hacia finales del siglo XIX. Algunos canales fueron convertidos o cerrados, pero la intervención local permitió la conservación y eventual revitalización de muchos de ellos, como se tratará en los capítulos posteriores.

El empleo de canales para el transporte de mercancías y pasajeros no ha perdido vigencia. Actualmente, los canales de Suez (1869) con 193 km y Panamá (1914) con 82 km son utilizados por una flota que representa millones de toneladas anuales, lo que proporciona unos ingresos relevantes en los territorios en los que se encuentran.

También se debería destacar el Gran Canal de China (486 a.C.), siendo el más antiguo y de mayor longitud del mundo[193], comenzó su declive tras la Rebelión Taiping[194] (1850-1864) debido a los altos costes de mantenimiento fue descuidado durante la dinastía Qing. Su abandono fue tan significativo que el trazado original ha llegado a ser disputado debido a la sedimentación. Aun así, en la actualidad se continúa empleando para el transporte de carbón y como atractivo turístico. Al

[193] Las primeras secciones del Gran Canal de China datan de 486 a.C., y su longitud es de 1.776 km.

[194] La Rebelión Taiping fue una guerra civil que evidenció la debilidad de la dinastía Qing y la creciente influencia extranjera, agravada por las Guerras del Opio (1839-1842, 1856-1860).

igual que otros canales, el transporte marítimo y la aparición del ferrocarril convirtieron a este medio de transporte, que tanto fascinó a **Marco Polo**[195] (1254-1324), en una alternativa menos económica que, en tiempos remotos, había sido vital para el transporte de grano.

5.7.3. El carbón y su influencia en el transporte

A pesar de que el consumo del carbón a gran escala aportó beneficios significativos, también originó nuevos retos, cuya resolución estableció algunas de las bases económicas y tecnológicas cruciales para la Revolución Industrial. El desafío principal residía en el elevado costo relacionado con el transporte del carbón usando los medios disponibles en ese momento. Para que el carbón llegara a los domicilios y a los sectores industriales, debía ser accesible y esa accesibilidad estaba vinculada a un transporte económicamente viable. Por esta razón, el transporte marítimo tomó la delantera inicialmente en el transporte del carbón.

La adopción general del carbón fue dificultada por los costosos precios del transporte por carretera, los cuales doblaban su precio a unas cinco millas de su origen. Por lo tanto, la primera gran industria carbonífera se instaló en el Tyne, aprovechando el transporte marítimo, históricamente la forma más económica, de acceder a mercados como el de la capital. Los sistemas de transporte terrestre no estaban diseñados para el movimiento de grandes cantidades, ya que la mayoría de los productos se distribuían en áreas extensas. No obstante, la naturaleza focalizada de la producción de carbón y su demanda creciente promovieron mejoras en el transporte, hecho que hizo evidente cuando el comercio de carbón entre Newcastle y Londres manifestó las ventajas del carbón sobre la madera; el resultado fueron avances significativos en los métodos de transporte marítimo y en las infraestructuras.

El siglo XVIII presenció innovaciones como los canales. Inglaterra desarrolló una red, principalmente, en respuesta a la necesidad de materias primas minerales. Aunque Europa ya conocía los canales, la red inglesa sobresalía por su propósito. Estos canales eran particularmente rentables cuando facilitaban el tráfico de minerales.

Paralelamente, el ferrocarril, otra solución económica para el transporte interno, en especial para el carbón, estaba en desarrollo. Desde sus humildes inicios con

[195] Marco Polo dejó testimonio de los canales en la actual ciudad de Suzhou. Esta ciudad se favoreció del tráfico del Gran Canal.

tablones de madera para carros tirados por caballos cerca de las minas, los ferrocarriles evolucionaron hasta convertirse en sistemas más avanzados, destinados inicialmente a la producción mineral, pero que, eventualmente, favorecieron a otros productos y al transporte de pasajeros. La mayoría de los ferrocarriles en las regiones estrictamente agrícolas de Inglaterra lucharon por ser rentables.

Durante el siglo XVIII, la producción de carbón se catapultó, transformando el transporte y erigiéndose en la columna vertebral para la creación de canales y ferrocarriles. A fines de dicho siglo, el carbón era insuperable en términos de peso e importancia productiva, moldeando el paisaje infraestructural de la era.

5.8. Educación naval

Al adentrarnos en la complejidad de la ingeniería naval de la época, es imprescindible reflexionar sobre cómo las numerosas obras, combinadas con el nacimiento de instituciones educativas específicas y la incorporación de prácticas y de conocimientos foráneos, impulsaron el desarrollo y la estandarización de la construcción naval, inscribiendo a la ingeniería naval del siglo XVIII en los anales de la historia como el alba de una era dominada por la fusión de la ciencia y del arte en los astilleros.

5.8.1. Publicaciones

La primera mitad del siglo XVIII la cerramos con la celebérrima obra *Traité du navire*, la segunda mitad del siglo tuvo obras que favorecieron el avance científico, como fue *Scientia navalis* (1749) la cual curiosamente debía haberse publicado anteriormente y causó al autor de la misma su primacía entre sus seguidores en el campo de la teoría naval. Esta es una de las obras más singulares de **Leonhard Euler** (1707-1783) y destaca por sus contribuciones originales a la mecánica de fluidos y a la construcción naval. En este tratado, **Euler** establece por primera vez los principios fundamentales de la hidrostática y sienta las bases para la teoría de la arquitectura naval. El primer volumen de *Scientia navalis*, cuyo título completo es *Scientia Navalis seu Tractatus de construendis ac dirigendis navibu*s, expone una teoría general del equilibrio de cuerpos flotantes, incluye una innovadora explicación sobre la estabilidad y pequeñas oscilaciones en torno a una posición de equilibrio. En el segundo volumen, **Euler** demuestra la aplicación de la teoría general al diseño de buques y aborda temas como la estabilidad, el comportamiento

en el mar y ante el viento, así como aspectos específicos: mástiles, velas y timones. Esta obra representa un hito en el campo de la mecánica racional, siendo tan relevante como su anterior trabajo, *La Mecánica* (1736). A lo largo del tiempo, *Scientia navalis* ha mantenido su importancia y ha influido significativamente en el desarrollo de la navegación y de la ingeniería naval. Este tratado fue fundamental para comprender, por primera vez, los principios del empuje generado por la hélice. Se sabe que **Euler** concluyó *Scientia navalis* en la primavera de 1743[196] y que había planeado su publicación con el apoyo financiero de la Academia de San Petersburgo. Sin embargo, debido a ciertas dificultades económicas, la publicación se retrasó más de una década. Finalmente, gracias al apoyo del Almirantazgo ruso, los dos volúmenes de *Scientia navalis* fueron publicados en 1749[197], asegurando que las importantes contribuciones de **Euler** en el campo de la mecánica de fluidos y de la construcción naval fueran accesibles al público y pudieran influir en la evolución de la ciencia y de la ingeniería naval.

En orden cronológico, le sigue *Élémens de l´architecture navale* (1752). La obra de **Henri-Louis Duhamel du Monceau** (1700-1782) se convierte en el material de referencia principal para la Escuela francesa de constructores navales. Previamente, en 1747, había publicado el *Traité de la fabrique des manœuvres pour les vaisseaux*, *ou l'Art de la corderie perfectionné*. Para las ilustraciones de su obra de 1752 empleó los servicios del pintor y dibujante para la Marina **Nicolas-Marie Ozanne** (1728-1811), entre cuyas otras obras relevantes se encuentra *Construction des vaisseaux. Membre du vaisseau détachés les uns des autres* del mismo año y muestran un detallado despiece de los elementos de construcción de los buques. Desde 1739, **Duhamel du Monceau** ejerció como inspector de Marina, lo que le brindó la oportunidad de reunir una valiosa colectánea de modelos de naves y maquinaria portuaria, que posteriormente conformarían la médula del Musée de la Marine. En el año 1741, estableció la *École de Paris* (posteriormente renombrada como *École du Génie Maritime*), brindando a los alumnos más sobresalientes una educación científica crucial durante tres años, lo cual fue esencial para el progreso del Cuerpo de Ingenieros Navales de Francia. Con la intención de enriquecer la capacitación de estos estudiantes, **Duhamel du Monceau** redactó su tratado de construcción naval. A pesar de no ser constructor naval de profesión, **Duhamel du Monceau** demostró una excelente habilidad para organizar los capítulos de forma pedagógica en sus obras. Tanto el *Traité de la*

[196] Euler informa al astrónomo Christian Nicolaus Winsheim (1694-1751).
[197] El prólogo data de 25 de enero de 1749.

fabrique des manœuvres pour les vaisseaux, *ou l'Art de la corderie perfectionné* de 1747 como *Élémens de l'architecture navale* de 1752 son claros y están ilustrados de manera exhaustiva. Ambas obras fueron autorizadas para su publicación, lo que rompió el cerco de confidencialidad que existía en el ámbito de las construcciones navales en Francia, que evitaba la revelación de los celosamente guardados secretos de los constructores.

Suecia, al igual que otros países europeos, experimentó un activo desarrollo en la teoría y ciencia naval. En 1768, **Fredrik Henrik af Chapman** (1721-1808) completó su obra internacional fundamental, *Architectura Navalis Mercatoria*, la cual incluía 62 grabados de embarcaciones de diversas dimensiones, clases y banderas (Figura 5.5). Luego, en 1775, complementó esta obra con *Tractat om skepps-byggeriet*, un tratado sobre las construcciones navales escrito inicialmente en sueco y, posteriormente, fue traducido al francés, al alemán y al inglés. Estas traducciones fueron vitales para la difusión internacional de la obra de **Chapman** a pesar de que la explicación de *Architectura Navalis Mercatoria* no se encontrase en ellos. En ediciones posteriores, como la de 1820, sigue presente (Chapman, 1820). **Champan** es considerado un destacado exponente del uso del método científico en la construcción naval. Es relevante mencionar que **Thomas Von Rajalin** (1673-1741) publicó, 38 años antes, otro tratado titulado *Nödig underrättelse om skeppsbyggeriet* (1730), por el cual recibió una importante recompensa en efectivo del gobierno sueco. A pesar del reconocimiento mundial del primer tratado de **Chapman**, la obra de **Von Rajalin** también dejó su huella en la historia de la construcción naval en Suecia.

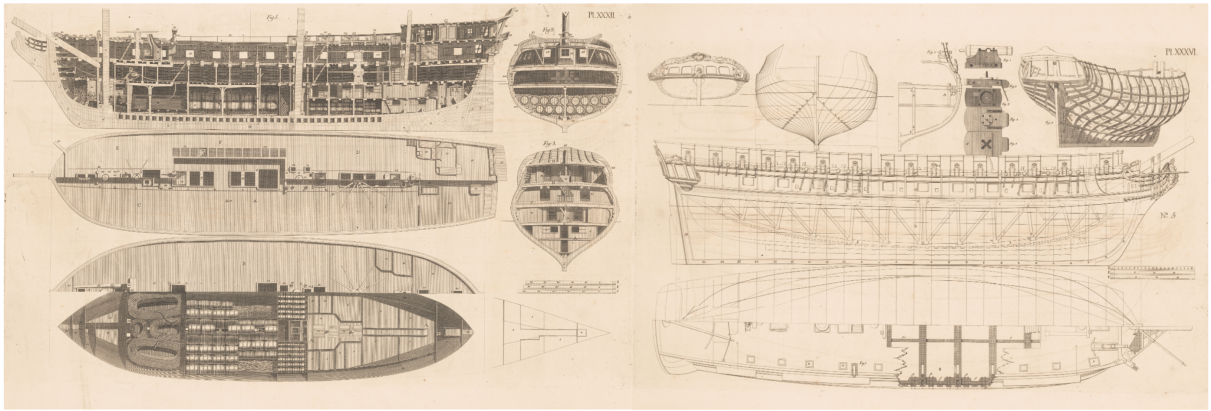


Figura 5.5: Perfil, cubierta y secciones (izq.), perfil, cuadernas y baterías de fragata corsaria (dcha.). Fuente: Fredrik Henrik af Chapman *Architectura Navalis Mercatoria* (1768)

La lista de obras españolas mencionadas en este trabajo continúa con una figura y una obra fundamentales de la segunda mitad del siglo XVIII: **Jorge Juan** y su obra

Examen Marítimo Teórico Práctico (1771). Pese a que no nos detendremos en el análisis detallado de la figura de **Jorge Juan**, ya que existen múltiples trabajos anteriores que han abordado su vida y obra extensamente, es pertinente señalar que su obra *Examen Marítimo Teórico Práctico o Tratado de mecánica aplicado a la construcción, conocimiento y manejo de los navíos y demás embarcaciones*, dividida en dos tomos, desempeñó un papel esencial en la construcción naval y en la navegación del siglo XVIII. El texto, repleto de cálculos matemáticos y reflexiones, se convirtió en una referente imprescindible para los estudiosos, elevó el prestigio de **Jorge Juan** y lo consolidó como una eminencia en temas navales. Dicha obra se convertiría en un pilar fundamental de la teoría de la construcción naval, siendo original al incorporar cálculos matemáticos. Analizaba la dinámica de los buques, su estabilidad, su relación con el impacto de las olas, así como los esfuerzos a los que se sometía la arboladura y basaba todo el análisis en la experimentación. Pronto, esta obra adquirió reconocimiento y fue traducida y conocida en toda Europa. La contribución de **Jorge Juan** a la historia naval, tanto a nivel mundial como en el contexto específico de España, debe considerarse una de las más completas y significativas. Logró combinar de manera única el avance científico, especialmente en los campos teóricos de las matemáticas, con la aplicación práctica de principios de mecánica e hidrostática. Su trabajo en teoría naval incluyó conceptos avanzados para su época, como el viento aparente[198]. Además, realizó valiosas contribuciones al diseño y construcción de navíos, integrando de manera efectiva la teoría con la práctica.

En febrero de 1782, **Romero Fernández de Landa** (1735-1807) presenta su trabajo más significativo, titulado *Reglamento de maderas necesarias para la fabricación de los bajeles del Rey*. El cual recibió aprobación oficial en 1784. En una misiva, expone las razones detrás de su trabajo, que incluyen la carencia de un reglamento para el corte y la recepción de maderas, la existencia solo de reglamentos para navíos de 64 y 74 cañones, la necesidad de fijar normas para reemplazar el roble por el pino y el cedro (Figura 5.1), así como la importancia de pagar la madera según la clase de su dimensión inferior para prevenir fraudes y conflictos con los asentistas responsables de proveer la madera. En su obra, **Romero Fernández de Landa** establece que las diferencias entre los buques estriban en la variedad del tipo o cuantía de piezas, la de escantillones y, finalmente, en el gálibo de las piezas

[198] En el *Examen Marítimo Teórico Práctico* es mencionado como una posibilidad de navegar a la velocidad del viento con una adecuada disposición de las velas. Un concepto novedoso, pero ya superado en la actualidad en la que embarcaciones de vela superan la velocidad del viento.

(plantilla). Su reglamento proporcionó un marco riguroso para la selección y uso de maderas en la fabricación de embarcaciones del Rey, asegurando una gestión eficiente y precisa en el proceso de construcción naval.

5.8.1.1. Enciclopedias

Las enciclopedias,[199] cuya finalidad es proporcionar un conocimiento universal y objetivo, experimentaron su universalización a partir de la década de 1750, aunque se tuviese constancia de obras anteriores como *Historia Natural* (77 d.C.) de **Plinio el Viejo** (23-79 d.C.), *Etymologiae* o *Etimologías* (627/630) de **Isidoro de Sevilla** (c.556-636) o las obras no occidentales como la india *Brijat-samjita* (S.VI) y la islámica *Enciclopedia de los Hermanos de la Pureza* (S.X-XI) en el mundo islámico. Es la imprenta la que permite la mayor producción y distribución de este tipo de obras, y en 1751 se publica *Encyclopédie, ou Dictionnaire Raisonne des Sciences, des Arts et des Métiers* de la mano de **Denis Diderot** (1713-1784) y **Jean le Rond d'Alembert** (1717-1783), la cual entre sus láminas incluyen : *Marine, Vaisseau de Guerre avec toutes ses Manoeuvres et Cordages*.

Tras tres décadas de espera, se publica finalmente una edición formal dedicada al conocimiento marítimo: *Encyclopédie Methodique Maritime* publicada en 1786 por **Charles-Joseph Panckoucke** (1736-1798). Esta monumental obra, que incluía artículos detallados sobre navegación, cartografía marina, construcción naval, marina de guerra, pesca, comercio marítimo, meteorología marina, biología marina y otros campos relacionados con el mar, se inscribe en el marco del ambicioso proyecto enciclopédico *Encyclopédie Méthodique* (1782). La parte marina, que contó con numerosos colaboradores, contribuyó a la difusión del conocimiento marítimo y sentó las bases para el posterior desarrollo de los estudios marítimos y de las ciencias del mar en Francia y en todo el mundo.

Coetáneo y con el mismo objetivo de sistematización del conocimiento del mundo ilustrado la *Encyclopædia Britannica* (1768). Esta vocación enciclopédica tuvo un despertar en el siglo siguiente con obras como el *Gran Larousse del siglo XIX*[200] (1863), al que le siguieron la *Enciclopedia Espasa-Calpe* (1905) como proyecto español del siglo XX. Este testigo pervive y, fruto de la digitalización, aparecen la

[199] Fruto de las voces griegas enkyklios (envolver) y paideia (educación).
[200] Título original: *Grand Dictionnaire universel du XIXe siècle*.

Enciclopedia Encarta (1993) y la *Wikipedia* (2001), los cuales, como sus predecesores, no estuvieron exentos de controversia[201].

5.8.2. La ingeniería naval moderna y el Cuerpo de Ingenieros de Marina

Durante el reinado de **Carlos III** (1716-1788), se llevó a cabo la formación del Cuerpo de Ingenieros de Marina, pensado como un grupo técnico especializado y dirigido por un Inspector General, cuya función era la supervisión de los gastos de los astilleros, los cuales se encontraban en extraordinario crecimiento. Bajo el mencionado reinado, se botaron 206 unidades, lo cual impulsó de manera notable el poderío naval español. Sin embargo, este aumento también trajo consigo un extraordinario crecimiento en los costos de producción y mantenimiento de la flota, que hizo imprescindible la transformación naval aludida anteriormente.

El Almirantazgo desempeñó un papel fundamental en la ejecución de una decidida política de organización de la Armada bajo la dirección de **Zenón de Somodevilla y Bengoechea**, conocido como el **Marqués de la Ensenada**. Durante este período, se publicaron las Ordenanzas de Marina en 1748, lo que impulsó la producción de las materias primas mediante la implementación de la Ordenanza de Montes en el mismo año. Además, se promovieron las producciones necesarias para pertrechar la industria naval y los Arsenales. El **Marqués de la Ensenada** desplegó una red de espías e informantes para aprovechar la experiencia y tecnología de otros países europeos. Se reclutaron y enviaron artefactos y secretos industriales, así como planos, mapas, libros y manuscritos técnicos. Entre las misiones de espionaje más destacadas para la Armada se encuentran las llevadas a cabo por **Jorge Juan** (1713-1773) en Inglaterra y por **Antonio de Ulloa** (1716-1795) en los principales puertos y arsenales europeos. Estos personajes hicieron aportaciones científicas notables, lo que les valió el reconocimiento internacional, incluyendo la membresía en la *Royal Society*. El trabajo de **Jorge Juan** resultó de vital importancia para la reforma de la Armada, ya que introdujo valiosos conocimientos técnicos provenientes del extranjero. De igual modo, fue el autor de diversas publicaciones, entre las que destacan *Compendio de Navegación* (1757) y *Examen Marítimo* (1771).

Asimismo, como parte de las reformas, fueron contratados artesanos y constructores ingleses que implantaron el sistema inglés de construcción naval, el

[201] En particular, la obra *Encyclopédie Méthodique* tuvo una acogida complicada debido al artículo "Espagne" (1782) de Nicolas Masson de Morvilliers (1740-1789) cuyas críticas a este país fueron palpables.

cual era, en realidad, una transformación de lo establecido previamente por **Cipriano de Autrán y Oliver** (1697-1773). Este cambio podría ser considerado como la primera revolución en la construcción naval española, marcando un antes y un después en la modernización y fortalecimiento de la Armada.

Previamente han sido citadas obras de gran influencia en el campo de la arquitectura y de la construcción naval. No obstante, la verdadera relevancia de estas obras radica en su aplicación práctica en la construcción naval. Del mismo modo que instituciones como el Real Colegio Seminario de San Telmo de Sevilla (1681-1847) fueron creadas para abordar la escasez de personas capacitadas en temas marítimos para la carrera de Indias, la tecnificación y aplicación científicas en la construcción de navíos requería personal altamente cualificado. Por tanto, exigía abandonar la actitud celosa de sir **William Petty** (1623-1687) en cuanto a la enseñanza naval y promover la estandarización del diseño y construcción, lo que difería de las técnicas artesanales previas.

La génesis de la formación en ingeniería naval se halla, sin duda, en los astilleros. Los aprendices acudían a ellos y, bajo la guía y la retribución al maestro, obtenían la instrucción necesaria para ejercer el oficio. Este modelo perduró en Inglaterra, ya que la construcción de buques de guerra se llevaba a cabo en astilleros de índole privada. No obstante, en naciones como España o Francia, la construcción naval militar transitó a ser un cometido estatal con el advenimiento de los arsenales, haciendo que la educación formal en esta disciplina se justificara plenamente en el ámbito de las entidades estatales que podían hacer frente a los costes derivados de esta formación. Por ende, la instauración de un sistema educativo formal en ingeniería naval tuvo lugar primeramente en esos astilleros estatales. Pese a esto, los buques de construcción inglesa, fundamentados en la experiencia acumulada, consiguieron mejorar sus diseños sin adoptar, hasta bien entrado el siglo XIX, las avanzadas teorías de cálculo y arquitectura naval.

En España, en 1781, las recién adquiridas responsabilidades militares y avances tecnológicos exigieron una revolución en la construcción naval. **Francisco Gautier** (1733-1800) fue el impulsor de este cambio al crear el Cuerpo de Ingenieros de Marina en 1770 y al dirigir la Escuela de cadetes. Implementó avances en la capacitación de los ingenieros, la estructura organizativa y los métodos de construcción. Los diseños propuestos reforzaron la robustez y progresaron en las formas y los aparejos de los buques con el objetivo de incrementar su velocidad y maniobrabilidad. Posteriormente, dos años después, se establecieron los estudios formales en Ingeniería Naval, culminando en la fundación de la Academia de

Ingenieros de Marina en 1772. Por tanto, las mejoras, implantadas por **Francisco Gautier**, fueron de carácter educativo, organizativo y constructivo. En lo referente a los materiales, debido a la escasez de las maderas, se redujeron los escantillones de las piezas.

Un ejemplo notable de estas innovaciones fue el navío de 74 cañones **San Ildefonso** (1785) y, más adelante, en las últimas décadas del siglo, el **Montañés** (1794). Los programas de estudio en ingeniería naval se mantuvieron como una parte integral de la Armada hasta avanzado el siglo XX.

5.8.3. Aparición de estudios de construcción naval

Hasta que no surgen la estandarización y la homogeneización de las enseñanzas navales, no debe hablarse del comienzo de los estudios en este campo ya que, hasta entonces, el conocimiento se encontraba confinado en los astilleros. Una de las iniciativas más notables para trasladar la formación naval fuera de los arsenales fue la realizada por **Henri-Louis Duhamel du Monceau**, quien en 1741 estableció en París una Escuela de Marina destinada a la educación de constructores navales altamente capacitados. Para el año 1765, esta institución dejó de ser un emprendimiento personal y comenzó a recibir soporte institucional, lo que contribuyó a mejorar el estatus social y profesional de los constructores navales, enriqueciéndolos con una formación científica más sólida. Con el tiempo, la escuela evolucionó para convertirse en la *École des Élèves Ingénieurs-Constructeurs de la Marine* y en 1786 abrió sus puertas a la formación civil. Este enfoque educativo se extendió rápidamente a otros países influenciados por Francia.

En España, la Academia de Ingenieros de la Armada fue establecida en 1772 por **Gautier** en respuesta a nuevos compromisos militares y a avances tecnológicos que exigían una revolución en la construcción naval española. Por su parte, en Venecia, **Gian Maria Maffioletti** (1740-1803) fundó la *Scuola di architettura navale* en 1777 dentro del histórico arsenal de la ciudad. Dinamarca, por otro lado, ya había iniciado su formación en construcción naval desde la apertura de la Escuela Naval, *Sø-akademiet*, en 1701, como parte de la formación de sus futuros oficiales. En Holanda, la influencia inglesa demoró la adopción de este enfoque hasta las guerras napoleónicas, lo que resultó en la centralización de la construcción naval y a la fundación de la Escuela de Ingeniería Naval en 1822. Sin embargo, el modelo francés no fue el único referente en Holanda, ya que también mantuvieron influencias inglesas y españolas. No obstante, el modelo francés no dominó

completamente la construcción naval en Holanda, ya que este país mantuvo influencias inglesas y españolas. En cuanto a los contenidos de los estudios, las academias y escuelas ofrecían una amplia variedad de disciplinas. A pesar de que la selección inicial de estudiantes podía ser algo arbitraria, se valoraba la competencia en matemática, especialmente en cálculo, que se reforzaba a lo largo de la formación con mecánica, física y teoría del buque, entre otras materias. A medida que avanzaban la ciencia y la técnica de la construcción naval, los contenidos de los estudios evolucionaron y se especializaron[202].

La enseñanza de la construcción naval presentaba dos grandes corrientes: el sistema francés, basado en la formación teórica, y el sistema inglés, inclinado a la experiencia. En la actualidad, ambos métodos comparten ciertos matices y se exige a los académicos un periodo de prácticas, mientras que el sistema de aprendices puede convalidarse en la formación reglada.

El progreso de la construcción naval ha sido un ejemplo evidente de transferencia tecnológica. Los constructores navales han incorporado diferentes técnicas y conocimientos de diversas procedencias: a través de espías, de la incorporación de expertos extranjeros, de la captura y la compra de buques, entre otros. Las principales potencias navales impusieron sus modelos de construcción, pero no siempre se adoptaron por completo, existiendo colaboraciones amistosas o influencias bélicas. La construcción naval en España experimentó cambios importantes a lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII pues fusionó modelos ingleses, franceses y españoles, lo que llevó a un nivel técnico extraordinario en este periodo y produjo embarcaciones notables como el navío **Montañés** (1794).

5.8.4. Observatorios

La comunidad científica experimentó una serie de descubrimientos y avances que contribuyeron significativamente a la comprensión y desarrollo de la navegación. Uno de los logros más destacados fue la medición del meridiano el año de 1736. Estos progresos surgieron de las numerosas expediciones de carácter científico que se llevaron a cabo durante este período. Estas perseguían objetivos múltiples y abarcaban áreas tan diversas como la geología, la hidrografía, la botánica, la zoología y la antropología. Pero la navegación exigía una comprensión más precisa

[202] La formación actual incluye: ciencias básicas, ciencias aplicadas y conocimientos específicos de la titulación, con especialidades como Arquitectura Naval y Máquinas Navales.

del espacio, la cual llevó al perfeccionamiento de la cartografía, la astronomía y la cronometría.

Los esfuerzos astronómicos derivaron en la construcción de observatorios. En 1675, se erigió el Observatorio de *Greenwich*, con el claro objetivo de mejorar la comprensión de la longitud y el perfeccionamiento de la navegación. En sus instalaciones, **John Flamsteed** (1646-1719) realizó importantes descubrimientos que quedaron detallados en su obra póstuma *Historia Coelestis Britannica*. A lo largo de Europa, la idea de construir observatorios para avanzar en la astronomía y en la navegación adquirió impulso. En Francia, el Observatorio de París fue inaugurado en 1667 con objetivos similares. Sin embargo, en España, el establecimiento de estas instituciones fue más tardía: hasta la segunda mitad del siglo XVIII con la inauguración del Observatorio de San Fernando en 1753 y el de Madrid en 1790.

Uno de los desafíos más significativos en la navegación consistía en determinar con precisión la longitud recorrida por un buque. Este reto impulsó el desarrollo de los cronógrafos marinos, dispositivos que permitían medir el tiempo con precisión en alta mar; uno de los principales innovadores en este campo fue el relojero **John Harrison** (1693-1776).

5.8.5. Academias

En el ámbito del desarrollo científico y técnico en Europa durante los siglos XVIII y XIX, surgieron varias instituciones y sociedades que desempeñaron un papel fundamental en la promoción de las ciencias y de las ingenierías en distintos países.

En 1791, nace en el Reino Unido la *Society for the Improvement of Naval Architecture*, creación influenciada por el surgimiento de sociedades científicas en toda Europa y, en particular, en respuesta a los avances en ciencia hidrodinámica francesa. Esta sociedad, cuyo propósito era mejorar la flota británica y su Marina Mercante, se estableció como predecesora de la *Royal Institution of Naval Architects* en 1860. Las actividades destacadas de esta entidad incluyen los experimentos de **Mark Beaufoy** (1764-1827). Los primeros pasos de esta sociedad se llevaron a cabo en el *Crown and Anchor Tavern* en el *Strand* de Londres, un lugar común de reunión para los científicos de la época.

En Suecia, el año de 1739, se fundó la Real Academia de las Ciencias con la misión de fomentar la ciencia en el país, con un enfoque principal en las matemáticas y en

las ciencias naturales. Aunque su influencia externa fue algo limitada debido al uso del sueco en sus publicaciones, denominadas *Handlingar*, su producción científica tuvo un significativo impacto a nivel nacional. Científicos de la talla de **Fredrik Henrik af Chapman** (1721-1808), **Gilbert Sheldon** (1665-1739), **Thomas Von Rajalin** (1673-1741) o **Christopher Polhem** (1661-1751), por ejemplo, realizaron trabajos destacados bajo su égida. Desde 1747, su financiamiento se sustenta en un privilegio exclusivo sobre los almanaques, concediéndoles la autoridad para revisar todos esos registros publicados en Suecia y, por ende, obtenían derechos de autor derivados de su impresión y comercialización. Hoy, esta academia dirige diversos centros de investigación y otorga premios reconocidos internacionalmente, como los Premios Nobel de Física y Química.

El surgimiento de las academias en España se remonta a 1700[203], con la creación de la Regia Sociedad de Medicina y Demás Ciencias de Sevilla, seguida por la Real Academia Española en 1713. Sin embargo, las academias científicas nacionales no harían su aparición hasta mediados del siglo XIX, marcadas por un período histórico convulso. En 1847 se estableció la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Aunque las academias no eran especialmente populares en España, las instituciones militares promovieron la creación de varios centros, como la Academia de Guardias Marinas (1717), la Real Academia Militar de Matemáticas y Fortificación de Barcelona (1720), el Observatorio Astronómico de San Fernando (1753) y la Academia de Artillería de Segovia (1764).

En el marco de la sociedad civil, en la segunda mitad del siglo XVIII surgieron las Sociedades Económicas de Amigos del País. La pionera en este movimiento fue la Real Sociedad Bascongada de Amigos del País, creada en 1765. Esta sociedad estableció el Real Seminario Patriótico Bascongado de Bergara, una institución dedicada a la enseñanza e investigación de las ciencias experimentales y humanidades que adquirió un renombre considerable gracias, en parte, a sus célebres docentes, así **Joseph Louis Proust** (1754-1826).

Al final del siglo XIX en España, se desató una corriente de asociacionismo que, no obstante, no vería la constitución de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España hasta 1929, la cual edita la Revista Ingeniería Naval, iniciada por **Áureo Fernández Ávila** (1895-1980) y ha publicado más de 1000 números.

[203] Otras raíces históricas se remontan a 1584 con la fundación de la Academia Real Mathematica durante el gobierno de Felipe II (1527-1598). Juan de Herrera (1530-1597) encabezó esta iniciativa, con el objetivo de paliar las deficiencias en el estándar de excelencia científica de las universidades de la época.

5.9. De la gloria al abismo

En 1779, Ferrol presenció la construcción de su primer navío de tres puentes, el **Purísima Concepción**, equipado con 112 cañones lo convertía en uno de los mayores navíos de línea de su época. Este buque fue el fruto de las investigaciones de **Francisco Gautier**, basadas en los diseños de los barcos de línea como el **Santísima Trinidad** (1769), el **Royal Louis** (1692) francés y el **Royal George** (1756) británico. No obstante, es importante destacar que el **San Juan Nepomuceno**, construido en 1766, fue el primer navío realizado en España que empleaba el sistema de construcción naval francés.

En marzo de 1784, **Romero Landa** recibió la orden de dirigir la construcción del navío **San Ildefonso** según su diseño en Cartagena. La quilla del navío se colocó en mayo de 1784, y el barco fue botado el 22 de enero de 1785, convirtiéndose en un modelo emblemático de la época al establecerse su navío de 74 cañones como prototipo para futuras construcciones. En 1793, la Armada logró alcanzar su apogeo con una flota compuesta de 79 navíos, 54 fragatas y 156 buques menores.

La construcción naval en el siglo XVIII estuvo marcada por impresionantes avances técnicos y organizativos que resultaron en buques altamente sofisticados. La escasez y calidad de las maderas fue un desafío persistente. La expansión de la Marina Española aumentó la demanda de madera de calidad, lo que llevó a la implementación de reglamentos detallados que especificaban el número, dimensiones y forma de las piezas de madera. Estas políticas eran fundamentales para estandarizar la construcción y asegurar la disponibilidad de materiales adecuados. Además, se exploraron recursos forestales en territorios de ultramar, diversificando las fuentes de madera y superando la escasez local. En este contexto, figuras como **Francisco Gautier** y **Romero Landa** se destacaron por su contribución a la estandarización y optimización del diseño de los navíos. Por otro lado, el sempiterno adversario inglés se enfrentó a desafíos similares. La escasez de roble y otros recursos forestales llevó a una dependencia de importaciones de la región del Báltico y Noruega. Además, elementos cruciales como el alquitrán, el cáñamo y la pólvora dependían en gran medida de las importaciones. Este escenario impulsó la búsqueda de alternativas y la adopción de prácticas innovadoras en el diseño y construcción de navíos.

El contraste entre la política forestal y de construcción naval de España e Inglaterra durante este período es notable. Mientras que España, bajo la dirección de **Antonio Valdés**, implementó medidas para fomentar el crecimiento de los

bosques y regular la tala, Inglaterra se centró en controlar los costos de construcción naval y la gestión de los recursos forestales (García Fernández, 2005). Ambos países, sin embargo, compartieron la necesidad de adaptarse a una era de recursos limitados, lo que llevó a enfoques innovadores en la construcción naval. El crecimiento y consolidación del Imperio británico durante los primeros 75 años del siglo XVIII se logró mediante el éxito en la guerra contra los estados europeos rivales, la eficacia de su economía durante conflictos, el crédito y la fuerza marítima (Ward J. , 1994). Estos enfoques se batirán en combate al cambio de siglo con devastadoras consecuencias para la Armada Española y la construcción naval en décadas posteriores.