

SEXTO SEMINARIO DE ECAMAT

**Investigaciones arqueométricas en Argentina.
Fundamentos teórico-metodológicos y casos de análisis**



Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología
“Amílcar Argüelles”
Buenos Aires, 2017

SEXTO SEMINARIO DE ECAMAT

**Investigaciones arqueométricas en Argentina.
Fundamentos teórico-metodológicos y casos de análisis**

*Seminario organizado por el Instituto de Estudios de Ciencia y
Tecnología
“Amílcar Argüelles” y su Sección ECAMAT, de la
Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires,
el 20 de Octubre de 2016*



Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología
“Amílcar Argüelles”
Buenos Aires, 2017

Ferreri, Juan Carlos

Sexto Seminario de ECAMAT : investigaciones arqueométricas en Argentina : fundamentos teórico-metodológicos y casos de análisis / Juan Carlos Ferreri ; compilado por Cecilia Conti. - 1a ed compendiada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, 2018.

Libro digital, PDF/A

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-537-150-7

1. Ingeniería. I. Conti, Cecilia, comp. II. Título.

CDD 620

Fecha de catalogación: 01/2018

Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires

Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología “Amílcar Argüelles”

Director: Dr. Fausto Tulio Gratton

El presente trabajo se encuentra disponible sólo en versión electrónica

© Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires

Av. Alvear 1711, 3º piso – 1014 Ciudad de Buenos Aires – Argentina

www.ciencias.org.ar

correo-e: info@ciencias.org.ar

La publicación de los trabajos de los Académicos y disertantes invitados se realiza bajo el principio de libertad académica y no implica ningún grado de adhesión por parte de otros miembros de la Academia, ni de ésta como entidad colectiva, a las ideas o puntos de vista de los autores.

ISBN 978-987-537-150-7

ÍNDICE

Ing. María Cecilia Conti: Apertura del Seminario 5

Dr. Nicolás C. Ciarlo: Aplicaciones arqueométricas para la investigación de los cambios en la tecnología naval y metalúrgica europea, ca. 1750-1850 8

Dra. Marta Maier: Nuevos avances en la caracterización de lípidos en cerámicas arqueológicas del Norte Argentino 84

Dr. Augusto Tessone: Isótopos Estables y Arqueología. Dieta y movilidad en sociedades cazadoras-recolectoras de Patagonia 102

Ing. María Cecilia Conti: Cierre del Seminario 122

Galería de Imágenes 123

APERTURA

MARÍA CECILIA CONTI¹

Buenas tardes a todos,

Les damos la bienvenida al Seminario ECAMAT sobre Investigaciones arqueométricas en Argentina, fundamentos teórico-metodológicos y casos de análisis. Nos acompañan en esta oportunidad la Dra. Cristina Vazquez, el Dr. Nicolas Ciarlo, la Dra. Marta Maier y el Dr. Augusto Tessone.

Cristina Vazquez es Doctora en Ciencias Químicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, profesora de la Facultad de Ingeniería de la UBA e investigadora de la Comisión Nacional de Energía Atómica. Fue responsable del Laboratorio de rayos X de la CNEA hasta el año 2010 y actualmente es Jefa de División de Gestión de la Calidad, en la misma institución. Sus principales temas de investigación están vinculados al medio ambiente, la energía nuclear, la metalurgia y la geología. En los últimos años, sus estudios y producción académica se orientaron mayormente al campo de la Arqueometría.

Nicolás Ciarlo es Profesor y Licenciado en Ciencias Antropológicas y Doctor en Arqueología de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires. En la actualidad es investigador asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, en el Instituto de Arqueología de la FFyL-UBA. Desde 2004 integra el equipo de investigación del Grupo de Arqueometalurgia de la Facultad de Ingeniería de la UBA. Participó durante una década del Programa de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de

¹ Ingeniera. CNEA. mconti@cnea.gov.ar

Antropología y Pensamiento Latinoamericano y desde 2014 es investigador del Área de Estudios en Arqueología Subacuática del Programa de Arqueología Histórica y Estudios Pluridisciplinarios de la Universidad Nacional de Luján. Ha trabajado en proyectos nacionales e internacionales dedicados a la investigación de naufragios ocurridos en los siglos XVII y XIX, con especial interés en el conflicto naval y los procesos de innovación tecnológica en torno a la metalurgia.

Marta Maier es Licenciada y Doctora en Ciencias Químicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Es profesora en esta Casa de Altos Estudios e investigadora principal del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Posee amplia experiencia en el campo de los productos naturales y en la aplicación de técnicas analíticas adecuadas para la identificación de moléculas orgánicas. En cuanto al análisis de materiales del patrimonio cultural, ha empleado la espectroscopia infrarroja y Raman, la microscopía de barrido electrónico y la difracción de rayos X para la identificación de diversas muestras tales como pigmentos minerales en pinturas rupestres, residuos de lípidos en cerámicas y colorantes orgánicos en textiles precolombinos. Actualmente, sus investigaciones comprenden el análisis de lípidos y sus productos de degradación en matrices cerámicas y el estudio de pigmentos y aglutinantes en ejemplares de pintura mural andina y escultura policromada.

Augusto Tessone es Licenciado en Ciencias Antropológicas y Doctor en Arqueología de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires. Entre el año 2004 y el 2006 trabajó como director del grupo de arqueología del Proyecto de Recuperación de la Memoria Centro Clandestino de Detención y Tortura “Club Atlético” dependiente de la Secretaría de Derechos Humanos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. A la fecha, es investigador asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Ha participado y dirigido

varios proyectos centrados en la investigación de cazadores recolectores de la provincia de Santa Cruz y de la costa sur de Tierra del Fuego. Su producción académica versa sobre Arqueología y Ecología Isotópica, y en particular acerca del estudio de isótopos estables para el conocimiento de la movilidad y la explotación de recursos dietarios por parte de las poblaciones prehistóricas de Patagonia meridional.

Muchas Gracias

LAS INNOVACIONES EN LA TECNOLOGÍA NAVAL EUROPEA, CA. 1750-1815: UN ABORDAJE DESDE LA ARQUEOMETALURGIA

Por NICOLÁS C. CIARLO¹

Resumen:

Las investigaciones arqueométricas llevadas a cabo sobre materiales recuperados de naufragios históricos han contribuido al conocimiento de diferentes aspectos de la tecnología y la sociedad modernas, en ocasiones más allá del ámbito estrictamente naval. Durante las últimas décadas resaltan los trabajos de caracterización de componentes metálicos pertenecientes a la estructura del casco y el equipamiento náutico de diversos barcos de madera, que en tanto objetos que debían soportar las exigencias propias de la navegación en el medio acuático resultan de interés para analizar los saberes otrora disponibles sobre el comportamiento de los materiales y los medios empleados para su manufactura. En el caso de las potencias marítimas europeas, cuyo bienestar económico y político dependió fuertemente del éxito de ciertas empresas navales, los barcos de guerra cumplieron un rol primordial. Sus vestigios, analizados desde una aproximación de carácter comparativo, dan cuenta en la actualidad de la multiplicidad de aspectos que les definieron a lo largo del tiempo. En esta presentación ahondaremos, a partir del

¹ Doctor en Arqueología de la Facultad de Filosofía y Letras de la UBA; investigador asistente del CONICET en el Instituto de Arqueología de la FFyL-UBA; investigador honorario del Grupo de Arqueometalurgia de la Facultad de Ingeniería de la UBA
nciarlo@yahoo.com.ar

estudio arqueológico de diversos naufragios, en el modo en que estos factores interactuaron y dieron lugar a cambios durante los inicios del proceso de industrialización en Europa occidental.

Palabras clave: Arqueometría, Arqueología marítima, Naufragios, Tecnología naval

Abstract:

Archaeometric research carried out on materials recovered from historical shipwrecks has contributed to the knowledge of Modern technology and society, frequently on aspects beyond the mere naval scope. During the last decades, works on the characterization of metal components from the hull structure and nautical equipment of diverse wooden ships stand out. As this objects had to withstand the strains of sailing, they are of interest to analyze the knowledge once available on material behaviour and manufacturing means. For European maritime powers, whose economic and political well-being strongly depended on the success of certain naval enterprises, warships played a fundamental role. Their remnants, analyzed from a comparative perspective, account for the multiplicity of aspects that defined them through time. In this presentation we will refer to the archaeological study of diverse shipwrecks to explore the factors that interacted and originated changes during the beginning of the industrialization process in Western Europe.

Key-words: Archaeometry, Maritime Archaeology, Shipwrecks, Naval Technology

1. Introducción

Una porción material de nuestro pasado descansa hoy en día bajo las aguas de los mares y otros cuerpos de agua del mundo. Hablamos en particular de un número casi incontable de naufragios, eminentes medios de transporte desde época antigua, así como de otras evidencias de la actividad humana pretérita ligada a los ambientes acuáticos. Hacia mediados del siglo pasado, con el surgimiento de la denominada Arqueología subacuática —para el presente caso, de la Arqueología marítima— se pusieron en marcha investigaciones arqueológicas dedicadas a recuperar las historias asociadas a este patrimonio cultural. Este ámbito, que desde aquel entonces ha mostrado un crecimiento importante en múltiples aspectos, constituye un campo interdisciplinario que reúne a especialistas en pos de la preservación e investigación de los restos materiales sumergidos.

En esta presentación nos dedicamos a exponer algunos de los avances realizados en torno al estudio de los metales recuperados de naufragios históricos, puntualmente de un período signado por profundos cambios que definieron las bases del mundo moderno. Los resultados de las investigaciones desarrolladas a nivel internacional y dentro del contexto regional —Argentina, en particular, ha mostrado notables avances en esta materia— dejan entrever la multiplicidad de aspectos socioculturales que es posible develar por medio del estudio pormenorizado de los hallazgos. Tal como veremos más

adelante, la aplicación de diversos conocimientos, métodos e instrumental de otras disciplinas, en conjunción con la información obtenida de fuentes documentales y arqueológicas, permitió contribuir con el estudio de las innovaciones en torno a la tecnología naval de la época.

La primera parte de esta presentación está dedicada a la especialidad dentro de la que se enmarcan los trabajos arqueológicos en naufragios. Expondremos algunas nociones teórico-metodológicas básicas, a lo fines de brindar un panorama sucinto sobre su objeto de estudio y los medios de investigación utilizados regularmente. En segundo término, discurriremos sobre los principales componentes de metal de los barcos de guerra y los sitios arqueológicos considerados en esta investigación. Tercero, haremos una breve reseña de los aportes realizados en el ámbito internacional y nacional, destacando el alcance de los resultados obtenidos hasta la fecha. En la cuarta sección, nos concentraremos en las innovaciones de que fueron objeto los barcos de guerra británicos, franceses y españoles entre ca. 1750 y 1815. Para finalizar, sobre la base de lo expuesto delineamos los aspectos centrales de la dinámica del cambio tecnológico en el ámbito y época de interés.

2. La Arqueología marítima

La Arqueología marítima está abocada al estudio de las actividades del ser humano en entornos acuáticos, así como las

operaciones en tierra a ellas vinculadas.¹ Dada la relevancia que ha ocupado a lo largo de la historia para el transporte de personas y mercancías, la circulación de ideas, la explotación de recursos, etc., destaca la navegación marítima, y puntualmente el medio utilizado por excelencia: los barcos. Aquí nos concentraremos en un período particular, relativamente reciente, que se enmarca dentro de la denominada Arqueología marítima histórica (Flatman y Staniforth, 2006).

Respecto a los antecedentes de la especialidad, en la primera mitad del siglo XX los trabajos arqueológicos en naufragios localizados bajo el agua se caracterizaron por ser operaciones de salvamento con una orientación anticuaria, mediante el uso de equipamiento de buceo profundo, *pre-scuba*.² El foco estuvo típicamente en la recuperación de piezas de arte. En general, los trabajos durante este período fueron realizados por buzos sin formación académica o experiencia en Arqueología, en ocasiones bajo la supervisión de arqueólogos (clásicos) en la superficie. Este escenario perduró hasta la década de 1960, punto de quiebre en la historia de la especialidad. Desde aquel año, se emprendieron las primeras excavaciones sistemáticas,

¹ En este trabajo optamos por no emplear el término "arqueología subacuática", que refiere al campo de conocimiento dedicado a la investigación de sitios arqueológicos que yacen sumergidos. Sin embargo, es probable que esta denominación, en esencia de corte metodológico, sea la más conocida a nivel internacional, tanto dentro del ámbito académico como por el público en general.

² El acrónimo inglés *scuba* (*self contained underwater breathing apparatus*) refiere al sistema de buceo autónomo, que comenzó a ser utilizado para el estudio de naufragios hacia mediados del siglo pasado.

que se extenderían a nivel global durante la siguiente década. La particularidad de estos trabajos, a diferencia de momentos previos, es que fueron realizados por arqueólogos con capacitación en buceo (ver Bass, 2011; Meide, 2013, para mayor información sobre los antecedentes de la especialidad).

En aquel entonces, por primera vez se pusieron en práctica métodos de excavación, relevamiento y registro para la rigurosa recolección de información. Varios procedimientos, en sus bases, siguen en uso actualmente (Fig. 1).

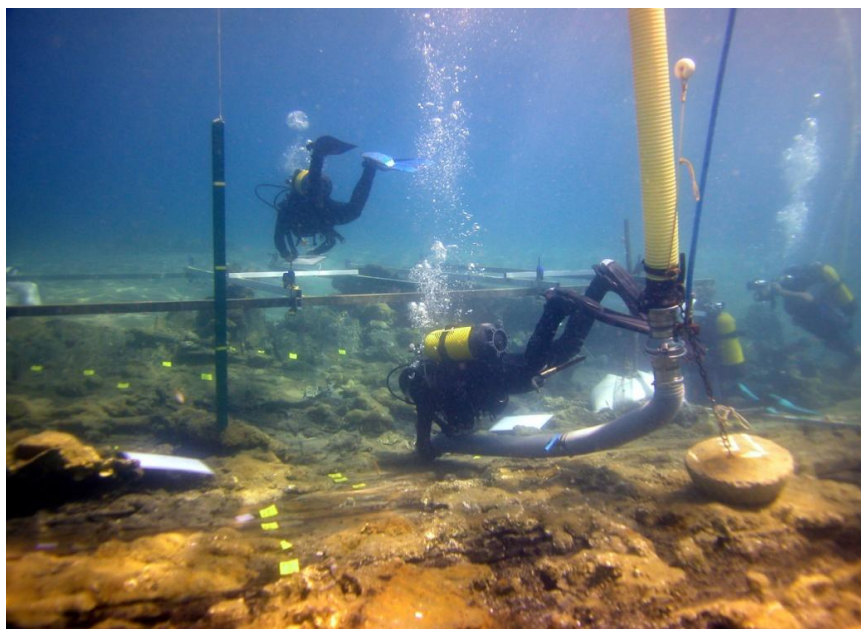


Figura 1. Tareas de excavación, relevamiento y registro de un sector de la estructura del navío español de 74 cañones *Triunfante* (1795). Foto: Centro de Arqueología Subacuática de Cataluña (CASC·MAC).

Un aspecto teórico-metodológico clave que demostró tempranamente George Bass, arqueólogo del Institute of Nautical Archaeology (EE.UU.), fue que los principios que guían la práctica arqueológica son siempre los mismos, sin importar si es desarrollada en tierra o debajo el agua (Delgado, 2000). En adelante, se asistió a importantes avances metodológicos y al desarrollo de proyectos de investigación, programas universitarios, reuniones y publicaciones científicas específicas (Bass, 2011).¹

Los proyectos de investigación en torno a naufragios —en un sentido estricto, podríamos hablar de Arqueología náutica— han ocupado un espacio predominante (Bass, 2011: 4). Este tipo de sitios constituye una fuente de información excepcional para el estudio de diversos aspectos del pasado humano, gracias a que los barcos no han sido expresiones tecnológicas aisladas, sino parte integral del contexto sociocultural de su tiempo (Lenihan, 1983; Adams, 2001; Martin, 2011). Para el caso de los sitios históricos, es preciso resaltar, usualmente se cuenta con una profusa cantidad de información documental (e.g. escritos, planos, mapas, pinturas, fotografías y testimonios orales). Al respecto, resulta de suma importancia integrar los datos derivados de esta multiplicidad de fuentes con aquellos obtenidos del análisis pormenorizado de la evidencia material (Martin, 2001).

¹ Para mayor información sobre las principales investigaciones y problemáticas actuales en la materia, consultar Delgado (1997), Babits y Van Tilburg (1998) y Catsambis y colaboradores (2011).

Cada tipo de barco es único de determinado tiempo y lugar, pero a la vez resulta indicativo de tendencias más generales (Catsambis et al., 2011: xvi). Las investigaciones se extienden desde el estudio de las evidencias de un barco específico hasta el análisis de un grupo, dada su pertenencia a cierto período de desarrollo, a un área geográfica particular o a un tema histórico más amplio (ver Cockrell 1983; Delgado, 2000). En el caso de la sociedad occidental moderna, las investigaciones han contribuido al conocimiento de los conflictos bélicos, las relaciones comerciales y de intercambio a escala mundial, el desarrollo de las diversas empresas extractivas de carácter industrial y las transformaciones socioculturales aparejadas al colonialismo europeo, entre otros aspectos (Flatman y Staniforth, 2006). En sintonía con estos aportes, y volviendo sobre lo referido anteriormente, aquí nos ocuparemos de analizar un segmento particular de las transformaciones tecnológicas que experimentaron los barcos de guerra en los inicios del proceso de industrialización europea.

3. Los barcos de guerra como unidad de análisis

Un barco es, conceptualmente, un vehículo capaz de flotar y desplazarse en el agua. Aquellos de los que versa este trabajo son de un tipo particular, en cuanto a sus características y pretendida funcionalidad: buques de guerra, construidos en madera y propulsados a vela (Fig. 2). Estos consistieron en medios fundamentales durante el proceso de expansión territorial y comercial de los Estados europeos modernos y se

emplearon en un sinnúmero de actividades que fueron de vital importancia para su consecución.



Figura 2. Imagen del navío de línea *HMS Victory* (1765 – en servicio), apostado en el astillero histórico de Portsmouth (Inglaterra). En la imagen se aprecian las baterías de cañones y las anclas de leva primera (*best bower anchor*) y de esperanza (*sheet anchor*) en la banda de estribor. Foto: N. Ciarlo.

Las Armadas europeas disponían de un amplio repertorio de barcos, que empleaban en diferentes acciones, de forma independiente o conjunta, según sus características. Los buques de guerra se clasificaban de acuerdo al número de cañones con que estaban artillados, lo que evidencia la relevancia que en

aquel entonces tenía su poder de fuego. En el caso de la Real Armada británica, por ejemplo, los de mayores dimensiones estaban jerarquizados de acuerdo con un sistema de seis órdenes o rangos (*rate*, en inglés). Los restantes, más pequeños, se agrupaban en función de su tipo y función.

Estas máquinas de combate se emplearon —y pusieron a prueba su potencial— fundamentalmente durante tiempos de conflicto. Junto a las actividades marítimas, en particular navales, tenían un carácter dual: el material y, en estrecha relación a este, el humano (ver Muckelroy, 1978). En este sentido, el éxito de una contienda dependía en parte de las capacidades marineras del barco, las prestaciones de su equipamiento y las cualidades técnicas del armamento. Cumplían además un papel relevante el planteo táctico y el adecuado manejo del buque, los cañones y otras armas durante el combate. Estos aspectos, en particular, estaban condicionados por la organización, el entrenamiento, las habilidades y decisiones personales de los oficiales y el resto de la tripulación. Este trabajo, puntualmente, está abocado al primero de los dos aspectos referidos.

Los barcos de guerra eran diseñados y construidos bajo estrictas especificaciones, acordes con el tipo de actividad al que estaban destinados (e.g. ofensiva contra flotas; escolta de barcos mercantes; transporte de pertrechos y unidades del ejército; exploración de nuevos territorios; etc.). Estos vehículos, que llegaban a ser verdaderas fortalezas flotantes, se consideran la más alta expresión del ingenio técnico de la época (Adams, 2001:

302). Estaban formados por una amplia cantidad de componentes de madera y metal, estrechamente relacionados entre sí (ver Pomey, 2011). En este estudio, en particular, haremos hincapié en una serie de elementos que formaban parte de la estructura del casco (elementos de fijación y revestimiento de forro), el equipamiento náutico (anclas, bombas de sentina y timón) y la artillería (cañones y municiones). Estos diferentes componentes, en su conjunto, condicionaban el funcionamiento de un barco de guerra, i.e. su flotabilidad, maniobrabilidad, velocidad, estabilidad, solidez, capacidad de carga y poder de fuego.

Las características de cada uno de los elementos mencionados obedecían a múltiples variables. Entre los principales factores, desde un punto de vista esencialmente técnico, cabe mencionar los siguientes: la funcionalidad de las piezas; los conocimientos, técnicas y materiales disponibles; la escala de producción; la naturaleza de las empresas (comercial, científica, militar, etc.); y la tradición naval. Las exigencias a las estaban sometidos los objetos metálicos durante su uso debieron influir en la elección de las aleaciones (de acuerdo con sus propiedades mecánicas y químicas) y la forma de manufactura. Estos aspectos dependían, a su vez, de factores menos inmediatos, tales como los recursos disponibles, los conocimientos acerca de la relación entre las propiedades de un objeto y su composición, las prácticas tradicionales y las preferencias del fabricante, entre otros (ver Adams, 2001; Pomey, 2011). En cuanto que expresiones tecnológicas

particulares, estos objetos estuvieron sujetos a varios cambios en relación a su diseño y fabricación. Inmersos en una dinámica condicionada por el conflicto, la industrialización, las aplicaciones científicas y la transferencia de conocimientos y materiales, constituyen un medio de singular interés para analizar la tecnología naval —y, por extensión, metalúrgica— de aquel entonces.

La evidencia material procedente de los sitios arqueológicos, junto con otras fuentes de información, constituyen un medio de singular interés para analizar los aspectos arriba mencionados. Al respecto, cabe hacer referencia al potencial que tienen los estudios comparativos para evaluar aquellos aspectos que influyeron sobre el cambio a lo largo del período de interés. Puntualmente, tal como se verá en el siguiente acápite, son de especial interés los resultados obtenidos a partir de la aplicación de métodos e instrumental de análisis específicos.

En esta investigación, los sitios considerados corresponden a barcos de guerra de pabellón británico, francés y español, que cubren un período entre mediados del siglo XVIII y las primeras décadas del siglo XIX. Los naufragios escogidos fueron estudiados en el marco de proyectos de investigación, en el país y el extranjero (e.g. Murray et al., 2002-2003; Martí Solano, 2006, 2008; Elkin et al., 2007, 2011; Rodríguez Mariscal, 2010; Rodríguez Mariscal et al., 2010; Pujol i Hamelink, 2011; Vivar et al., 2014; Nieto et al., 2016). Gracias a ello, contamos con una importante cantidad de información histórica y arqueológica de

partida, que fue de suma utilidad para el estudio que efectuamos. Con motivo de nuestra participación en algunos de estos trabajos, analizamos parte de los materiales hallados. Junto a estos, evaluamos la información sobre otros restos de interés, que fueron analizados por colegas en otras oportunidades.

En la región sudamericana existen varios naufragios que datan del período de interés. Algunos de estos comenzaron a ser estudiados arqueológicamente durante las últimas dos décadas (e.g. Cordero et al., 2003; García et al., 2003; Carabias, 2009). No obstante, en la mayor parte de los casos, los resultados publicados son aún preliminares. A nivel excepcional, podemos mencionar el caso de la *HMS Swift*, 1770 (Elkin et al., 2011). La mayor parte de los naufragios que forman el corpus empleado como muestra comparativa corresponde a sitios localizados en diferentes partes del mundo, que han sido objeto de extensos estudios (e.g. Sullivan, 1986; Stanbury, 1994; Carter, 1995; von Arnim, 1998; Campbell y Gesner, 2000; Cvikel y Kahanov, 2009; Bingeman, 2010). En la figura 3 se muestra la localización de los principales naufragios de interés para la investigación.

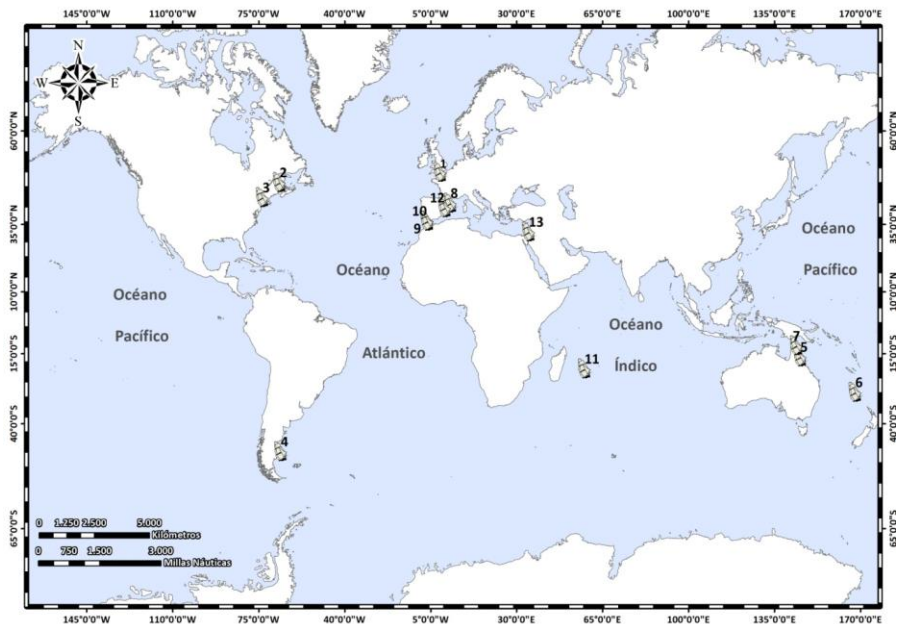


Figura 3. Planisferio con la ubicación de los principales sitios arqueológicos considerados, a saber: 1) *HMS Invincible* (1758); 2) *Machault* (1760); 3) *HMS Boscawen* (1763); 4) *HMS Swift* (1770); 5) *HMB Endeavour* (1778; varó en 1770); 6) *HMS Sirius* (1790); 7) *HMS Pandora* (1791); 8) *Triunfante* (1795); 9) *Fougueux* (1805); 10) *Bucentaure* (1805); 11) *HMS Sirius* (1810); 12) sitio Deltebre I (1813); 13) sitio Akko I (ca. 1840). Mapa: L. Coll.

4. Los estudios de caracterización sobre metales de naufragios

La Arqueología actualmente requiere, y también se ve solicitada por, diversos campos del saber. El estudio de los restos materiales del pasado se ha beneficiado ampliamente de ciertos conocimientos, métodos e instrumental de análisis específicos brindados por disciplinas y especialidades de las Ciencias naturales (físico-químicas y biológicas) y exactas aplicadas. Ello ha permitido contar con medios sistemáticos para recolectar,

analizar e interpretar información sobre los restos materiales; así, fue posible abordar ciertas temáticas desde distintos ángulos, ampliar y profundizar el conocimiento que se tenía acerca de ellas. Dentro de este contexto se constituyó la Arqueometría (Wells, 2014). Los resultados alcanzados en este campo (ver Martini et al., 2004; Edwards y Vandenabeele, 2012; Pollard et al., 2016; y las Actas del *International Symposium on Archaeometry*, ISA; entre otros), son prueba fehaciente del esfuerzo para trascender los atrincheramientos disciplinares e integrar diversas perspectivas de análisis en la investigación de una realidad que, dada la complejidad de las relaciones en juego, no puede ser estudiada de manera exhaustiva desde la óptica de un único ámbito del conocimiento.

Los estudios arqueométricos han proporcionado valiosa información sobre las características de diversos tipos de artefactos y otros restos de carácter arqueológico. Hasta hace un par de décadas, los datos obtenidos fueron utilizados principalmente para dar respuesta a aspectos relacionados con: datación, prospección de los sitios, función y uso de los objetos, procedencia de los materiales y evaluación de los métodos de manufactura empleados (Ehrenreich, 1995). Desde entonces, los tópicos de investigación y los materiales analizados se han expandido considerablemente. Asimismo, se amplió la escala de los análisis, se mejoraron algunos métodos e instrumental de análisis y se incorporaron otros nuevos. La interrelación entre los especialistas también se tornó cada vez más fluida.

Entre las primeras especialidades que se organizaron en torno a la Arqueometría, se encontraba la Arqueometalurgia, que pronto habría de convertirse en un campo del conocimiento por derecho propio. Esta última se ocupa del estudio de la metalurgia pasada, desde sus inicios hasta tiempos recientes, por intermedio del análisis de restos materiales —no necesariamente de metal— hallados en diversos contextos arqueológicos, relacionados con actividades extractivas, de producción, circulación y uso de objetos metálicos (ver Bayley et al., 2001; Wayman, 2004; Rehren y Pernicka, 2008; entre otros).

Uno de los puntos centrales de los estudios arqueometalúrgicos es la información que pueden brindar la microestructura y composición química de los artefactos. La estructura de los metales comprende características de varias magnitudes. Por ello, es necesario utilizar diferentes técnicas de observación (AA.VV. 2004: 24-26). En particular, los análisis específicos permiten dar cuenta de la variabilidad presente en las muestras en términos de los elementos constitutivos, los procesos termomecánicos y corrosivos que afectaron al objeto, etc. Estos datos, evaluados a la luz de otras fuentes de información, pueden traducirse en datos significativos sobre la historia de las piezas (e.g. fabricación, procedencia, uso, deterioro, etc.). Por extensión, revisten interés como medios para responder a interrogantes arqueológicos e históricos relativos a la explotación de recursos, los conocimientos sobre los metales, la calidad de los productos, la circulación de objetos, las

dinámicas de innovación, los procesos de formación de sitio, entre otros aspectos.

Entre la ingente cantidad de conocimientos, métodos e instrumental de análisis disponible, la metalografía ha ocupado un lugar destacado para el análisis microestructural de los materiales arqueológicos. Esta consiste en la observación de la microestructura de una pieza por medio de un microscopio óptico metalográfico o electrónico de barrido, con el fin de determinar el tipo y forma de los microconstituyentes del material. Las proporciones, formas, color y configuración en que estos se presentan están íntimamente relacionados con su composición y propiedades, y son el reflejo indeleble de algunas de las transformaciones que sufrió a lo largo del tiempo (ver Scott, 1991; Summer Institute in Material Science and Material Culture, 2003; entre otros).

En el caso de los naufragios históricos, los estudios de caracterización de metales son sumo interés para el conocimiento de aspectos relacionados con cuestiones específicas del ámbito naval (e.g. construcción, equipamiento y armamento de los barcos). Los trabajos basados en la aplicación de diversos métodos e instrumental analítico comenzaron a realizarse con cierta regularidad desde principios de la década de 1980, y continúan en la actualidad (e.g. Samuels, 1983, 1992; MacLeod, 1985, 1994; MacLeod y Pitrun, 1996; Viduka y Ness, 2004; Mentovich et al., 2010; Ashkenazi et al., 2011, 2014; McAllister, 2012; Bethencourt et al., 2013; Birch et al., 2014; Cohen et al., 2015). Con respecto al foco de la presente investigación, estos

trabajos han contribuido con la adscripción temporal y espacial de los materiales —como una de las vías de evaluación e investigación de los sitios—¹ y la identificación de varias características técnicas de los objetos (e.g. métodos de manufactura y aleaciones empleadas). La mayor parte de estos estudios versan sobre uno o pocos sitios, y las interpretaciones están centradas en los aspectos específicos antes mencionados.

En Argentina, los análisis arqueometalúrgicos de restos de naufragios ocurridos a lo largo de la costa atlántica entre los siglos XVII y XX han sido desarrollados fundamentalmente en el marco del Grupo de Arqueometalurgia, perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, GAM-FIUBA, en estrecha colaboración con diferentes instituciones nacionales e internacionales. En términos generales, los trabajos realizados hasta la fecha pueden ser agrupados de la siguiente manera: 1) estudios de restos aislados (descontextualizados) provenientes de colecciones de museos y hallazgos fortuitos; 2) análisis de artefactos y muestras provenientes de sitios de naufragio singulares, como parte de un proyecto arqueológico; y 3) investigación de diversos aspectos de la tecnología naval y la sociedad de la época, sobre la base de la caracterización de materiales de uno o varios naufragios (ver Ciarlo 2015a). La temática de este trabajo se inscribe dentro de la tercera categoría y forma parte de la investigación de

¹ La información obtenida acerca de estos aspectos, sobre todo en el caso de la adscripción temporal, por lo general no deriva directamente de los análisis, sino de la interpretación de los datos en función de registros históricos y/o arqueológicos de referencia.

doctorado del autor (Ciarlo, 2016). A continuación realizaremos una síntesis de los principales resultados obtenidos.

5. Las innovaciones en los barcos de guerra: aportes desde la Arqueometalurgia

En esta investigación nos abocamos a estudiar parte de la tecnología naval europea durante los inicios del período de industrialización. Las transformaciones ocurridas durante este tiempo fueron de carácter económico, político e ideológico y tuvieron importantes consecuencias socioculturales a nivel global. Dentro de este escenario, signado por la expansión comercial (en los mercados internos y de ultramar) y los conflictos bélicos entre las principales potencias, los barcos de guerra cumplieron un rol significativo. El sector naval, dada su relevancia, estuvo en la agenda de los representantes de diversos ámbitos (e.g. político, militar, industrial y científico) y fue objeto de numerosas innovaciones, en materia técnica y de organización. Aquí nos concentramos, como anticipamos, en aquellas que afectaron a algunos de los principales componentes de metal de los barcos de guerra, que redundaron en ciertas ventajas operativas. Puntualmente, el análisis se enfocó en tres aspectos que confluyen y se interrelacionan en la esfera de la producción: el diseño, los materiales y los métodos de fabricación.

5.1 Elementos de sujeción y aforro metálico

La pernería y clavazón de metal eran elementos fundamentales para mantener en su lugar los principales componentes de madera de un barco (quilla, cuadernas, curvas, baos, etc.), mientras que las chapas colocadas sobre el casco servían para protegerlo de los organismos marinos que afectaban su integridad física e hidrodinámica. Hasta el último tercio del siglo XVIII, los pernos y clavos de metal de uso corriente eran de hierro (Fig. 4). Estos estaban complementados, en muchos casos, con cabillas de madera (ver McCarhty, 2005). Las piezas de metal se fabricaban en las fraguas de los astilleros o ferrerías particulares a partir de tochos (por lo general convertidos en barras), a los que se les daba forma mediante martillado en caliente (e.g. Egaña, 1788: 217-222; para el caso de España). La producción del hierro presentó diferencias significativas entre Gran Bretaña y los países continentales. La disponibilidad de minerales y bosques de buena calidad en algunas zonas de Francia y, sobre todo, en el norte de España, garantizó allí el desarrollo de la industria local, mientras que las Islas británicas dependieron estrechamente de la importación de hierro para la fabricación de sus productos (ver más abajo). No obstante, mientras que en Inglaterra se incorporó desde temprano el alto horno y el coque como combustible, las otras dos naciones permanecieron aferradas durante más tiempo a los métodos tradicionales: continuaron trabajando en hornos bajos y con carbón vegetal hasta comienzos del siglo XIX. La temprana mecanización parcial de las operaciones también distinguió a

aquel Estado insular de los otros, que hasta la segunda mitad del siglo XVIII se valieron fundamentalmente del trabajo manual (ver Gillispie, 1957; Ashton, 1996; Urteaga, 1999; entre otros). Los talleres con laminadores y máquinas de corte accionadas mediante energía hidráulica existían en Europa desde la primera mitad del siglo XVIII. La obra de Emanuel Swedenborg *Regnum subterraneum sive minerale de ferro*, indica que ya se la empleaba en Suecia, Inglaterra y Alemania en aquella época (Swedenborg, 1734:252, lámina 29). En el año 1783 ocurrió un cambio importante, gracias al método de pudelado y laminado patentado por Henry Cort. El hierro pudelado combinó calidad y abaratamiento, por lo que fue muypreciado para la elaboración de diferentes tipos de productos para la industria naval (Tylecote, 1976: 110,111). La adopción del aforro de cobre hacia el último tercio del siglo XVIII traería aparejado otro cambio importante con respecto a los materiales y métodos de fabricación de los elementos de sujeción del casco de los barcos.

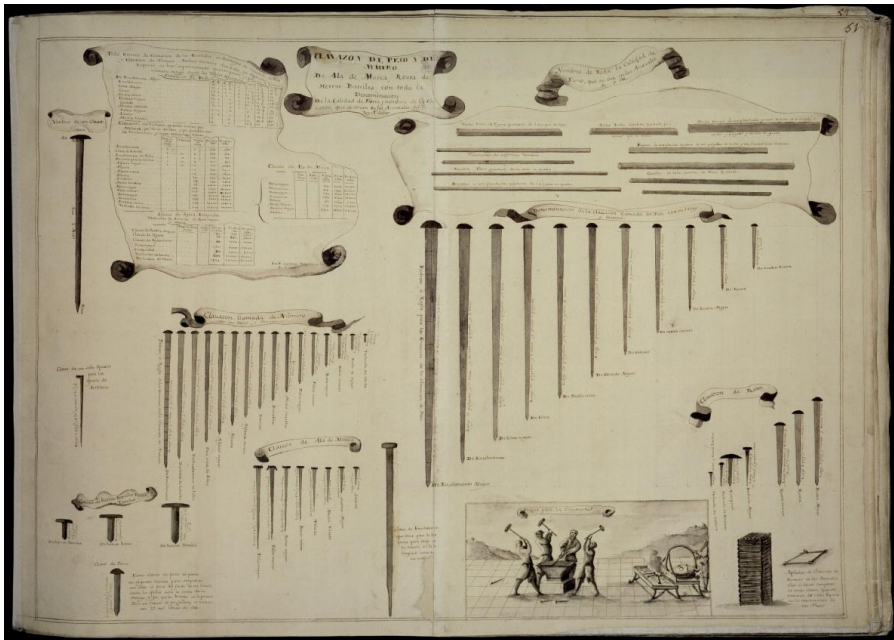


Figura 4. “Clavazón de Peso y de Número. De Ala de Mosca; Reata, de Herrar Barriles; con toda la Denominación de la Calidad de Fierro y nombres de la Clavazon, que se situen en los Arsenales del Rey N° Señor”. Lámina No.51 del *Álbum de Construcción Naval* del Marqués de la Victoria, publicado en el año 1756.

El aforro de cobre le confería a los barcos de guerra una mayor velocidad y maniobrabilidad y una extensión de la vida útil; además, con esta protección requerían de un menor mantenimiento durante el servicio (McCarthy 2005:108).¹ Por estas razones fue luego utilizado en los barcos mercantes

¹ A diferencia de los barcos con forro de sacrificio, el carenado debía realizarse en dique seco. En este caso, como en otros, la infraestructura con la que contaban los británicos les reportó una ventaja adicional frente a las otras dos potencias continentales (ver Rodger, 2006).

destinados al comercio de ultramar. Pese a ser más costoso que las alternativas disponibles (e.g. revestimiento de pino), la inversión se vio justificada frente a la necesidad de contar con una flota activa en el exterior, sobre todo en aguas tropicales, durante largos períodos de tiempo. La utilidad de este tipo de protección había sido reconocida desde comienzos del siglo XVIII, aunque los primeros pasos serios en pos de su aceptación debieron esperar unos cincuenta años. Los británicos lideraron el proceso de experimentación e implementación de la novedad. Luego de algunas pruebas parciales (e.g. la quilla del *HMS Invincible*), en la década de 1760 se forraron por completo varias fragatas (ver Cock, 2001). Los resultados fueron alentadores en un sentido, pero alarmantes en otro (U.S. Naval Institute, 1952: 220-221; para el caso de la fragata *Alarm*). Debemos recordar en este punto la interdependencia funcional que existía entre las partes de un barco (Conlin, 1998: 6). Aunque las chapas probaron ser eficaces para resolver el clásico problema de los organismos perforantes (broma) e incrustantes, tuvo consecuencias nefastas para los elementos de sujeción del casco y otros componentes de hierro (e.g. goznes del timón) ubicados por debajo de la línea de flotación. Una vez reconocido este escollo, de inmediato se plantearon algunas opciones para superarlo. Pero antes de obtener un remedio satisfactorio, el estallido de la guerra con los EE.UU. motivó a finales de la década de 1770 la implementación de un programa acelerado para forrar las fragatas y navíos de la flota británica, que quedó

discontinuado hacia mediados de 1783 (ver Knight, 1973; Staniforth, 1985; Bingeman et al., 2000).

La solución al susodicho problema de la corrosión en el medio marítimo se determinó sobre bases empíricas: consistió en reemplazar los elementos de hierro por pernería y clavazón de cobre o aleación de cobre. Inicialmente, sin embargo, sus prestaciones mecánicas no se consideraron aptas para soportar los esfuerzos a los que estaba sometida la estructura de los barcos (e.g. Knowles, 1821: 69; en referencia a la aleación de cobre, estaño y zinc denominada *mixed metal*). El desafío presentado fue doble. La posibilidad de concretar este cambio vino de la mano de un avance colateral, en torno a la producción de la pernería. En 1784, Forbes, inspirado en la máquina de rodillos que utilizó Cort como parte del proceso de afino del hierro, obtuvo por primera vez pernos de cobre ‘endurecido’ adecuados para el trabajo (Fig. 5). Estos, incluso, fueron valorados como superiores a algunos de hierro (e.g. a los utilizados entonces en Francia).¹ Los pernos y clavos manufacturados en hierro sufrieron una merma importante, aunque continuaron empleándose en otros sectores de los barcos (obra muerta) y en los que no estaban forrados con cobre. Debe tenerse presente que las piezas de hierro eran más económicas y, para muchos, tenían mejores prestaciones mecánicas. Por ello,

¹ Las experimentaciones con relación a la tenacidad (resistencia a la tracción) de los materiales disponibles y la adhesión diferencial de los pernos de hierro, cobre y madera (cabillas), de interés para la construcción naval, comenzaron a realizarse en la primera mitad del siglo XIX (e.g. Mushet, 1836).

los barcos no fueron clavados innecesariamente ni se utilizaron elementos de cobre en sectores adonde no había peligro de corrosión (McCarthy, 2005: 110). Debido a los diferentes ritmos de mecanización, es probable el procedimiento de Forbes u otro método similar hayan coexistido durante algún tiempo con la modalidad de producción precedente, especialmente en las pequeñas forjas carentes de maquinaria (Ciarlo et al., 2014). Ya entrado el siglo XIX, también se utilizaron pernos de latón. El zinc, además de abaratar costos, le habría conferido a estos elementos estructurales mejores propiedades mecánicas (McAllister, 2012:41,42).

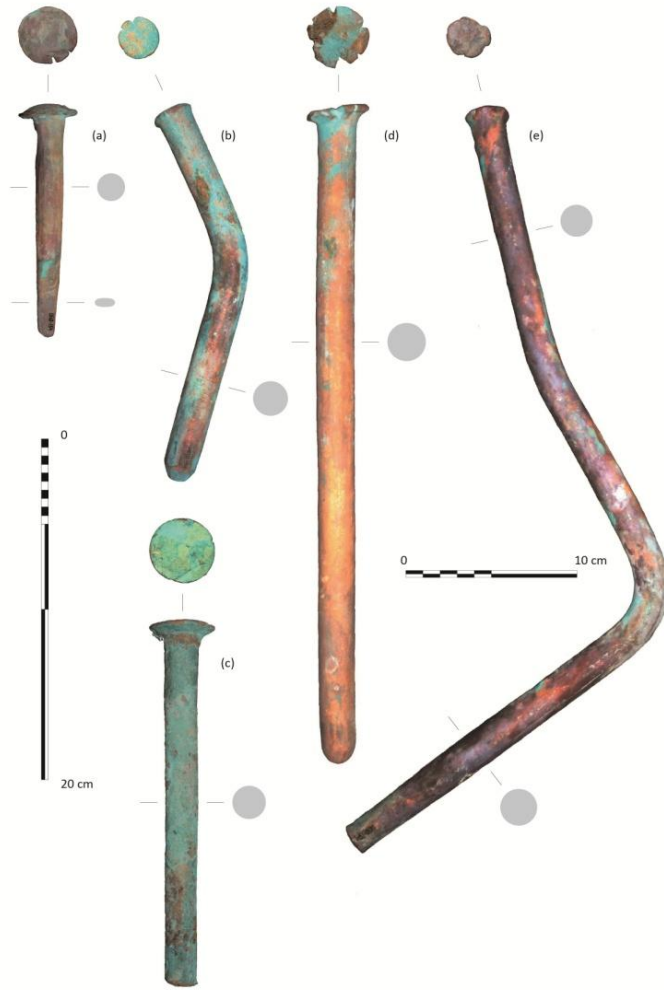


Figura 5. Pernos de cobre hallados entre los restos del transporte británico Deltebre I (1813): (a) corto, no pasante; (b) mediano, no pasante; (c) mediano / largo (¿astil quebrado?); (d) largo, no pasante; (e) largo, pasante (¿astil quebrado?). Es probable que los pernos largos hayan sido fabricados mediante el sistema de Forbes u otro similar. Foto: N. C. Ciarlo.

Francia siguió de cerca a Inglaterra, gracias a su habitual política de obtención de información mediante el espionaje militar e industrial. Comprobadas las ventajas del aforro de cobre y enterados del modo de prevenir el deterioro de los elementos de sujeción, los franceses se pusieron en marcha para proveer a sus barcos con este sistema de protección (Ferreiro, 2007: 21; Bradley, 2010: 95). Los españoles obraron en este sentido un poco más tarde, si bien durante unos años continuaron utilizando otras soluciones técnicas, que incluyeron el empleo de betunes y pinturas (Fernández Duro, [1895] 1972-1973: 385), así como el uso combinado de forro de sacrificio y de cobre. Un ejemplo de esta última situación anterior es el caso del navío *Triunfante*, 1795 (Fig. 6).

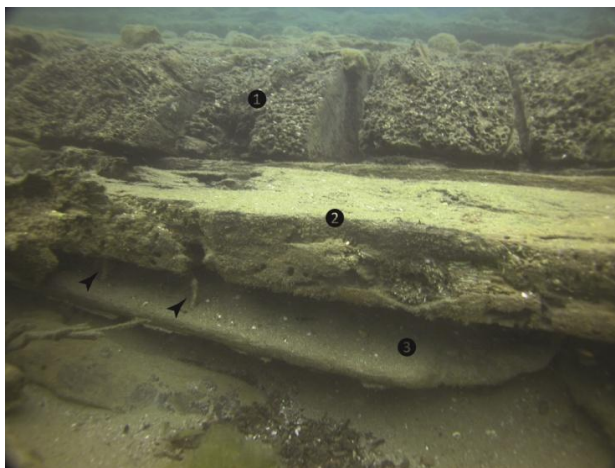


Figura 6. Vista de una de las bandas del navío español *Triunfante* (1795), en la que se aprecian: (1) las ligazones (cuadernas); (2) una de las tablas del forro exterior; y (3) el aforro de madera. Encima de este último iban clavadas las planchas de cobre. Foto: CASC-MAC.

Las planchas utilizadas por estas potencias presentaban variaciones morfológicas. En cuanto a los materiales, la evidencia disponible indica que hasta principios del siglo XIX predominó el cobre sin alear. En esos años comenzaron a realizarse algunas pruebas, en su mayoría con aleaciones de cobre y zinc en múltiples proporciones (ver Jones, 2004). La forma tradicional de obtener las chapas de cobre fue por medio de martillado o bien en caliente o bien en frío (con recocido). Los talleres de laminación reemplazaron paulatinamente esta modalidad de fabricación durante el 1700, primero en Gran Bretaña y más tarde en el continente (e.g. Welter, 2017; para un recuento histórico del caso francés). Los estudios microestructurales no permiten reconocer diferencias significativas que puedan asociarse a una u otra modalidad (Samuels, 1992: 97,98). Aun así, el estudio comparado de la microestructura de chapas de naufragios puede aportar información valiosa acerca de los cambios en las operaciones de obtención y refinado de los metales. Las chapas que cubren un período desde principios del siglo XVII hasta la segunda mitad del siglo XIX muestran notables discrepancias con respecto al contenido de impurezas (e.g. inclusiones de óxido de cobre y compuestos con contenido mayoritario de plomo). Si tomamos por caso las muestras de los barcos neerlandeses *Batavia* (1629) y *Zeewijk* (1727), analizadas por MacLeod y Pitrun (1986) y las comparamos con las de otros naufragios europeos posteriores, es probable que la variabilidad responda a una mejora progresiva

en las prácticas de fundición, sobre todo a partir de la introducción del aforro de cobre. Estas diferencias pueden además estar relacionadas con las características del mineral utilizado en cada región. Al respecto, las chapas halladas en barcos británicos de los siglos XVIII y XIX exhiben un contenido de plomo y de otros elementos minoritarios menor al que presentan las planchas usadas en barcos continentales (ver Ciarlo, 2016). La buena calidad del cobre usado en los barcos de la Real Armada británica está atestiguada por otros objetos usados a bordo (e.g. Ciarlo, 2015b). Vale notar que las planchas sufrían un desgaste heterogéneo, que en esos tiempos se atribuyó a la ubicación que ocupaban en el casco y al método de fabricación e impurezas del material. Las medidas adoptadas fueron esencialmente prácticas: utilizar chapas de varios espesores y laminadas, por considerarse estas últimas superiores a las de cobre batido (forjado). Como antecedente notable sobre los estudios realizados durante el siglo XIX para evaluar el deterioro de este aforro en el medio marítimo —acaso el más reputado fue el de Humphry Davy (1824)— destaca el trabajo del químico francés Joseph L. Proust (1795).

Las experimentaciones también resultaron en la sustitución parcial de los clavos de cobre por los de aleación de cobre. A diferencia de los primeros, que eran forjados en caliente o en frío (con recocido) a partir de pequeños tochos, estos últimos se fabricaron usualmente mediante moldeo. Los objetos recuperados de naufragios de la primera mitad del siglo XIX, en especial de las primeras décadas, muestran en conjunto una

gran diversidad con respecto a las aleaciones utilizadas (e.g. MacLeod y Pitrun, 1996; Murray et al., 2009; De Rosa et al., 2010; Ciarlo, 2015b; Cohen et al., 2015). Estas incluyen latones (cobre-zinc) y bronce (cobre-estaño) con contenidos variables de zinc y plomo en menor proporción. Estos elementos reportaron varias ventajas técnicas con relación a la producción (e.g. mejorar la colabilidad y bajar el punto de fusión) y el uso (e.g. aumentar la resistencia a la tracción y a la corrosión) de las piezas. Más allá de la variabilidad en cuanto a los aleantes y sus proporciones, los estudios indican que se desempeñaron adecuadamente en el ámbito para el que fueron pensadas. Por otro lado, también se ha reportado el hallazgo de clavos de cobre y de aleación en un mismo barco. Esto puede estar indicando una instancia de reparación o un uso diferencial intencionado, para sujetar componentes de madera disímiles.¹ Los clavos de aleación de cobre tenían una ventaja adicional: su baratura. En particular, dadas sus prestaciones, el latón se utilizó ampliamente en pernos y clavos, sobre todo a partir de la introducción del aforro que patentó George Muntz en 1832: ca. cobre 60 % y zinc 40 % (ver McCarthy, 2005).

Los barcos de guerra requirieron de ingentes cantidades de tachuelas para fijar las planchas del aforro de cobre.² Dada la

¹ En el sitio Akko 1 (ca. 1840) se hallaron dos tipos de clavos de latón. Los investigadores resaltaron que aun cuando pudieron haberse fabricado para ser utilizados con fines diferentes, sirvieron para sujetar las mismas tablas de forro (Cohen et al., 2015: 199).

² Los datos reportados por Winfield (2005: 76) sobre el buque de 50 cañones *Hannibal* son sugerentes: 2.010 planchas de cobre y 40,5 quintales de tachuelas (ca. 2.050 kg). Si se considera una cantidad

nueva demanda naval, estos pequeños objetos empezaron a producirse por centenares de miles. El método de producción más usual fue el moldeo, aunque también hay evidencia material del uso de tachuelas manufacturadas a partir de alambres de cobre. Durante la segunda mitad del siglo XVIII y la primera del XIX predominaron las piezas de aleación de cobre, principalmente hechas en bronce. Los vestigios de naufragios de este período dan cuenta de una importante variabilidad con relación al porcentaje de los aleantes incorporados *ex profeso* (estaño, zinc y plomo), incluso al interior de un sitio (e.g. Samuels, 1992; MacLeod, 1994; Viduka y Ness, 2004; Ciarlo, Lucchetta, et al., 2016; entre otros). Las razones para dar cuenta de esto último incluyen la existencia de tachuelas producto de reparaciones, el control flexible o irregular de la producción y diferentes criterios acerca de la calidad de los materiales. No parece que las diferencias registradas hayan afectado significativamente la eficacia de las piezas. El estudio de tachuelas (y otros objetos) de la carga de un barco puede ofrecer información novedosa acerca de los estándares de producción en ciertas coordenadas temporales y espaciales. En el caso del sitio Deltebre I (1813), a partir del análisis de un grupo de muestras que no presentaban rastros de uso, pudimos determinar que se produjeron en bronce mediante moldeo. La regularidad que muestran los principales aleantes de las tachuelas sugiere que provienen de una misma usina y que fueron elaboradas bajo

aproximada de 90 tachuelas por libra, resulta que un barco de guerra británico de 4to. orden requería unas 400 mil tachuelas.

cierto control de la calidad. Por otro lado, las ligeras variaciones registradas en los elementos minoritarios se atribuyeron a la existencia de varios lotes. Lo anterior es sugerente, ya que denota la permanencia de técnicas típicamente artesanales para la producción de grandes cantidades de piezas en un contexto de creciente industrialización (Ciarlo, Maxia, et al., 2016).

5.2 Equipamiento náutico

El equipamiento náutico incluye las anclas, las bombas de sentina y el timón. A grandes rasgos, estos componentes permitían fondear, mantener a flote y gobernar un barco de guerra. Básicamente, las anclas permitían aferrarlo al fondo, por lo que eran consideradas el elemento de seguridad por antonomasia (Falconer, 1780: ANCHOR). Estos barcos estaban equipados con varias anclas, cuyo número y peso dependían de su porte (e.g. un navío británico de 74 cañones llevaba cuatro anclas de leva, un ancla de espía y un anclote). Los cambios más notables con relación a esas dos variables pueden apreciarse al comparar los siglos XVII y XVIII: la tendencia fue emplear menos anclas, pero cada vez más pesadas (e.g. Jobling, 1993; Curryer, 1999). Esta última centuria, aun cuando pueden apreciarse ligeras modificaciones, fue un período de relativa estabilidad en cuanto a lo estipulado en las reglamentaciones. La definición de los modelos también fue un rasgo sobresaliente, que quedó plasmado en los tratados —o apartados especiales, realizadas por técnicos y académicos— que se dedicaron a este tema en particular (e.g. Bouguer, 1746: 95-103; Réaumur y

Duhamel de Monceau, [1764] 1993; para el caso de Francia). En la introducción de *A Treatise on the Anchor*, Pering resaltó que ninguna nación adoptó un ancla similar en cuanto a su forma, proporciones y partes componentes (Pering, 1819:9). Puntualmente, la morfología de las anclas británicas fue distintiva (e.g. los brazos rectos y la cruz puntiaguda) y mostró notable regularidad a lo largo del siglo XVIII (ver Sutherland, 1717; Steel, 1794). Este modelo fue conocido como *Old Admiralty Longshank*, y se diferenciaba claramente de las piezas francesas y españolas, que exhibían algunas similitudes entre sí (Fig. 7).

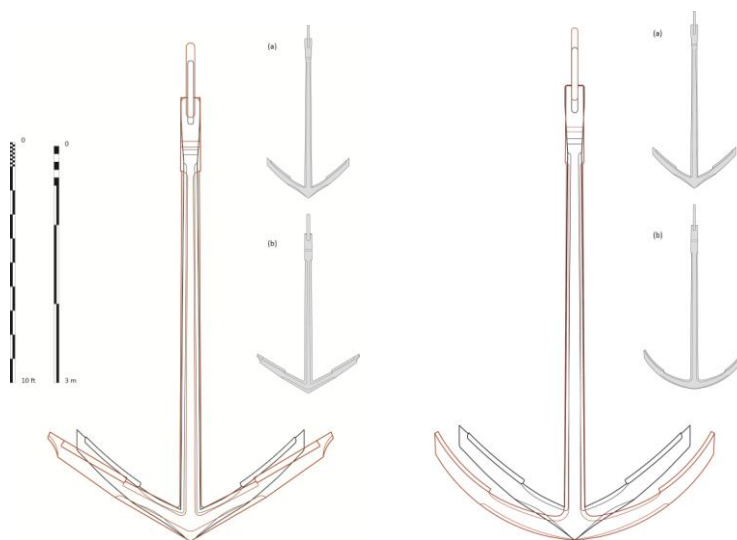


Figura 7. Superposición de las siluetas de anclas del siglo XVIII.

A la izquierda, anclas inglesas ilustradas en (a) Sutherland (1717); y (b) plano del National Maritime Museum, ZAZ 6698. El tamaño y peso de las dos anclas son similares; el ángulo de los brazos, en cambio, es más obtuso en el caso del ancla de ca. 1790. A la derecha, anclas inglesas y francesas reproducidas a partir de: (a) Sutherland (1717); y (b) Réaumur y Duhamel de Monceau ([1764] 1993). A igual tamaño de la caña, la principal diferencia radicaba en la forma de los brazos y el ángulo que formaban respecto de la caña. Gráfico: N. Ciarlo 2014

En los trabajos y ordenanzas de la época encontramos información sobre el diseño y las dimensiones de un ancla, de suma utilidad para la identificación de las piezas halladas en naufragios. Este análisis se aplica a la procedencia de las anclas, pero no se extiende a la de los barcos, que podían estar equipados con diferentes piezas. Esto último resultaría irregular en el caso de las Armadas, pero no puede descartarse de antemano. Las anclas halladas en el sitio *HMS Sirius* (1790), pese a ser del tipo *Old Admiralty Longshank*, presentan varias diferencias, e.g. con relación al largo de la caña y la forma y extensión de los brazos (Stanbury, 1994: 71). Allende los aspectos diagnósticos ya referidos, solían existir leves diferencias en la morfología y el tamaño de las piezas de un determinado lugar (ver Telechea Idígoras, 1977; para el caso de las anclas fabricadas en Hernani). En este sentido, no puede hablarse de una estandarización propiamente dicha, máxime teniendo en cuenta que la producción estaba basada en criterios marcados por la experiencia de cada maestro ancorero. Lo anterior pone de manifiesto la distancia que existía entre la teoría y la práctica.¹

Llama la atención la permanencia del diseño básico de las anclas en esta época, pese a que no estuvieron exentas de serias fallas. El principal punto débil de las anclas británicas, donde solían quebrarse pese a los recaudos tomados por los ancoreros, era la unión de los brazos con la caña (Jobling, 1993: 81). Al

¹ Podemos decir que esta distancia también vale para el caso de los constructores navales, fundidores de cañones, etc., que no siempre seguían los planos de modo textual.

respecto, debe notarse, el ángulo que formaban los brazos con relación a la caña fue un aspecto central, dado que de este dependían la capacidad de agarre y la fortaleza de las piezas. La solución de compromiso óptima se alcanzó tempranamente por parte de especialistas tales como Sutherland y Bouguer, al menos en cuanto a lo formal, al establecerse una relación de aproximadamente 60°. De allí que, pese a las ligeras variaciones en las otras partes, las anclas no experimentaran sustanciales cambios. El otro aspecto que influyó seriamente sobre la calidad de las piezas, y que no pudo resolverse sino hasta entrado el siglo XIX, se relaciona con los defectos resultantes de las limitaciones propias de los medios de producción disponibles en las anclerías (e.g. Carrión Arregui, 1995: 203,214; Jobling, 1993: 84-87).

La función que debían cumplir las anclas demandó especial esmero por parte de los martilladores. Junto con la fundición de cañones, la manufactura de estas piezas fue una de las actividades metalúrgicas más complejas de su tiempo. La labor solía realizarse en usinas especiales, estatales y privadas, que estaban equipadas con fraguas, martinets y grúas. El proceso de forjado en caliente incluía una combinación de operaciones, tanto manuales como asistidas por martillos mecánicos, que podían estar accionados por medio de energía hidráulica. Debido a limitaciones técnicas para producir grandes masas de hierro, la caña y los brazos de las anclas debían elaborarse por medio de la unión de varias barras de hierro. El mayor desafío residía en lograr una adecuada unión entre las superficies, en especial de

los sectores que estaban más tensionados durante el uso, e.g. donde los brazos se unían a la caña (Fig. 8). El método empleado para fabricar anclas en Gran Bretaña y Francia era similar. Tenía de peculiar que cada una de las secciones mencionadas se obtenía a partir de un haz de barras del largo correspondiente, que se forjaba hasta obtener una masa sólida, i.e. la caña y los brazos. Este sistema está ilustrado con detalle en la sección *Marine, Forge des Ancres*, de la magna obra de Diderot y d'Alembert (1769). En España, en lugar de los atadillos, los martilladores soldaban entre sí tochos cortos que tenían la misma sección que la caña o los brazos, según el caso. Mediante este último, según consta en algunos documentos, era posible trabajar a una temperatura uniforme y lograr una completa unión de las superficies de contacto. De allí que las anclas de la península —puntualmente, las que se hacían en el norte— fueran tan apreciadas (ver Carrión Arregui, 1995, 1998).

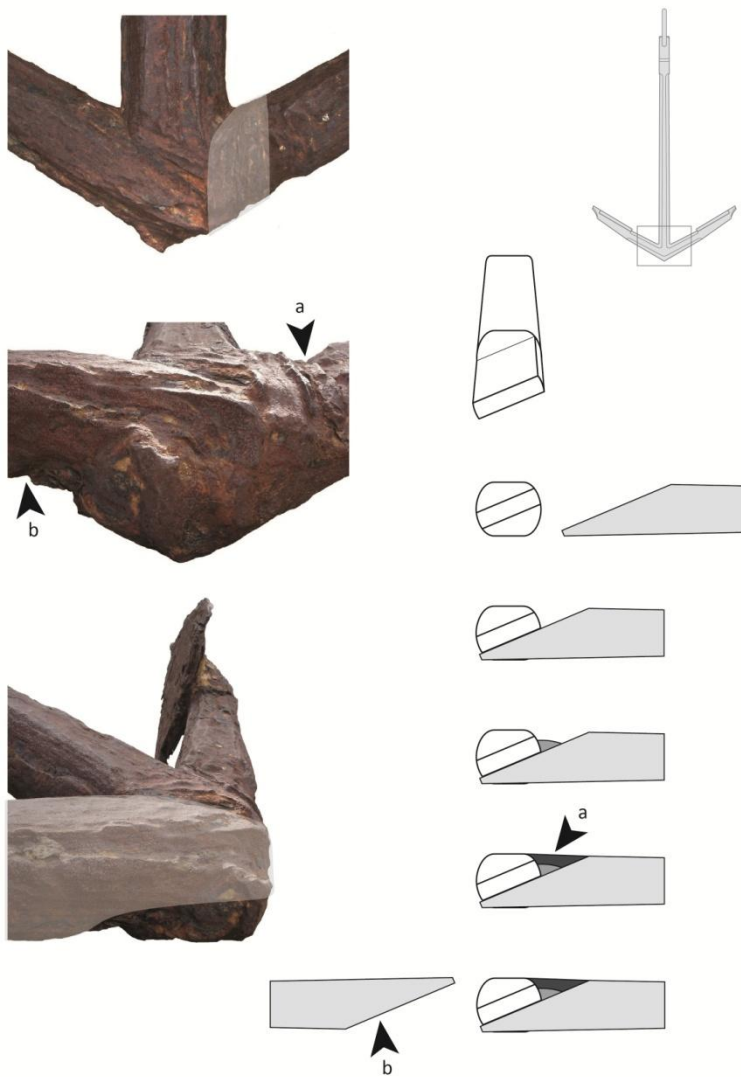


Figura 8. Detalles del ancla hallada cerca del naufragio de la *HMS Swift* (1770) y diagrama del empalme en bisel, típico de las piezas británicas del siglo XVIII (elaborado a partir de Samuels 1992: Fig. 15). Las flechas indican: (a) la zona de refuerzo y (b) el bisel de uno de los brazos. Fotos: N. Ciarlo.

La calidad de la materia prima también fue una preocupación esencial. España descolló por cuanto las menas de hierro del reino eran consideradas de excelencia. No sucedía lo mismo en Gran Bretaña, cuyos minerales adolecían de gran contenido de azufre y fósforo (Samuels, 1992: 88). Esta situación se vio agravada por la adopción del coque como combustible desde comienzos del siglo XVIII, que también tenía impurezas perjudiciales para el conformado y desempeño de los objetos de hierro. Por tal razón, tuvieron que importarse grandes volúmenes de hierro forjado, fundamentalmente de Suecia: el de Öregrund fue el más solicitado por la Armada. Aquella potencia dependió de los países del Báltico para este y otros recursos navales de primera línea (ver Kent, 1973; Evans et al., 2002; entre otros). Aunque aún escasos, los estudios arqueométricos han probado ser de suma utilidad para precisar los pormenores de la fabricación de anclas. Asimismo, las características asociadas a este proceso constituyen una vía alternativa para evaluar su procedencia. Hasta la fecha, los ejemplares estudiados corresponden a anclas británicas de la segunda mitad del siglo XVIII. La caracterización microestructural y de composición química de la pieza hallada en inmediaciones de la *HMS Swift* (1770) permitió detallar algunos aspectos relacionados con la forma de confección, la calidad de las barras de hierro y el control de la temperatura durante el proceso de forjado (Ciarlo et al., 2011). En el caso del ancla del *Endeavour*, Samuels obtuvo información adicional sobre la forma de unión de los brazos a la caña (Samuels, 1992: 81-86). Estos elementos

de fondeo muestran notables semejanzas entre sí, situación que da cuenta de lo expresado más arriba.

El método de pudelado patentado por Cort tuvo serias implicaciones sobre el desarrollo de la tecnología de producción del hierro forjado. Por extensión, afectó hondamente a diversas industrias relacionadas con el ámbito naval, entre estas la ancorera. Aquel material resultó de muy buena calidad e incluso fue estimado por algunos contemporáneos como superior al procedente de Suecia (ver Curryer, 1999: 65-71). Habría que esperar a la siguiente centuria, luego de finalizadas las Guerras Napoleónicas, para que se produjeran los siguientes cambios significativos en torno a las anclas. Los nuevos modelos incluyeron cepo de hierro (en los anclotes se introdujo durante la segunda mitad del siglo XVIII) y cable de cadena (ver Pering, 1819; Cotsell, 1856; entre otros). Estas innovaciones dependieron en parte de las mejoras previas en la calidad de la materia prima y los medios utilizados para forjar grandes masas de hierro (e.g. reemplazo de los martinets hidráulicos por otros accionados mediante vapor). En el caso de la Real Armada británica, pese a las ventajas que supuestamente reportaban estas novedades, requirieron de un extenso período de prueba. Esta situación, al igual que otras, ilustra los condicionamientos técnicos que subyacen a ciertos cambios y el conservadurismo que tantas veces opuso resistencia a la incorporación de propuestas que se apartaban de los usos de larga data.¹

¹ La resistencia a la implantación de novedades, cuando estas representaron una amenaza por ser competitivas, también puede

Las bombas de sentina constituían otro de los elementos esenciales llevados a bordo. Estas máquinas, colocadas en el sector medio de los barcos, en cercanías del palo mayor, permitían extraer el agua acumulada diariamente en la sentina debido a las filtraciones del casco, así como en situaciones extraordinarias (Sullivan, 1986: 23). Las había de dos tipos básicos, según el principio de funcionamiento: aspirantes y de cadena o rosario (Falconer, 1780: PUMP). Las primeras eran más sencillas, fáciles de operar y de mantener, aunque eran menos eficientes que las segundas. Las Armadas europeas del siglo XVIII, a excepción de la francesa, hicieron uso principalmente de las bombas de cadena (ver Oertling, 1984; para un análisis pormenorizado del tema). Las aspirantes, en el caso de Gran Bretaña, se destinaron a los barcos de menor porte (e.g. las corbetas) y en ocasiones funcionaron junto con las otras, como en el caso de la fragata *HMS Pandora*, 1791 (McKay y Coleman, 2010: 10). En Francia, aunque predominó el uso de un tipo especial de bomba aspirante, en el último cuarto de la centuria se realizaron algunas pruebas con bombas de rosario similares a las británicas, que finalmente se adoptaron en los barcos de guerra. En este caso, tampoco fue inusual el uso conjunto de los dos tipos. Por caso, podemos mencionar los ejemplares localizados en el naufragio del *Bucentaure*, 1805 (Martí Solano, 2008: 86,87). La combinación de diferentes máquinas responde a

rastrearse en el ámbito de la producción metalúrgica en varios momentos de la historia moderna (e.g. Alcalá-Zamora, 1999: 74,82; González-Pola de la Granja, 1999: 110, por citar dos casos de la España dieciochesca).

circunstancias específicas: en el primer caso, es dable suponer que se optó por una solución técnica en procura de conseguir mayor versatilidad; en el segundo, es factible que se trate de una situación de experimentación.

Los tubos de las bombas utilizadas durante gran parte del siglo XVIII eran de madera, a excepción de la denominada 'bomba real' de los franceses que tenía una sección metálica intermedia. Entre las modificaciones que se hicieron para mejorar las bombas de sentina, el aspecto más sobresaliente fue la sustitución de las partes de madera por piezas de metal: primero de plomo (tubos) y luego de cobre y aleación de este metal (tubos y demás partes del mecanismo). Gracias a estas reformas, las bombas aspirantes aumentaron su rendimiento: generaban menos pérdidas y desplazaban un mayor caudal de agua. No obstante, las bombas de cadena continuaron siendo el equipamiento estándar de los barcos, en particular el modelo desarrollado por William Cole y John Bentick en 1768, y sus variantes ulteriores (ver Oertling, 1984). Las mejoras dentro de este rubro parecen haber sido bienvenidas, así lo atestigua la bomba aspirante de Walter Taylor (1789) que fue incorporada en el *Pandora*, 1791 (Coleman, 1988). Las bombas aspirantes de la *HMS Swift* (1770) combinan una serie de rasgos que dan cuenta de la transición hacia el uso de componentes de metal. El análisis de uno de los tubos indicó que fue manufacturado con un bronce de alto contenido de plomo, con buenas propiedades antifricción (De Rosa et al., 2011: 85). No obstante, las demás características formales y piezas identificadas son típicas de las

bombas aspirantes utilizadas habitualmente (Elkin et al., 2011: 138-141).

En cuanto al gobierno de los barcos, el timón consistía en el mecanismo central. Por tal motivo, en batalla se buscaba inutilizar el de los barcos contrarios, a fin de sellar su suerte. Durante la primera mitad del siglo XVIII, nuevamente siguiendo la experiencia británica previa, las Armadas europeas fueron adoptando el timón de rueda (Rodger, 2006: 222). Este estaba accionado mediante una rueda, localizada en el alcázar, cuyo movimiento se transmitía a la pala mediante un sistema de guardines que desplazaban lateralmente la caña. El sistema tenía ciertas ventajas con respecto al utilizado durante el siglo XVII. De allí en más, su diseño básico no sufrió más que ligeras modificaciones; por caso, con la introducción del aforro de cobre fue necesario revestir la pala y reemplazar los goznes de hierro. Primero se probó con goznes de cobre, pero tras haber mostrado un gran desgaste se decidió fabricarlos en bronce (Fig. 9).

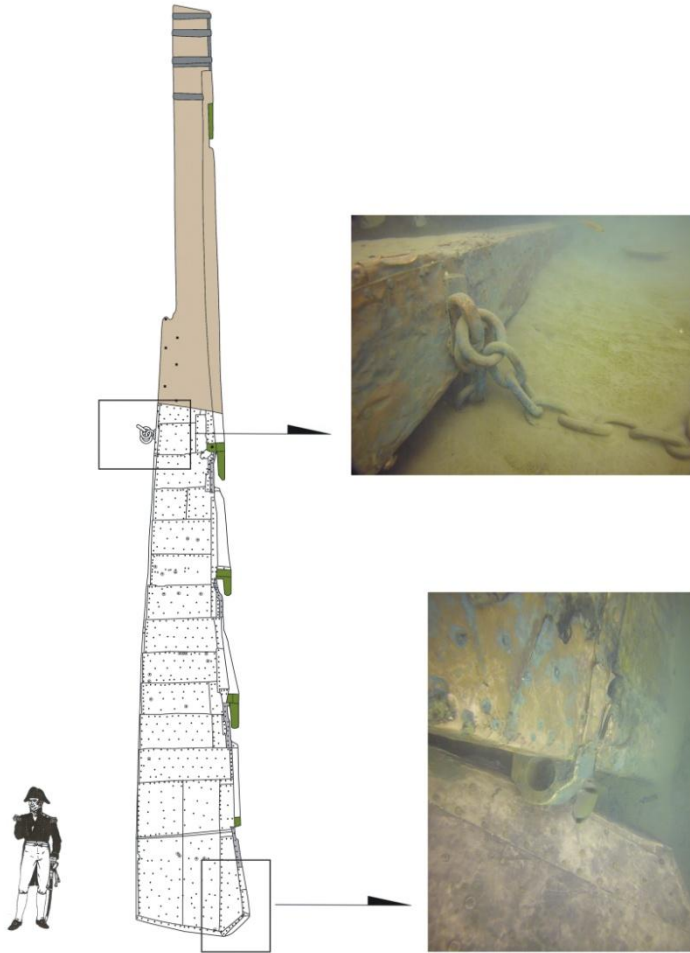


Figura 9. Timón del sitio Deltebre I (1813). Plano de la pieza (alzado: 9,5 m), en el que se aprecia el revestimiento metálico. A la derecha, fotos subacuáticas de las cadenas que aseguraban la pieza al casco (a los lados de la limera) y del pie del timón, junto a una de las hembras que iban sujetas al codaste. Gráfico: R. Geli Mauri 2009. Fotos: CASC-MAC.

Existen escasos resultados arqueométricos sobre los elementos que formaban parte del timón de rueda, pese a lo cual han aportado datos interesantes. El componente intermedio, la caña, era de hierro. Dadas sus dimensiones y según el examen llevado a cabo sobre los restos del timón de la *HMS Swift*, 1770 (De Rosa et al., 2011), podemos afirmar que su hechura era similar a la de las anclas y habría estado a cargo de los mismos artesanos especializados. La materia prima escogida, en el caso de las piezas británicas, también debió ser importada. En cuanto a los goznes de bronce, existen varios ejemplares procedentes de naufragios del siglo XVIII (e.g. Stanbury, 1994; Campbell y Gesner, 2000). La composición química de algunos de los machos y hembras recuperados del sitio *HMS Sirius* (1790) fue analizada por MacLeod (MacLeod, 1985: 59; Stanbury, 1994: 103). La presencia de ciertos tenores de plomo habría facilitado el movimiento de rotación de estas articulaciones (McCarthy, 2005: 136,137). La información disponible sugiere que las ventajas que tenía el plomo en las piezas de bronce sometidas a fricción fueron advertidas por los fundidores de la época. Este metal también se empleó como aleante minoritario en otras piezas sujetas a un intenso movimiento rotativo (e.g. en motonería, las roldanas o bujes de roldanas) y lineal alternativo (e.g. las válvulas de las bombas de sentina) (e.g. Ciarlo, 2015b).

En función de lo mencionado hasta aquí no podemos dejar de notar que, en el caso de Gran Bretaña, reconocidos contratistas de la armada (e.g. Taylor, Cole, Forbes, etc.) llevaron a cabo aportes técnicos en diferentes rubros, lo que

denota una preocupación integral por parte de estos industriales.¹ Diremos también en este punto que la experimentación seguida de una evaluación pautada fue la senda típica que condujo a la introducción de estas y otras novedades, y que permitió en el corto plazo la resolución de los problemas que se presentaron. Las investigaciones científicas para brindar una explicación acerca del comportamiento de los fenómenos físicos y electroquímicos implicados en los procesos de fabricación y durante el uso de los objetos (e.g. calor, fricción, corrosión, etc.) por lo general corrieron desfasadas, aunque en estrecha relación con el ámbito práctico, y a la postre obraron en beneficio de las innovaciones en cuestión.

5.3 La artillería

La artillería de las Armadas fue un aspecto de sumo interés, ya que constituyó el principal medio con el que se arbitraron los conflictos armados entre las flotas. El número de cañones con que estaba artillado un barco fue de suma importancia, así como la capacidad de las personas que se encargaban de operarlos. La Real Armada británica destacó por sobre otras, menos experimentadas en el manejo de las piezas de artillería. Ciertos adelantos técnicos oficiaron en este mismo sentido. Entre mediados del siglo XVIII y la caída de Napoleón

¹ Los motones producidos por Taylor mediante máquinas especiales eran más pequeños, livianos, baratos y generaban menor fricción que los usados corrientemente. Rodger destacó que las mejoras técnicas de este tenor contribuyeron notablemente al mejor desempeño de los barcos británicos (Rodger, 2006: 301,302).

Bonaparte, en 1815, todos los cañones utilizados por las principales potencias europeas eran, particularidades a un lado, de avancarga (Fig. 10).

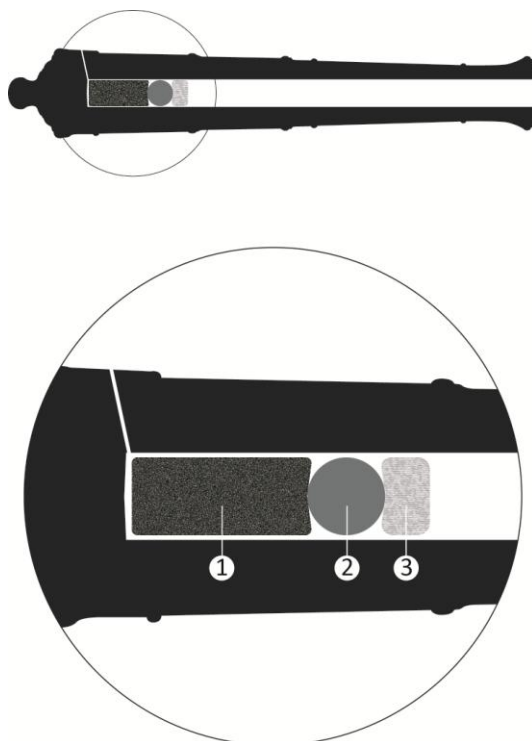


Figura 10. Esquema de la silueta e interior de un cañón de avancarga y ánima lisa del siglo XVIII, basado en el modelo británico *Armstrong*. En detalle se aprecia la zona de la recámara, adonde se ubicaba la carga, que en este ejemplo se encuentra compuesta por los siguientes elementos: 1) cartucho de pólvora; 2) bala esférica; y 3) taco de filástica. Gráfico: N. Ciarlo 2014.

Las piezas montadas en las fragatas y navíos de línea eran de hierro. Pese a ser más pesadas y menos seguras que las de bronce, fueron preferidas por su bajo coste (Torrejón Chaves, 1997: 295; Sanjurjo Jul, 2007: 25,27). Las bocas de fuego se distribuían en una o varias cubiertas, a ambos costados de los buques. Aquellos destinados al combate de línea eran verdaderas fortalezas flotantes: los navíos de mayor porte construidos en Europa por aquel tiempo llegaron a superar el centenar de piezas. En Inglaterra, en particular, la piedra angular de la Armada fueron los barcos de 74 cañones, diseñados a partir de las características del navío francés *Invincible* (Ferreiro, 2007: 24,25). Las baterías influyeron sobre las características del casco, cuya estructura estaba diseñada para soportar el peso y mantener la estabilidad durante las andanadas. Por caso, la paulatina adopción de refuerzos de metal para las curvas de bao respondió en parte a este cometido (e.g. Murray, 1754).

El diseño de las piezas pertenecientes a las diferentes Armadas, en particular al calibre y al largo, presentaban rasgos distintivos. Estos pueden apreciarse en algunos de los tratados de artillería de la época (e.g. Muller, 1768; Maritz, [1758] 1987; Rovira, 1773, 1787; de Morla, 1784; Gribeauval, 1792; Robins, 1805), adonde también constan las preocupaciones que desvelaron a los especialistas: puntualmente, la operatividad de los cañones en razón de sus características morfológicas, peso, refuerzos, etc. Con relación a ello, las experimentaciones realizadas a lo largo de los años constituyeron un medio

privilegiado para estudiar el desempeño de las piezas y poner a prueba las especulaciones basadas en el cálculo. En este ámbito, al igual que en el de la construcción naval, los trabajos de los expertos fueron valorados más allá de las fronteras de su país. Las ideas allí plasmadas estuvieron a la vanguardia y, en ocasiones, llevaron a cambios importantes, aunque algunos conceptos equívocos muy arraigados (e.g. la relación ‘directa’ entre el largo de las piezas y su alcance) fueron difíciles de erradicar (ver Ciarlo, 2016; para un análisis sobre el tema).

Las Armadas se ocuparon de sistematizar la información disponible y establecer reglamentaciones atinentes a los aspectos formales —estas dieron lugar a los patrones o modelos (ver Hohimer, 1983; para el caso de las piezas británicas)—, la producción y el uso de piezas de artillería. Los rasgos que hoy consideramos diagnósticos para la identificación de cañones (e.g. diseño, calibre, largo y peso), fueron el resultado de este acompasado proceso de sistematización (Fig. 11). Durante la época de interés, los modelos sufrieron algunas reformas graduales, aunque no implicaron un cambio fundamental, a nivel conceptual o práctico.

En cuanto al ámbito de la producción, los cañones se fundían al pie de los altos hornos en moldes individuales. El control de las operaciones involucradas durante todo el proceso era una cuestión sumamente compleja que requería de mucha experiencia. Más allá de la creciente normalización de las piezas, la práctica de la fundición dependió en parte importante de la pericia y los conocimientos de los maestros fundidores (Alcalá-

Zamora, 2004: 80). La particularidad del propio método empleado (un único molde por pieza) hizo que no hubiera dos cañones idénticos (Tylecote, 1976: 92). Estos estuvieron afectados por algunos cambios en torno a la calidad del material y la producción, que posibilitaron mejorar sus prestaciones. Por ejemplo, se buscó obtener bocas de fuego que fueran a la vez más livianas y resistentes (Sanjurjo Jul, 2007: 27,28). El peso fue un asunto importante, dado que afectaba la velocidad y maniobrabilidad de los barcos, mientras que la calidad del material tenía una estrecha correspondencia con la seguridad y la eficacia del disparo. Como requisito, los cañones para el servicio naval debían superar una rigurosa inspección y varias pruebas de fuego (ver Díaz Infante, 1762: 13-19).

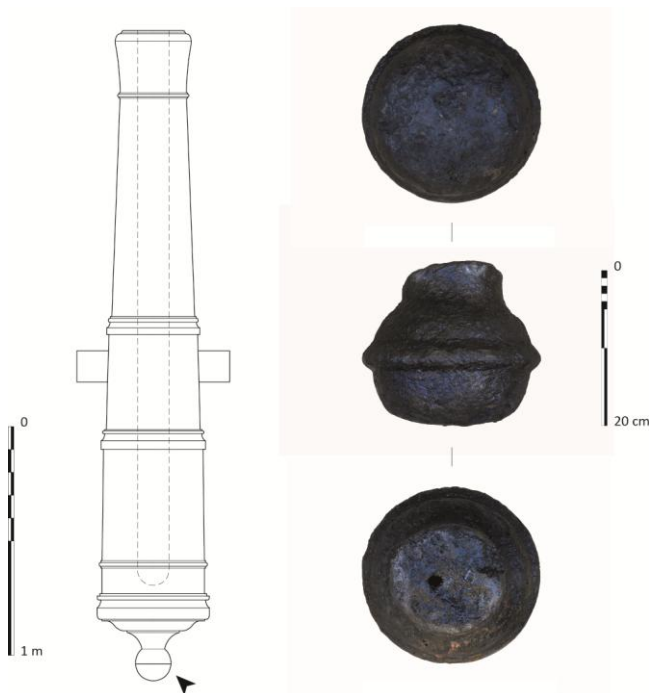


Figura 11. Reproducción del plano de un cañón español, según el Reglamento de 1765 (Rovira 1773: Lámina 2, Fig. 29) y vistas del cascabel de uno de los cañones de hierro del navío *Triunfante* (1795). Gráfico y fotos: N. Ciarlo.

Hacia la segunda mitad del siglo XVIII se produjo un cambio que tuvo serias repercusiones en la calidad de los cañones: el paso de la fundición *en hueco* (o de ánima postiza) a la fundición *en sólido*. El perfeccionamiento de las máquinas para calibrar o rectificar los cañones permitió que el ánima fuera taladrada partiendo de una masa sólida de hierro. De este modo se pudieron obtener piezas con el ánima bien alineada y libre de imperfecciones donde pudieran alojarse rescoldos. La máquina

de barrenado (horizontal) fue aplicada en Francia durante la década de 1750 por Jean Maritz, y mejorada más tarde por su hijo, autor del tratado *Artillerie de la Marine*. En Gran Bretaña, este instrumental se implementó de forma extensiva a partir del último cuarto del siglo, a partir de la versión perfeccionada que patentó el ingeniero John Wilkinson (Usher, 1988: 371,372). En España también se utilizó la máquina de barrenado unos años más tarde, aunque los primeros intentos no fueron satisfactorios (Rovira, 1773: 102,103).

Otro de los cambios que afectó la eficiencia de los disparos fue la llave de chispa (Fig. 12). Es posible que la mayor cadencia de tiro haya estado en cierta medida favorecida por la introducción de este artilugio, pero su importancia tampoco debe sobrevalorarse. Este mecanismo comenzó a utilizarse en cañones británicos hacia el último cuarto del siglo XVIII, aunque existen algunos antecedentes más tempranos, e.g. los cañones del *Invincible*, 1758 (Bingeman, 1998: 171). En el caso de las Armadas de Francia y España, la llave de chispa cobró difusión recién a partir de principios de la siguiente centuria. Pese a las ventajas que supuso este novedoso sistema —una suerte de adaptación del empleado en las armas de fuego de mano— y a su bajo coste, el uso de botafuego permaneció vigente durante varios años. Aquella también se utilizó en piezas anticuadas, como lo atestigua una de las bocas de fuego del *Bucentaure*, 1805, dada la facilidad que suponía acoplar este mecanismo a los cañones que se encontraban en servicio (Martí Solano, 2008: 145-147).

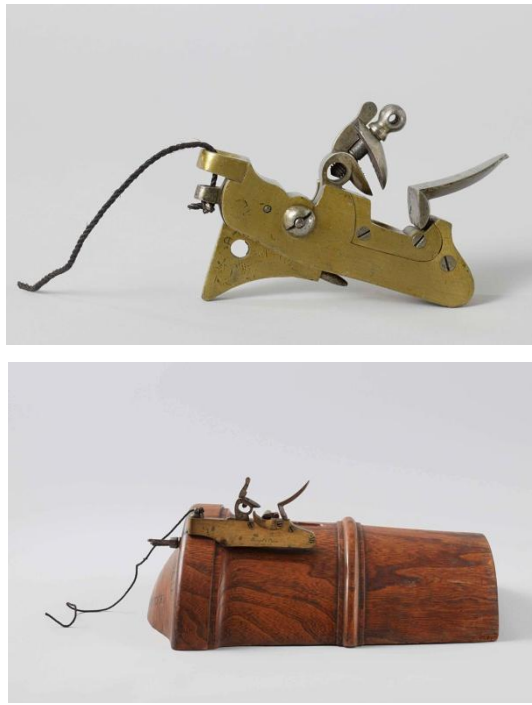


Figura 12. Mecanismos de disparo por medio de llave de chispa: (*izq.*) pieza de aleación de cobre y hierro de ca. 1800 (NG-MC-692); (*der.*) montaje de una llave francesa de principios del siglo xix, para un cañón de 12 libras (NG-MC-698). Fuente: Rijksmuseum (Museo Nacional de Ámsterdam, Países Bajos).

Los cañones disparaban una variada clase de proyectiles (balas rasas, metralla, palanquetas, bombas, etc.), con arreglo a los efectos que se buscaba conseguir (ver Maritz, 1758; Blackmore, 1976; entre otros). Estas municiones presentaban ciertas particularidades, según su función y procedencia (Fig. 13). En la práctica, sin embargo, algunos tipos de municiones eran empleados de forma indistinta. Entre los restos del *Fougueux* (1805), por citar un caso, además de las palanquetas

del tipo francés y español, se hallaron piezas que responden a la morfología inglesa (Rodríguez Mariscal, 2010: 184-186).

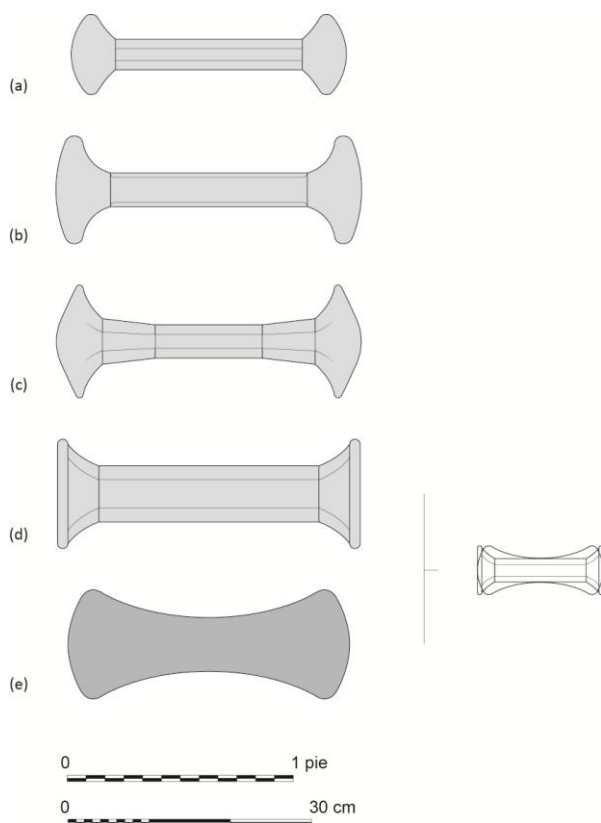


Figura 13. Modelos de palanquetas. Reproducción de los dibujos de Tizón, que se encuentran en el Archivo General de Simancas: a) palanqueta de la Fragata de Guerra Ynglesa el Gibraltar (...); b) palanqueta del Calibre de a 18 del uso de Yngleses y Franzeses, diferenciándose muy poco entre ellos (...); c) palanqueta de a 24 del Navio Yngles de Guerra el Ferzey (...); d) palanqueta del uso actual de las Armadas de S[u] M[ajestad], llamada a la Ynglesa; y e) Palanq[ue]ta española, ideada por D[o]n J[ose]ph Blanco Tizon (...). Gráfico: N. Ciarlo 2014.

Por otro lado, el ámbito de la producción resulta un tema de especial interés, sobre todo con respecto a la calidad de la

fundición utilizada en las balas esféricas, rasas y de metralla. En líneas generales, la obtención de las municiones no demandaba el mismo nivel de cuidado que los cañones, aunque los defectos asociados a las balas (e.g. poros) también afectaron su eficacia, e.g. dirección durante el vuelo (Williams y Johnson, 2000). La fundición empleada en los cañones, debido a sus cualidades, era del tipo gris (carbono en estado primario o grafito). En el caso de las balas, en cambio, por lo general se utilizó la platina, un material de menor calidad obtenido durante las primeras coladas de los altos hornos, i.e. hierro de primera fusión (Alcalá-Zamora, 1999: 78).¹ Por tal razón, es esperable que el material de las municiones sea más heterogéneo que el de las piezas de artillería.

Las balas de fundición gris suponían una doble ventaja frente a las de fundición blanca (carbono en forma de cementita). En el caso de los cañones, debemos señalar, su relevancia fue de primer orden. Primero, el riesgo de fractura era menor, debido a la mayor tenacidad del material. Por tal motivo, también podía emplearse una carga explosiva mayor. Segundo, eran entre un 5 y 10 % más livianas, conforme al contenido de carbono en la aleación. En grandes volúmenes, esto podía llegar a significar una contribución para con la ligereza del barco. Los maestros fundidores estaban al corriente de ambas cualidades y es probable que supieran que si utilizaban balas de fundición gris,

¹ La instalación de hornos de reverbero en Francia y España —siguiendo el modelo británico— durante la última parte del siglo XVIII permitió reutilizar chatarra (e.g. cañones fallados) para fundir balerío y otros objetos.

podían emplear una mayor carga de pólvora y contribuir de ese modo a aligerar el peso de los barcos. La posibilidad de obtener este tipo de balas dependía de múltiples factores, principalmente de las características del hierro colado y del procedimiento de moldeo de cada proyectil. Con relación a lo anterior, se ha postulado que la tendencia general en cuanto al balerío producido entre los siglos XVII y XIX fue el creciente uso de la fundición gris (e.g. Bethencourt et al. 2013). Si bien puede reconocerse un cambio en este sentido, la dinámica distó mucho de ser regular.

La evidencia procedente de naufragios de diversa procedencia ilustra la complejidad del asunto (e.g. Ciarlo, López et al., 2015). El caso más sugerente es el del cargamento de municiones del sitio Deltebre I (1813). Las balas rasas y de metralla halladas en este naufragio presentan microestructuras disímiles. La heterogeneidad de los materiales puede incluso apreciarse si se comparan entre sí balas de similar tipo y tamaño. Junto con los ejemplares de fundición gris perlítica con esteadita encontramos otros que poseen una estructura de cementita, perlita y cierto contenido de esteadita (ver Ciarlo, 2016). Pese a que las cualidades de la fundición gris eran conocidas y bien apreciadas, la variabilidad que exhiben las muestras estudiadas indica que a principios del siglo XIX la situación todavía no se había definido por completo a favor de la utilización generalizada de la fundición gris. Sobre la base de la información recabada, podemos afirmar que la fabricación de balas rasas y de metralla con este material estuvo restringida

por varios factores. En cuanto a los aspectos técnicos inmediatos, es probable que existieran ciertas discrepancias asociadas a los diferentes métodos de manufactura (e.g. empleo de moldes de arena o de hierro y un escaso control de la velocidad de enfriamiento durante la colada). Aun suponiendo que en algunas usinas hubo una creciente rigurosidad con respecto al proceso de manufactura, existieron otros elementos relacionados con la tecnología disponible que postergaron la posibilidad de producir de forma extensiva el balerío de fundición gris. Al respecto, los altos hornos tuvieron un rol decisivo. Inicialmente, estos estuvieron alimentados con carbón de leña, funcionaron a temperaturas relativamente bajas y generaron escorias principalmente ácidas. En el transcurso del siglo XVIII, algunas mejoras tales como la introducción del coque (primero y sobre todo en Gran Bretaña), el incremento de tamaño de los hornos y el uso de sistemas de insuflado de aire más eficientes, permitieron alcanzar temperaturas cada vez más altas y propiciaron la obtención de escorias más básicas. Estas condiciones permitieron que durante la reducción del mineral se disolviera una mayor cantidad de silicio en la aleación. En consecuencia, de ordinario pudo obtenerse un producto susceptible de resultar en fundición gris. Lo dicho anteriormente pone de manifiesto un simple hecho que en varias ocasiones supuso una limitación a las aspiraciones de los fabricantes: la posibilidad de llevar a la práctica ciertas ideas estuvo supeditada a la existencia de condiciones técnicas adecuadas (Ciarlo, De Rosa et al., 2015).

6. Consideraciones finales

En aras de controlar los mares, rutas comerciales y territorios de ultramar, a lo largo del siglo XVIII los británicos buscaron contar con una fuerza naval que superara a las de sus adversarios principales, Francia y España. Las inversiones en infraestructura, organización, construcción de barcos, equipamiento, personal especializado e instrucción marinera, fueron ingentes. La solución fue integral. Los españoles y franceses también apostaron a renovar sus flotas. Una faceta de este complejo escenario se relaciona con las innovaciones tecnológicas que realizaron unos y otros para mejorar la operatividad (velocidad, maniobrabilidad, durabilidad y poder de fuego) de sus barcos de guerra. La investigación desarrollada a partir del análisis de los restos materiales de naufragios y de las fuentes documentales disponibles permitió dar cuenta de los cambios ocurridos. Y desde una perspectiva en clave comparativa, obtuvimos información novedosa sobre la problemática de interés. También, allende el contexto particular considerado, los resultados obtenidos redundaron en datos útiles para el conocimiento del proceso de industrialización, puntualmente en torno a la metalurgia.

Las innovaciones no afectaron por igual a los componentes de metal de los barcos, ni lo hicieron al mismo ritmo en diferentes lugares. La mayoría de estos estuvieron precedidos por prolongadas pruebas y más de una vez fueron resistidos por el conservadurismo y escaso dinamismo en ciertos sectores del rubro naval. Una vez demostrada su eficacia y en el marco de

condiciones favorables, fueron aceptados y se extendieron a ritmos dispares. Su éxito no fue el resultado de un proceso iterativo de ‘prueba y error’, al contrario, como basamentos de la labor de ingenieros, técnicos y artesanos pueden reconocerse tres aspectos típicos de la labor científica de la época: observación sistemática, experimentación controlada y ordenación de la información. Por otro lado, algunas transformaciones dependieron de avances en rubros anejos (e.g. en metalurgia) y, a la vez, tuvieron repercusiones de variada índole sobre otros. Asimismo, las influencias extranjeras cumplieron un rol destacado en cada una de las Armadas. Mediante diversas estrategias de transferencia (espionaje militar e industrial, comercio, entre otras), los galos siguieron de cerca a los británicos en el caso de los adelantos técnicos, y estos últimos le correspondieron en materia de diseño naval. Numerosas invenciones en la industria naval y metalúrgica fueron implementadas en momentos de paz, mientras que otras, sobre todo de carácter bélico, se introdujeron en tiempos de guerra. El proceso de innovación, en este contexto, estuvo favorecido en las instancias de ideación y experimentación por una estrategia de anticipación a los conflictos internacionales. Por otro lado, los cambios no fueron radicales, sino que se basaron en modelos y preceptos básicos que databan de varios años, e incluso décadas. Y en ocasiones, aquellos se vieron beneficiados *a posteriori* por investigaciones desarrolladas dentro del ámbito académico. En definitiva, la continua búsqueda por mejorar la calidad y eficiencia de los componentes críticos de los barcos de guerra,

redundó en una serie de novedades en materia de construcción naval y armamento que permitieron dar respuesta a desafíos prácticos durante la coyuntura de competencia por la supremacía naval.

Agradecimientos

Al Dr. Mauricio Chocrón y a la Ing. María Cecilia Conti, del Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología “Amílcar Argüelles”, a sus autoridades y a las de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, por su gentil invitación a participar del Sexto Seminario ECAMAT. El tema de la presentación fue desarrollado en el marco del doctorado en Arqueología de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires, con el apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y otras instituciones nacionales e internacionales. Los resultados volcados en este trabajo son fruto de la confianza y esfuerzo brindados durante años por numerosos profesionales, a quienes les estoy sumamente agradecido. En particular, quiero expresar mi gratitud a los directores y miembros de los siguientes equipos de investigación: el Grupo de Arqueometalurgia de la Facultad de Ingeniería de la UBA, el Programa de Arqueología Histórica y Estudios Pluridisciplinarios de la Universidad Nacional de Luján, el Centro de Arqueología Subacuática del Museo de Arqueología de Cataluña, el Centro de Arqueología Subacuática del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, el Programa de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología

y Pensamiento Latinoamericano, el Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido del Departamento de Mecánica del Instituto Nacional de Tecnología Industrial y el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X de la Gerencia Química de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Bibliografía

- AA.VV., “Introduction to Structures in Metals”, en Vander Voort, G. F. (ed.), *ASM Handbook*, vol. 9, EE.UU., ASM International, 2004, pp. 23-28.
- Adams, J., “Ships and boats as archaeological source material”, *World Archaeology*, 32 (3), 2001, pp. 292-310.
- Alcalá-Zamora, J., *Liérganes y La Cavada. Historia de los primeros altos hornos españoles (1622-1834)*, Santander, Librería Estvdio, 2004.
- Ashkenazi, D., Cvikel, D., Iddan, N., Mentovich, E., Kahanov, Y. y Levinshtein, M., “Archaeometallurgical study of the brass cases from the Akko 1 shipwreck”, *Journal of Archaeological Science*, 38 (9), 2011, pp. 2410-2419.
- Ashkenazi, D., Cvikel, D., Stern, A., Pasternak, A., Barkai, O., Aronson, A. y Kahanov, Y., “Archaeometallurgical Investigation of Joining Processes of Metal Objects from Shipwrecks: Three Test Cases”, *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 3, 2014, pp. 349-362.
- Ashton, T. S., *La Revolución Industrial*, México, Fondo de Cultura Económica, 1996.

- Babits, L. E. y Van Tilburg, H. (eds.), *Maritime Archaeology. A reader of substantive and theoretical contributions*, Nueva York, Plenum Press, 1998.
- Bass, G. F., “The Development of Maritime Archaeology”, en Catsambis, A., Ford, B. y Hamilton, D. L. (eds.), *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, Oxford, Oxford University Press, 2011, pp. 3-22.
- Bayley, J., Dungworth, D. y Paynter, S. (eds.), *Archaeometallurgy*, Wiltshire, English Heritage Publications, 2001.
- Bethencourt, M., Hernández, M. Á., Martínez, E. A. y Abreu, C. M., “Apuntes sobre la evolución histórica de la metalurgia armamentística española de los siglos XVII a XIX a través de la caracterización de balas de cañón”, *Actas del IV Congreso Latinoamericano de Conservación y Restauración de Metal*, Madrid, 2013, pp. 391-399.
- Bingeman, J. M., *The First HMS Invincible (1747-58). Her Excavations (1980-1991)*, Oxford, Oxbow Books, 2010.
- Bingeman, J. M., Bethell, J. P., Goodwin, P. y Mack, A. T., “Copper and other sheathing in the Royal Navy”, *The International Journal of Nautical Archaeology*, 29 (2), 2000, pp. 218-229.
- Birch, T., Charlton, M. F., Biggs, L., Stos-Gale, Z. A. y Martín-Torres, M., “The Cargo”, en Milne, G. y Sully, D. (eds.), *The Gresham Ship Project*, vol. 2, British Archaeological Reports, British Series No. 606, Oxford, Archeopress, 2014, pp. 53-69.

- Blackmore, H. L., *The Armouries of the Tower of London*, vol. 1 (Ordnance), Londres, Department of the Environment, Her Majesty's Stationery Office, 1976.
- Bouguer, P., *Traité du Navire, de sa Construction, et de ses mouvemens*, París, Charles-Antoine Jombert, 1746.
- Bradley, M., "Examples of industrial and military technology transfer in the eighteenth century", *Documents pour l'histoire des techniques*, 19, 2010, pp. 87-95.
- Campbell, J. y Gesner, P., "Illustrated catalogue of artefacts from the HMS *Pandora* wrecksite excavations 1977-1995", *Memoirs of the Queensland Museum, Cultural Heritage Series* 2 (1), 2000, pp. 53-159.
- Carabias, D. (ed.), *Encuentro de dos mundos. Naufragio del H.M.S. Wager en la Patagonia*, Valparaíso, Consejo Nacional de la Cultura y la Artes, 2009.
- Carter, B. S., "Armament Remains from His Majesty's Sloop *Boscawen*", Tesis de Maestría, College Station, Texas A&M University, Ms., 1995.
- Carrión Arregui, I. M., "Tecnología tradicional y desarrollo de una industria pesada: la fabricación de anclas en Guipúzcoa (siglos XVI-XVIII)", *Revista de Historia Industrial*, 7, 1995, pp. 199-214.
- "La fabricación de grandes anclas de navíos en el siglo XVIII en Gipuzkoa", *Itsas Memoria. Revista de Estudios Marítimos del País Vasco*, 2, 1998, pp. 549-571.

- Catsambis, A., Ford, B. y Hamilton, D. L. (eds.), *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, Oxford, Oxford University Press, 2011.
- Ciarlo, N. C., “Arqueometalurgia de naufragios históricos en Argentina: estado de la cuestión y perspectivas futuras”, *Intersecciones en Antropología*, 16, 2015a, pp. 161-178.
 - “Naval metals from mid 18th- to early 19th-century European shipwrecks: a first analytical approach”, *Historical Metallurgy* 47 (2), 2015b, pp. 146-152.
 - “Innovación tecnológica y conflicto naval en Europa Occidental, 1751-1815: aportes arqueológicos e históricos al conocimiento de la metalurgia y sus aplicaciones en los barcos de guerra”, Tesis de Doctorado, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2016.
- Ciarlo, N. C., De Rosa, H., Elkin, D., Svoboda, H., Vázquez, C., Vainstub, D. y Diaz Perdiguero, L., “Examination of an 18th century English anchor from Puerto Deseado (Santa Cruz Province, Argentina)”, *Historical Metallurgy*, 45 (1), 2011, pp. 17-25.
- Ciarlo, N. C., De Rosa, H., Vivar, G. y Martí Solano, J., “Cast iron production for artillery: the analysis of shot from early Modern shipwrecks”, *SAS Bulletin*, 38 (1), 2015, pp. 25-26.
- Ciarlo, N. C., López, A. N., De Rosa, H. y Pianetti, M., “Naval crossfire: a comparative analysis of iron projectiles from mid-18th to early 19th centuries European warships”, *Procedia Materials Science*, 8, 2015, pp. 712-721.

- Ciarlo, N. C., Lucchetta, M. C. y De Rosa, H., “Análisis metalográfico y químico de un conjunto de artefactos recuperados del naufragio *Triunfante* (1756-1795), Golfo de Rosas (Cataluña, España)”, en Nieto, J., Pujol i Hamelink, M. y Vivar, G. (eds.), *El vaixell Triunfante: Una fita de la ciència i de la tècnica del segle XVIII*, Monografies del CASC No.12, Girona, Museu d’Arqueologia de Catalunya, 2016, pp. 159-171.
- Ciarlo, N. C., De Rosa, H., Lucchetta, M. C., Marino, P., Rodríguez Mariscal, N., Martí Solano, J. y Maxia, G., “Estudio comparado de dos navíos franceses de la Batalla de Trafalgar: los elementos de fijación estructurales del *Fougueux* (1785-1805) y *Bucentaure* (1804-1805)”, en Juanes Barber, D. y Roldán García, C. (coord.), *Actas del X Congreso Ibérico de Arqueometría*, Castellón, 2014, pp. 217-229.
- Ciarlo, N. C., Maxia, G., Rañi, M., De Rosa, H. Geli, R. y Vivar, G., “Craft production of large quantities of metal artifacts at the beginnings of industrialization: application of SEM-EDS and multivariate analysis on sheathing tacks from a British transport sunk in 1813”, *Journal of Archaeological Sciences: Reports* 5, 2016, pp. 263-275.
- Cock, R., ““The finest invention in the world”: the Royal Navy’s early trials of copper sheathing, 1708-1770”, *The Mariner’s Mirror*, 87 (4), 2001, pp. 446-459.
- Cockrell, W. A., “A Trial Classificatory Model for the Analysis of Shipwrecks”, en Gould, R. (ed.), *Shipwreck Anthropology*, Albuquerque, University of New Mexico Press, 1983, pp. 207-217.

- Cohen, M., Ashkenazi, D., Kahanov, Y., Stern, A., Klein, S. y Cvikel, D., “The Brass Nails of the Akko Tower Wreck (Israel): Archaeometallurgical Analyses”, *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 4, 2015, pp. 188-206.
- Coleman, R. A., “A ‘Taylor’s’ common pump from HMS *Pandora* (1791)”, *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration*, 17 (3), 1988, pp. 201-204.
- Cordero, A., Buffa, V. y Elkin, C., “Arqueología Marítima en Uruguay”, *Novedades de Antropología*, 46, 2003, pp. 18-19.
- Cotsell, G., *Treatise on ship’s anchors*, Londres, John Weale, 1856.
- Curryer, B. N., *Anchors. An Illustrated History*, Londres, Chathan Publication, 1999.
- Cvikel, D. y Kahanov, Y., “The Akko 1 shipwreck, Israel: the first two seasons”, *The International Journal of Nautical Archaeology*, 38 (1), 2009, pp. 38-57.
- Davy, H., “On the corrosion of copper sheathing by sea water, and on methods of preventing this effect; and on their application to ships of war and other ships”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 114, 1824, pp. 151-158.
- Delgado, J. (ed.), *Encyclopedia of Underwater and Maritime Archaeology*, Londres, British Museum Press, 1997.
- “Underwater Archaeology at the Dawn of the 21st Century”, *Historical Archaeology*, 34 (4), 2000, pp. 9-13.

- De Morla, T., *Tratado de Artillería para el uso de la Academia de Caballeros Cadetes del Real Cuerpo de Artillería*, 4 tomos, Segovia, Imprenta de Don Antonio Espinosa, 1784.
- De Rosa, H., Ciarlo, N. C. Lorusso, H. “Caracterización de artefactos metálicos provenientes del naufragio *Swift* (1770), Puerto Deseado (provincia de Santa Cruz)”, en Elkin, D., Murray, C., Bastida, R., Grosso, M., Argüeso, A., Vainstubb, D., Underwood, Ch. y Ciarlo, N. C., *El naufragio de la HMS Swift (1770): Arqueología marítima en la Patagonia*, Sección: estudios especializados, Buenos Aires, Vázquez Mazzini Editores, 2011, pp. 79-99.
- De Rosa, H., Ciarlo, N. C. y Svoboda, H., “Estudio de clavos de aleación de cobre asociados a los restos de una embarcación hallada en Isla de los Estados”, Actas del *XI IBEROMET y X CONAMET/SAM*, publicación en CD, Viña del Mar, 2010, pp. 1-8.
- Díaz Infante, J., *Compendio de Artillería para el servicio de Marina*, 2a. ed., Sevilla, Francisco Sánchez Reciente, 1762.
- Diderot, D. y d’Alembert, J. R. (eds.), 1769. *Recueil de planches sur les sciences, les arts libéraux, et les arts mécaniques, avec leur explication*, vol. 7, París, Briasson y Le Breton, 1769.
- Edwards, H. y Vandenabeele, P. (eds.), *Analytical Archaeometry: Selected Topics*, Cambridge, The Royal Society of Chemistry, 2012.
- Egaña, B. A. de, *Continuación de la memoria, que sobre las fabricas de anclas, de palanquetas, de baterias de fierro, la*

fanderia y otros establecimientos de la Provincia de Guipuzcoa, diò à lùz Don Juan Antonio Enriquez, Tolosa, Don Francisco de La Lama, 1788.

- Ehrenreich, R. M., “Archaeometry into Archaeology”, *Journal of Archaeological Method and Theory*, 2 (1), 1995, pp. 1-6.
- Elkin, D., Argüeso, A., Grosso, M., Murray, C., Vainstub, D., Bastida, R. y Dellino, V., “Archaeological research on HMS *Swift*: a British Sloop-of-War lost off Patagonia, Southern Argentina, in 1770”, *The International Journal of Nautical Archaeology*, 36 (1), 2007, pp. 32-58.
- Elkin, D., Murray, C., Bastida, R., Grosso, M., Argüeso, A., Vainstub, D., Underwood, Ch. y Ciarlo, N. C., *El naufragio de la HMS Swift (1770): Arqueología marítima en la Patagonia*, Buenos Aires, Vázquez Mazzini Editores, 2011.
- Evans, Ch., Jackson, O. y Rydén, G., “Baltic iron and the British iron industry in the eighteenth century”, *The Economic History Review, New Series*, 55 (4), 2002, pp. 642-665.
- Falconer, W., *An universal dictionary of the marine*, Londres, T. Cadell, 1780.
- Fernández Duro, C., *Armada Española, desde la unión de los Reinos de Castilla y de Aragón*, 9 tomos, Madrid, Museo Naval, [1895] 1972-1973.
- Ferreiro, L. D., “Spies versus prize: technology transfer between navies in the Age of Trafalgar”, *Mariner’s Mirror*, 93 (1), 2007, pp. 16-27.
- Flatman, J. y Staniforth, M., “Historical maritime archaeology”, en Hicks, D. y Beaudry, M. (eds.), *The Cambridge*

Companion to Historical Archaeology, Cambridge, Cambridge University Press, 2006, pp. 168-188.

- García, M. C., Del Cairo, C. y Fuquen, C., “Fundación ARGOS. Patrimonio Cultural Sumergido en Colombia”, en Lacayo Parajón, F. J. (dir.), *Protección del Patrimonio Cultural Subacuático. América Latina y el Caribe*, La Habana, UNESCO, 2003, pp. 48-51.

- Gillispie, Ch. C., “The Natural History of Industry”, *Isis*, 48 (4), 1957, pp. 398-407.

- Gribeauval, J.-B. V. de, *Tables des constructions des principaux attirails de l'artillerie proposées ou approuvées depuis 1764, jusqu'en 1789*, Règlement concernant les fontes et les constructions de l'artillerie de France, tomo 3, París, 1792.

- Hohimer, M. S., *British Naval Ordnance, 1700-1815*, Reino Unido, International Naval Archives, 1983.

- Jobling, H. J., “The History and Development of English Anchors ca. 1550 to 1850”, Tesis de Maestría, College Station, Texas A&M University, Ms., 1993.

- Jones, T. N., “The Mica Shipwreck: Deepwater Nautical Archaeology in the Gulf of Mexico”, Tesis de Maestría, College Station, Texas A&M University, Ms., 2004.

- Kent, H. S. K., *War and Trade in Northern Seas. Anglo-Scandinavian economic relations in the mid-eighteenth century*, Cambridge, Cambridge University Press, 1973.

- Knight, R. J. B., “The introduction of copper sheathing into the Royal Navy, 1779-1786”, *The Mariner's Mirror*, 59 (3), 1973, pp. 299-309.

- Knowles, J., *An inquiry into the means which have been taken to preserve the British Navy, from the earliest period to the present time*, Londres, Winchester & Varnham, 1821.
- Lenihan, D. J., “Rethinking Shipwreck Archaeology: A History of Ideas and Considerations for New Directions”, en Gould, R. (ed.), *Shipwreck Anthropology*, Albuquerque, University of New Mexico Press, 1983, pp. 37-64.
- MacLeod, I. D., “Conservation Report, 1985 *Sirius* Expedition – Norfolk Island”, en Henderson, G. y Stanbury, M. (eds.), *Report to the Australian Bicentennial Authority on the 1985 Bicentennial Project Expedition to the Wreck of HMS Sirius (1790) at Norfolk Island*, No. 24, Australia, Western Australian Maritime Museum, 1985, pp. 44-65.
- “Conservation of corroded metals – a study of ships’ fastenings from the wreck of HMS *Sirius*”, en Scott, D. A., Podany, J. y Considine, B. B. (eds.), *Ancient and Historic Metals Conservation and Scientific Research*, Los Angeles, Getty Conservation Institute, 1994, pp. 265-278.
- MacLeod, I. D. y Pitrun, M., “Metallography of Copper and Its Alloys Recovered From Nineteenth Century Shipwrecks”, en Kuppuram, G. y Kumudamani, K. (eds.), *Marine Archaeology. The Global Perspectives*, Nueva Delhi, New Gyan Offset Press, 1996, pp. 347-356.
- Maritz, J., *Artillerie de la Marine*, Niza, Ediciones Omega, [1758] 1987.

- Martí Solano, J., “Prospecciones y sondeos arqueológicos en el yacimiento subacuático de Bajos de Chapitel: Bahía de Cádiz”, *Anuario Arqueológico de Andalucía*, 2006, pp. 628-643.
- (comp.), “Prospecciones y sondeos arqueológicos en el yacimiento subacuático de Chapitel (Bahía de Cádiz)” (Memoria final), Cádiz, Centro de Arqueología Subacuática del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, Ms., 2008.
- Martin, C., “De-particularizing the particular: approaches to the investigation of well documented post-medieval shipwrecks”, *World Archaeology*, 32 (3), 2001, pp. 383-399.
- Martin, P., “Conclusion: Future Directions”, en Catsambis, A., Ford, B. y Hamilton, D. L. (eds.), *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, Oxford, Oxford University Press, 2011, pp. 1085-1101.
- Martini, M., Milazzo, M., Piacentini, M. (eds.), *Physics Methods in Archaeometry* (Proceedings of the International School of Physics “Enrico Fermi”, Course 154, Società Italiana di Fisica), Amsterdam, IOS Publishing, 2004.
- McAllister, M., “Preliminary analysis of copper alloy fastenings from an unidentified shipwreck in Koombana Bay, Western Australia”, *The Bulletin of the Australasian Institute for Maritime Archaeology*, 36, 2012, pp. 36-43.
- McCarthy, M., *Ships’ Fastenings. From Sewn Boat to Steamship*, EE.UU., Texas A&M University Press, 2005.
- McKay, J. y Coleman, R., *The 24-Gun Frigate Pandora, 1779. Anatomy of the ship*, Londres, Conway Maritime Press, 2010.

- Meide, Ch., “The Development of Maritime Archaeology as a Discipline and the Evolving Use of Theory by Maritime Archaeologists”, Dissertation Position Paper No. 2, Department of Anthropology, College of William & Mary, Williamsburg, Virginia, Ms., 2013.
- Mentovich, E. D., Schreiber, D. S., Goren, Y., Kahanov, Y., Goren, H., Cvikel, D. y Ashkenazi, D., “New insights regarding the Akko 1 shipwreck: a metallurgic and petrographic investigation of the cannonballs”, *Journal of Archaeological Science*, 37 (10), 2010, pp. 2520-2528.
- Muckelroy, K., *Maritime Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1978.
- Muller, J., *A Treatise of Artillery*, 2a. ed., Londres, John Millan, 1768.
- Murray, M., *A Treatise on Ship-Building and Navigation*, Londres, D. Henry y R. Cave, 1754.
- Murray, C., Elkin, D. y Vainstub, D., “The Sloop-of-War HMS *Swift*: An Archaeological Approach”, en Tracy, N. (ed.), *The Age of Sail*, Londres, Conway Maritime Press, 2002-2003, pp. 101-115.
- Murray, C., Grosso, M., Elkin, D., Coronato, F., De Rosa, H., Castro, M. A. y Ciarlo, N. C., “Un sitio costero vulnerable: el naufragio de “Bahía Galenses” (Puerto Madryn, Chubut, Argentina)”, en Salemme, M., Santiago, F., Álvarez, M., Piana, E., Vázquez, M. y Mansur, E. (eds.), *Arqueología de la Patagonia. Una mirada desde el último confín*, tomo 2, Ushuaia, Editorial Utopías, 2009, pp. 1093-1108.

- Mushet, D., “On the immersion of copper for bolts and ship sheathing in muriatic acid, as a test of its durability”, *Journal of the Franklin Institute*, 22 (1), 1836, pp. 53-55.
- Nieto, J. F., Pujol i Hamelink, M. y Vivar, G. (eds.), *El vaixell Triunfante: Una fita de la ciència i de la tècnica del segle XVIII*, Monografies del CASC No.12, Girona, Museu d'Arqueologia de Catalunya, 2016.
- Oertling, T. J., “The History and Development of Ships' Bilge Pumps, 1500-1840”, Tesis de Maestría, College Station, Texas A&M University, Ms., 1984.
- Pering, R., *A Treatise on the Anchor*, Londres, Congdon & Hearle, 1819.
- Pollard, A. M., Heron, C. y Armitage, R. A., *Archaeological Chemistry*, Londres, RSC Publishing, 2016.
- Pomey, P., “Defining a Ship: Architecture, Function, and Human Space”, en Catsambis, A., Ford, B., y Hamilton, D. L. (eds.), *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, Oxford, Oxford University Press, 2011, pp. 25-46.
- Proust, J. L., *Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia*, tomo 2, Segovia, D. Antonio Espinosa, 1795.
- Pujol i Hamelink, M., De La Fuente, P. y Vivar, G., “El navío *Triunfante*: Jorge Juan y la construcción a la inglesa”, *Actas de las Jornadas de ARQUA 2011*, Cartagena, 2011, pp. 124-130.
- Réaumur, R.-A. F., de y Duhamel de Monceau, H.-L., *Fabrique des Ancres*, Dossier ANCRE, vol. 1, San Remo, Pharos Books, [1764] 1993.

- Rehren, T. y Pernicka, E., “Coins, Artefacts and Isotopes – Archaeometallurgy and Archaeometry”, *Archaeometry*, 50, 2008, pp. 232-248.
- Robins, B., *New Principles of Gunnery*, 2a. ed., Londres, F. Wingrave, 1805.
- Rodger, N. A. M., *The Command of the Ocean. A Naval History of Britain, 1649-1815*, Londres, Penguin Books, 2006.
- Rodríguez Mariscal, N. (comp.), “Sondeos arqueológicos subacuáticos en el pecio de Camposoto (San Fernando, Cádiz)” (Memoria final), Cádiz, Centro de Arqueología Subacuática del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, Ms., 2010.
- Rodríguez Mariscal, N. Rieth, E. e Izaguirre, M., “Investigaciones en el pecio de Camposoto: hacia la identificación del navío francés *Fougueux*”, *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico*, 75, 2010, pp. 94-107.
- Rovira, F. X., *Tratado de Artillería para el uso de los Caballeros Guardias Marinas en su Academia*, Cádiz, Academia de Caballeros de Guardias Marinas, 1773.
 ———— *Compendio de Matemáticas, dispuesto para las Escuelas del Real Cuerpo de Artillería de Marina*, tomo 4, Cádiz, Academia de Caballeros de Guardias Marinas, 1787.
- Samuels, L. E., “The metallography of some copper-alloy relics from HMS *Sirius*”, *Metallography*, 16, 1983, pp. 69-79.
 ———— “Australia’s Contribution to Archaeometallurgy”, *Materials Characterization*, 29, 1992, pp. 69-109.
- Sanjurjo Jul, J. M., “La artillería naval en el siglo XVIII y en la Batalla de Trafalgar”, en Pavía Paradedá, J. J. (ed.), *Cátedra*

- Jorge Juan. Ciclo de conferencias, curso 2004-2005*, La Coruña, Servizo de Publicacións, Universidade da Coruña, 2007, pp. 21-51.
- Scott, D. A., *Metallography and Microstructure in Ancient and Historic Metals*. Los Angeles, Getty Conservation Institute & Archetype Books, 1994.
 - Stanbury, M. *HMS Sirius 1790: an illustrated catalogue of artefacts recovered from the wreck site at Norfolk Island*, Adelaide, Australian Institute for Maritime Archaeology, 1994.
 - Staniforth, M., “The introduction and use of Copper Sheathing – A history”, *The Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology*, 9 (1-2), 1985, pp. 21-48.
 - Steel, D., *The Elements and Practice of Rigging and Seamanship*, Londres, D. Steel, 1794.
 - Sullivan, C., *Legacy of the Machault. A Collection of 18th-century Artifacts*, Ontario, National Historic Sites, Environment Canada, 1986.
 - Summer Institute in Material Science and Material Culture, *The Metallographic Examination of Archaeological Artifacts*. EE.UU., Massachusetts Institute of Technology, 2003.
 - Sutherland, W., *Britain's Glory: or, Ship-Building Unvail'd*, Londres, T. Norris, 1717.
 - Swedenborg, E., *Regnum subterraneum sive minerale de ferro*, 3 vol., Dresden, Friederici Hekelii, 1734.
 - Telechea Idígoras, J. I., *Anclas de Hernani*, San Sebastián, Grupo Dr. Camino de Historia Donostiarra de la Real Sociedad Vascongada de los Amigos del País, 1977.

- Torrejón Chaves, J., “La Artillería en la Marina española del siglo XVIII”, *Militaria. Revista de Cultura Militar*, 10, 1997, pp. 291-324.
- Tylecote, R. F. T., *A history of metallurgy*, Londres, The Metals society, 1976.
- Urteaga, M., “La industria del hierro en Guipúzcoa”, *Hierro al mar*, Cantabria, Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar, 1999, pp. 38-44.
- U.S. Naval Institute, “The History of the Prevention of Fouling”, *Marine Fouling and its Prevention*, Menasha, George Banta Publishing Co., 1952, pp. 211-223.
- Usher, A. P., *A History of Mechanical Inventions*, 2a. ed., Nueva York, Dover Publications, 1988.
- Viduka, A. y Ness, S., “Analysis of some copper-alloy items from HMAV *Bounty* wrecked at Pitcairn Island in 1790”, *Proceedings of Metal*, Canberra, National Museum of Australia, 2004, pp. 160-172.
- Von Arnim, Y., “The wreck of the 5th rated British frigate HMS *Sirius* (1797) in Mauritius”, *The Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology*, 22, 1998, pp. 35-44.
- Wayman, M. L., “Metallography of Archaeological Alloys”, en Vander Voort, G. F. (ed.), *ASM Handbook*, vol. 9, EE.UU., ASM International, 2004, pp. 468-477.
- Wells, Ch. E., “Archaeometry: Definition”, en Smith, C. (ed.), *Encyclopedia of Global Archaeology*, Nueva York, Springer, 2014, pp. 468-470.

- Welter, J.-M., “Du laminage à la coulée continue : le regard de l’industriel”, en Pernot, M. (dir.), *Quatre mille ans d'histoire du cuivre*, Pessac, Presses Universitaires de Bordeaux, 2017.
- Williams, D. J. y Johnson, W., “A note on casting iron cannon balls: ideality and porosity”, *International Journal of Impact Engineering*, 24, 2000, pp. 429-433.
- Winfield, R., *The 50-Gun Ship. A Complete History*, Londres, Mercury Books, 2005.

NUEVOS AVANCES EN LA CARACTERIZACION DE LIPIDOS EN CERAMICAS ARQUEOLOGICAS DEL NOROESTE ARGENTINO

Por MARTA S. MAIER ¹

Resumen:

La caracterización de lípidos preservados en los poros de cerámicas arqueológicas es un campo de investigación que presenta desafíos muy interesantes para la química analítica orgánica, ya que se trata de mezclas complejas de compuestos químicamente relacionados que han sufrido procesos de degradación por factores ambientales y por el mismo uso del recipiente. Estos estudios brindan información sobre las prácticas alimentarias y la disponibilidad de recursos de las sociedades del pasado. En este trabajo se presentan los resultados del estudio de lípidos preservados en cerámicas recuperadas de sitios arqueológicos de la provincia de Catamarca utilizando una combinación de técnicas de análisis en el marco de un proyecto interdisciplinario.

¹ Dra. Marta S. Maier, Unidad de Microanálisis y Métodos Físicos en Química Orgánica (UMYMFOR) y Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, maier@qo.fcen.uba.ar

Abstract:

The characterization of lipids preserved in archaeological ceramic matrixes is a research area that poses interesting challenges to analytical organic chemistry because these are mixtures of chemically related structures that have suffered degradation reactions by environmental factors and by the use of the vessel. The results of these studies give valuable information on food practices and resources of past societies. In this work we describe the results of the study of lipids in ceramics from archaeological sites from Catamarca province using a combination of analytical techniques in the frame of an interdisciplinary project.

Introducción

El estudio a nivel molecular de residuos orgánicos en cerámicas arqueológicas es un área de investigación de creciente interés a nivel local e internacional, ya que un conocimiento detallado de la composición de estos residuos proporciona información relevante sobre los recursos alimentarios y las habilidades tecnológicas de las sociedades del pasado. En particular, los residuos más estudiados son los correspondientes a lípidos de origen animal y vegetal, ya que por su baja solubilidad en agua son los que mejor se conservan en la matriz porosa de la cerámica. Los poros de tamaño molecular dentro de la microestructura de la cerámica ofrecen un ambiente apropiado para la protección de los lípidos al impedir el acceso a microorganismos y sus enzimas extracelulares. Una prueba de ello es la identificación de mezclas de triglicéridos y sus derivados (mono- y diglicéridos y

ácidos grasos libres) en residuos de lípidos en cerámicas antiguas.

Los lípidos son los constituyentes de grasas animales, aceites vegetales y yema de huevo. Sus componentes principales son triglicéridos, moléculas constituidas por la unión del glicerol (1,2,3-propanotriol) con tres ácidos carboxílicos de cadenas largas, denominados ácidos grasos. La yema de huevo y las grasas animales contienen, además, colesterol, un esteroide de 27 átomos de carbono que no se encuentra en los lípidos de origen vegetal (Figura 1). Estos últimos contienen esteroides tales como campesterol, sitosterol y estigmasterol, entre otros, pero en mucha menor proporción que los de origen animal.

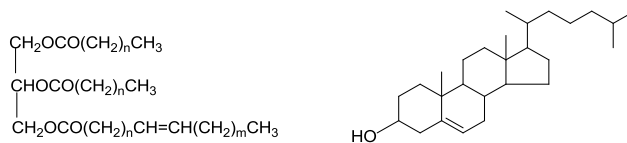


Figura 1. Estructuras químicas de un triglicérido y de colesterol

Los ácidos grasos más comunes en los triglicéridos son los de 16 y 18 átomos de carbono. Los ácidos palmítico (16:0) y esteárico (18:0) son los ácidos grasos saturados más abundantes y estables. Los aceites vegetales tienen un alto contenido en ácidos grasos insaturados de 18 átomos de carbono, como los ácidos oleico (18:1, Δ 9), linoleico (18:2, Δ 9,12) y linolénico (18:3, Δ 9,12,15), mientras que en

las grasas animales el ácido oleico se encuentra en mayor proporción que los otros ácidos grasos insaturados de 18 carbonos. Entre los lípidos, también se incluyen las ceras, que están compuestas por ésteres de ácidos grasos y alcoholes de cadena larga, junto con hidrocarburos. Además de la cera de abeja, las plantas contienen ceras cuticulares caracterizadas por su hidrofobicidad.

Un análisis de la composición de mezclas complejas de compuestos químicamente relacionados requiere de la aplicación de técnicas analíticas que permitan la separación de los componentes de la mezcla y la determinación de sus estructuras químicas. Las cromatografías gaseosa y líquida de alta resolución junto con la espectrometría de masa son las técnicas más utilizadas en el estudio de la composición de residuos orgánicos en cerámicas arqueológicas.

Antecedentes

La identificación y caracterización de lípidos en materiales arqueológicos se inició en nuestro grupo de investigación con el análisis de componentes orgánicos en pinturas rupestres y pastas de sitios arqueológicos de Patagonia. Estos estudios nos demostraron la necesidad de contar con muestras de referencia de grasas de animales autóctonos como guanaco y ñandú para conocer sus perfiles de ácidos grasos y la realización de experimentos de envejecimiento acelerado para la comprensión de los procesos de degradación.

El trabajo conjunto con la Dra. Norma Ratto y la realización de la tesis doctoral de la Dra. Irene Lantos en nuestro laboratorio marcaron el comienzo de nuestras investigaciones sobre residuos de lípidos en cerámicas arqueológicas, con la aplicación de nuevas técnicas de espectrometría de masa y la optimización de metodologías y estrategias de análisis.

Selección de muestras arqueológicas y de referencia

Los criterios que aplicamos para la selección de fragmentos de cerámica para estudios de residuos de lípidos se basan en los siguientes aspectos:

- a) pertenencia a diferentes tipos morfológicos vinculados con la elaboración, transporte o almacenaje de comidas y bebidas
- b) presencia de manchas oscuras o grasosas en la superficie interna de las cerámicas
- c) presencia de hollín en el exterior de las piezas como indicador del uso del recipiente para cocción de alimentos

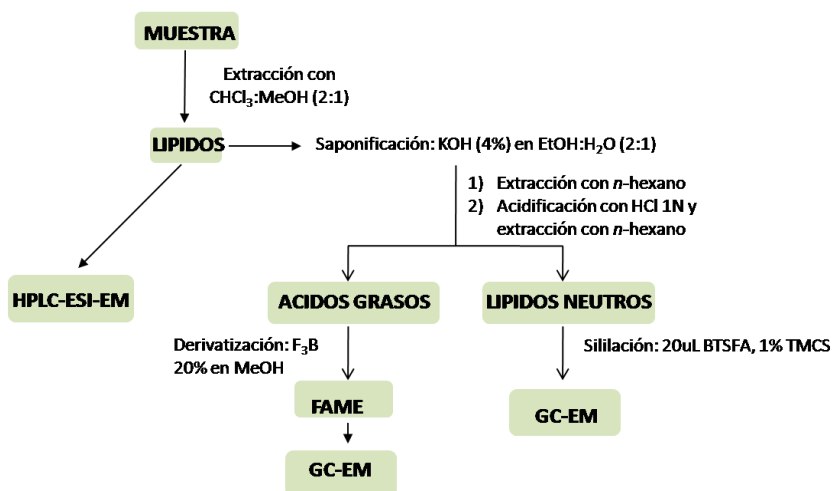
Simultáneamente, la información proveniente del sitio arqueológico en donde se encontraron las piezas y la bibliografía actualizada contribuyen a la selección de muestras de vegetales y animales para la extracción de lípidos de referencia y el diseño de experimentos de laboratorio, en particular teniendo en cuenta que las publicaciones en este campo del conocimiento realizadas en Europa y Estados Unidos

no son aplicables en particular a los perfiles de lípidos de animales autóctonos de Sudamérica.

Metodología experimental

Los lípidos se extraen de los fragmentos de cerámicas con una mezcla de cloroformo:metanol (2:1). La evaporación a sequedad de la mezcla de solventes bajo atmósfera de nitrógeno rinde el extracto de lípidos, los cuales pueden analizarse con diferentes técnicas cromatográficas y de espectrometría de masa. En el Esquema 1 se muestra el procedimiento de saponificación y derivatización para el análisis de los ésteres metílicos de los ácidos grasos (FAME) y el de los componentes neutros (esteroles y alcoholes de cadena larga). La reacción de saponificación en medio alcalino convierte los triglicéridos en sales de ácidos grasos y glicerol. La extracción con *n*-hexano permite recuperar los componentes neutros (esteroles, alcoholes de cadena larga), los cuales son transformados en sus derivados sililados previo a su análisis por cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masa (CG-EM). Los ácidos grasos, a su vez, son transformados en sus ésteres metílicos (FAME, fatty acid methyl esters) y analizados por CG-EM.

De esta manera, se obtiene información sobre el perfil de ácidos grasos, alcoholes de cadena larga y esteroides. La identificación de colesterol en una muestra es indicio de una fuente animal, mientras que los alcoholes de cadena larga son indicadores de ceras. Generalmente, los ácidos grasos que sobreviven en una muestra arqueológica no son considerados biomarcadores específicos, ya que son componentes comunes de los lípidos de aceites vegetales y grasas animales degradadas.



Esquema 1. Extracción y análisis de lípidos por técnicas cromatográficas acopladas a espectrometría de masa

Sin embargo, la relación entre las concentraciones de los ácidos grasos saturados palmítico (16:0) y esteárico (18:0) puede utilizarse como un indicador de una fuente vegetal o animal. La presencia de ácidos grasos con número impar de átomos de carbono, como los ácidos pentadecanoico (15:0) y margárico

(17:0) y ácidos ramificados, son indicadores de actividad bacteriana, la cual puede adjudicarse a procesos de degradación biológica o provenir de la grasa de animales rumiantes o pseudorumiante, tales como los camélidos. Por lo tanto, con las salvedades antes mencionadas, el análisis del perfil de ácidos grasos junto con la identificación de esteroides y alcoholes de cadena larga aporta información valiosa que en determinados casos permite interpretar el origen de los residuos de lípidos. Sin embargo, cuando esta información se complementa con los resultados del análisis del extracto de lípidos por otras técnicas de espectrometría de masa, las conclusiones pueden fundamentarse mejor. Una de las técnicas utilizadas es la espectrometría de masa por análisis de isótopos estables de carbono que permite diferenciar lípidos provenientes de plantas C3 (algarroba, poroto, chañar, mistol, ají) y C4 (maíz).

La excelente preservación de los lípidos como triglicéridos en matrices cerámicas permite la identificación de los mismos por espectrometría de masa previa separación por cromatografía líquida de alta resolución. La asignación de la estructura de cada triglicérido requiere de un análisis laborioso de los espectros de masa y la comparación con lípidos de muestras de referencia.

Estudio de lípidos en cerámicas arqueológicas de Catamarca

Las sociedades prehispánicas de los Andes dependían económicamente del cultivo de maíz luego de su introducción desde Méjico. La expansión de este cultivo a los Andes centrales y del sur se produjo alrededor del año 2000 A.C. y el hallazgo de marlos y granos de maíz en varios sitios arqueológicos del Noroeste Argentino (500 años A.C y siglo I D.C.) marca la transición de los grupos cazadores-recolectores a la horticultura. Durante la expansión del Imperio Inca, entre los siglos XIV y XVI, los Andes centrales y del sur se convirtieron en una región clave para la producción y consumo de maíz en contextos domésticos y en festividades incas. En el oeste de Tinogasta, en la provincia de Catamarca, las primeras evidencias de maíz comprenden restos arqueobotánicos de marlos y granos de los sitios Palo Blanco NH1 (208-529 D.C.) y Punta Colorada (661-1020 D.C.) en el valle de Fiambalá. Recientemente, hemos analizado muestras de cerámicas arqueológicas procedentes de sitios arqueológicos correspondientes al primero y segundo milenio D.C. distribuidos en las regiones de Fiambalá y en Chaschuil. Los fragmentos analizados corresponden al borde, cuello, cuerpo o base de las cerámicas arqueológicas, algunos de los cuales se muestran en la Figura 2 junto con dos de las cuatro réplicas de ollas en la cuales se cocinaron recetas andinas con ingredientes de origen animal y vegetal para contar con muestras de referencia.



Figura 2. Cerámicas arqueológicas y réplicas de ollas. A-11, olla de Palo Blanco NH3; A-21, aríbalo de San Francisco, A-07 olla de Mishma 7; A-05, olla de Batungasta; A-08, vasija Belén de Mishma 7; R-12 y R-13, réplicas de ollas (Lantos et al., 2015)

Además de los fragmentos analizados, se extrajeron y caracterizaron los lípidos de muestras de referencia que incluyeron ingredientes tradicionales de la cocina andina, como cuatro variedades de maíz (Pisingallo, Chullpi, Dentado blanco y Capia blanco), algarroba, poroto y grasas de vaca y llama.

La extracción de los lípidos de las muestras arqueológicas y de referencia se realizó de acuerdo con la metodología descrita en el Esquema 1. Los derivados de los ácidos grasos fueron analizados por CG-EM. En la Figura 3 se muestran los

perfiles de ésteres metílicos de ácidos grasos de muestras de referencia (A-C) y del contenido de una réplica de olla en donde se cocinó locro, un guiso tradicional del Norte Argentino. Como se observa en los cromatogramas, los ácidos grasos saturados en las muestras de maíz (A) y poroto (B) son el palmítico ($C_{16:0}$) y el esteárico ($C_{18:0}$), con mayor proporción del primero, mientras que los ácidos grasos insaturados comprenden el oleico ($C_{18:1}$) y los ácidos linoleico ($C_{18:2}$) y linolénico ($C_{18:3}$), ambos en alta proporción. En la muestra de grasa de llama (C), además de los ácidos palmítico y esteárico, encontramos otros ácidos grasos saturados como mirístico ($C_{14:0}$), pentadecanoico ($C_{15:0}$) y margárico ($C_{17:0}$) y los ácidos insaturados palmitoleico ($C_{16:1}$), oleico ($C_{18:1}$), linoleico ($C_{18:2}$) y linolénico ($C_{18:3}$). También se han identificado ácidos grasos saturados impares ramificados, como 12-metiltetradecanoico y 14-metilhexadecanoico, como componentes minoritarios en la grasa de llama. Los ácidos impares de la grasa de llama son producidos por las bacterias del rumen y son componentes característicos de la grasa de camélidos. La muestra de la réplica de olla conteniendo locro (D) mostró un perfil de ácidos grasos muy parecido al de la muestra de grasa de llama (C), ya que si bien los ácidos grasos provienen de ingredientes vegetales y animales, la proporción de lípidos en la grasa animal es mayor que en los aceites vegetales.

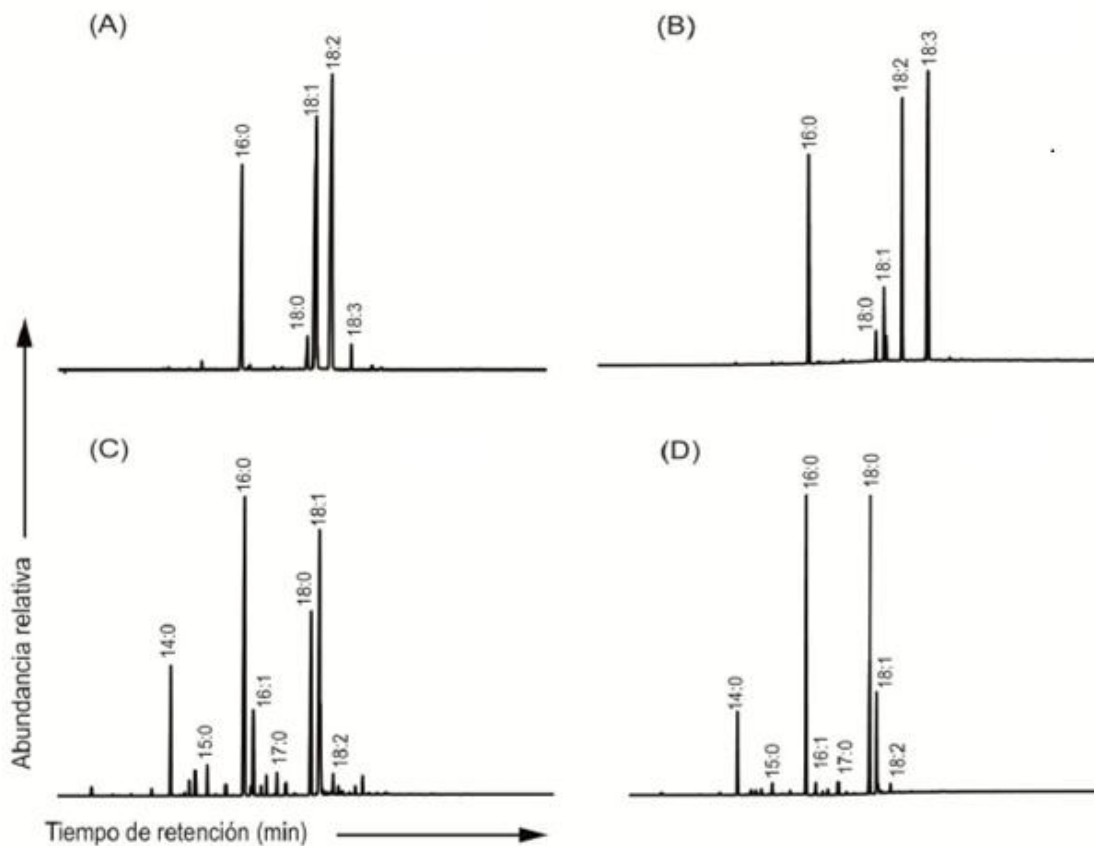


Figura 3. Cromatogramas de corriente iónica total de los ésteres metílicos de los ácidos grasos extraídos de las muestras de referencia: A, maíz Chullpi; B, poroto; C, grasa de llama; D, contenido de la réplica de olla en donde se cocinó loco (maíz Dentado, poroto y grasa bovina) (Lantos et al., 2015)

Los perfiles de ésteres metílicos de los ácidos grasos de las muestras arqueológicas (Figura 4) son característicos de grasas y aceites degradados. Los ácidos palmitoleico ($C_{16:1}$) y oleico ($C_{18:1}$) fueron identificados en la mayoría de las muestras

arqueológicas, mientras que el ácido linoleico (C_{18:2}) fue identificado sólo en algunas de las muestras. Esto es esperable, ya que los ácidos grasos poliinsaturados se descomponen con facilidad durante el proceso de cocción y su posterior entierro en el sitio arqueológico. Algunas de las muestras arqueológicas presentaron trazas de los ácidos grasos ramificados identificados en la grasa de llama. Los perfiles de ácidos grasos de todas las muestras arqueológicas se corresponden con el de la grasa de llama de referencia.

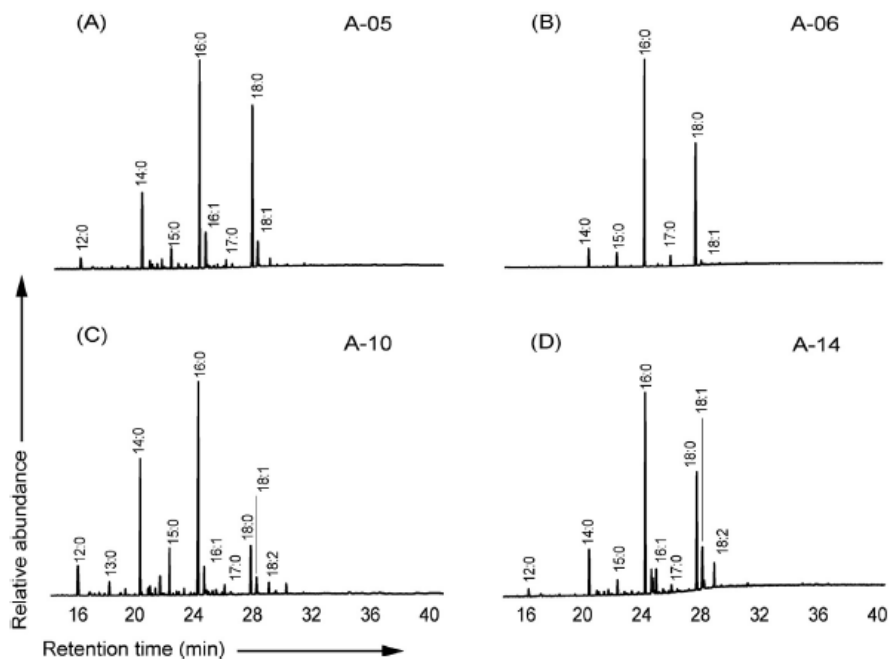


Figura 4. Cromatogramas de corriente iónica total de los ésteres metílicos de los ácidos grasos extraídos de las muestras arqueológicas: A y B, ollas de Batungasta; C, olla de Palo Blanco NH1; D, olla de Ojo del Agua (Lantos et al., 2015)

Como se observa en la Figura 5, la relación entre las proporciones de los ácidos de los ácidos palmítico y esteárico (P/S) de las muestras arqueológicas muestra un mayor aporte de lípidos de origen animal que vegetal.

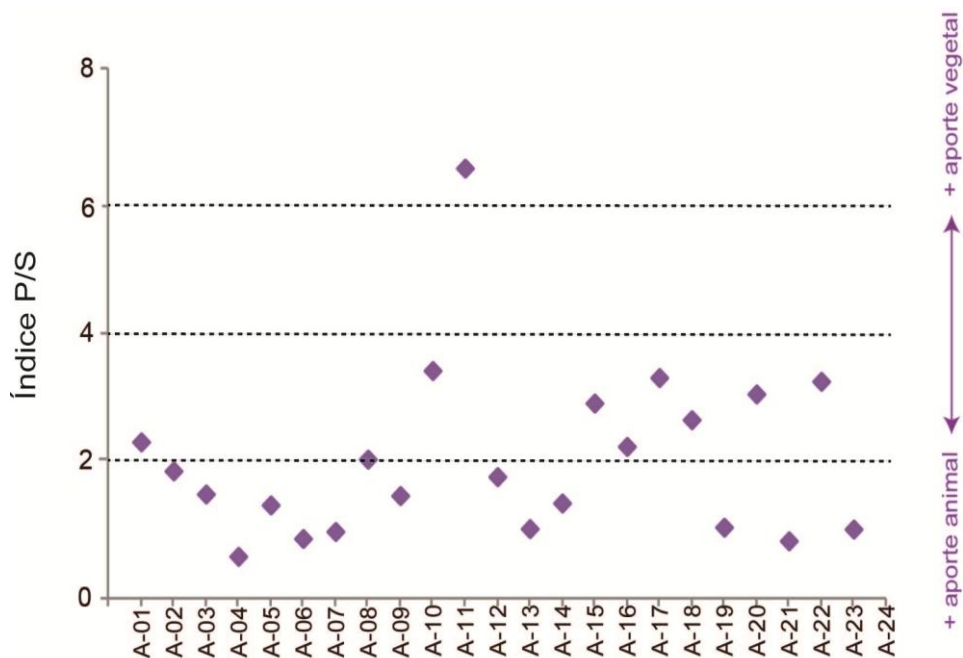


Figura 5. Relaciones entre las concentraciones de los ácidos palmítico y esteárico (P/S) de las muestras arqueológicas estudiadas (gráfico Dra. Irene Lantos)

El análisis por CG-EM de los componentes neutros trimetilsililados de los lípidos de las muestras arqueológicas mostró la presencia de 1-tetracosanol (24-OH), 1-pentacosanol (25-OH), 1-octacosanol (28-OH) y triacontanol (30-OH). Estos

alcoholes de cadena larga son característicos de ceras vegetales. Algunas de las muestras arqueológicas mostraron la presencia de colesterol, el esteroles marcador de grasa animal, junto con productos de degradación minoritarios. El sitosterol, un biomarcador de lípidos de plantas fue identificado en las muestras de referencia de maíz y poroto y en una de las muestras arqueológicas. Estos resultados confirman la presencia de una mezcla de ingredientes vegetales y animales en las cerámicas arqueológicas.

Los resultados de los análisis de ácidos grasos por CG-EM se complementaron con el análisis por isótopos estables de los ácidos palmítico, esteárico y oleico de las referencias y las muestras arqueológicas, así como con la identificación y caracterización microscópica de granos de almidón de raspados de la superficie interna de los fragmentos. La identificación de granos de almidón de maíz, poroto y algarroba en una de las muestras arqueológicas (A-06) es evidencia de una mezcla de vegetales, lo cual puede atribuirse a recetas incluyendo los tres ingredientes o a usos múltiples de una misma olla cerámica. Actualmente estamos optimizando la separación y caracterización del perfil de triglicéridos de muestras de referencia de vegetales y animales mediante cromatografía líquida de alta resolución acoplada a espectrometría de masa con ionización por electrospray (HPLC-ESI-EM) con el objeto de encontrar biomarcadores que nos permitan identificar las fuentes de lípidos en muestras arqueológicas que contengan lípidos en muy buen estado de preservación.

Conclusiones

El uso de tres técnicas arqueométricas combinadas: análisis de perfiles de ácidos grasos y componentes neutros por CG-EM, análisis por isótopos estables de componentes específicos (ácidos palmítico, esteárico y oleico) y microscopía de gránulos de almidón, nos demuestran la necesidad de aplicar varias técnicas analíticas para garantizar una interpretación fundamentada de los resultados obtenidos a partir de mezclas complejas de compuestos preservados en una matriz arqueológica. En un futuro, la construcción de una base de datos de la composición en triglicéridos de vegetales y animales característicos de distintas regiones de Argentina será una herramienta muy valiosa para profundizar en el análisis de lípidos en materiales arqueológicos.

Bibliografía

- [1] John S. Mills, Raymond White. The organic chemistry of museum objects, Oxford, Butterworth-Heinemann, 1994, 206 páginas.
- [2] María Perla Colombini, Francesca Modugno. Organic mass spectrometry in art and archaeology, Chichester, Wiley, 2009, 517 páginas.
- [3] María T. Boschín, Alicia M. Seldes, Marta S. Maier, Rodolfo M. Casamiquela, Rossana E. Ledesma y Gonzalo E. Abad. “Análisis de las fracciones inorgánica y orgánica de pinturas rupestres y pastas de sitios

- arqueológicos de la Patagonia Septentrional Argentina”. *Zephyrus* 55, 183-198 (2002).
- [4] Marta.S. Maier, Dalva .L.A. de Faria, María.T. Boschín, Sara.D. Parera y María F. del Castillo Bernal. “Combined use of vibrational spectroscopy and GC-MS methods in the characterization of archaeological pastes from Patagonia”. *Vibrational Spectroscopy* 44, 182-186 (2007).
- [5] Cristina Vázquez, Marta Maier, Sara D. Parera, Hugo Yacobaccio y Patricia Solá. “Combining TXRF, FT-IR and GC-MS information for the identification of inorganic and organic components in rock art from Alero Hornillos 2 (Jujuy, Argentina)”. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 391, 1381-1387 (2008).
- [6] Dánae Fiore, Marta Maier, Sara D. Parera, Luis Orquera y Ernesto Piana. “Chemical analyses of the earliest pigment residues from the uttermost part of the planet (Beagle Channel region, Tierra del Fuego, Southern South America)”. *Journal of Archaeological Science* 35, 3047-3056 (2008).
- [7] María T. Boschín, Marta S. Maier, Gabriela Massafarro. “Une lecture pluridisciplinaire des analyses chimiques et minéralogiques de peintures rupestres de la Patagonie argentine”. *L’Anthropologie* 115, 360-383 (2011).

- [10] Irene Lantos, Jorge E. Spangenberg, Marcos A. Giovannetti, Norma Ratto, Marta S. Maier. "Maize consumption in pre-Hispanic south-central Andes: chemical and microscopic evidence from organic residues in pottery from west Tinogasta (Catamarca, Argentina)". *Journal of Archaeological Science* 55, 83-99 (2015).

ISÓTOPOS ESTABLES Y ARQUEOLOGÍA. DIETA Y MOVILIDAD EN SOCIEDADES CAZADORAS- RECOLECTORAS DE PATAGONIA.

Augusto Tessone¹

Resumen:

El objetivo de este artículo es realizar una breve síntesis sobre las aplicaciones de los isótopos estables en arqueología. El fin es destacar las virtudes de esta metodología para la resolución de problemáticas relacionadas con el estudio de poblaciones humanas en el pasado. Los isótopos estables le han permitido a la arqueología discutir aspectos relacionados con la subsistencia y alimentación y, por otro lado, con la movilidad y la migración de personas. En lo que sigue se desarrollarán las premisas básicas para comprender el campo de estudio. Por último, se expondrá un ejemplo para lograr una mejor comprensión de la aplicación de los isótopos estables en el campo de la arqueología, específicamente sobre la dieta de cazadores-recolectores en el extremo oriental de Tierra del Fuego.

Abstract:

The objective of this paper is to make a brief synthesis of the applications of stable isotopes in archeology. The aim is to highlight the virtues of this methodology for solving problems related to the study of human populations in the past. Stable isotopes have allowed

¹Doctor en la Universidad de Buenos Aires orientación Arqueología, Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS - CONICET/UBA), atessone@ingeis.uba.ar

archeology to discuss issues related to subsistence and, on the other hand, to study the mobility and migration of individuals. In the following, the basic premises will be developed to understand these fields of study. Finally, it will be presented an example that allow to understand the application of stable isotopes in the field of archeology, specifically about the diet in hunter-gatherers of Tierra del Fuego.

PARA EMPEZAR

Los isótopos son átomos de un mismo elemento -carbono, oxígeno, nitrógeno- que difieren en el número de neutrones en el núcleo. Los hay estables como inestables. El más utilizado en arqueología, sobre todo en América por el lapso del poblamiento humano en este continente, es el isótopo inestable o radiogénico del carbono (^{14}C); el cual se utiliza para obtener una cronología absoluta de los materiales o contextos recuperados por los investigadores. Pero también están los isótopos estables, que como su nombre lo indica, no decaen y en el caso del carbono serían el ^{13}C y el ^{12}C (Figura 1).

De esta manera, el objetivo de este artículo se referirá a las aplicaciones de los isótopos estables en arqueología y tiene por fin destacar las virtudes de esta metodología proveniente de la geología isotópica para la resolución de problemáticas relacionadas con el estudio de poblaciones humanas en el pasado. Se podría plantear que es un ámbito eminentemente multidisciplinario en donde conviven la química, la física, la geología, la biología y, por supuesto, la arqueología. Ámbito que denominaremos, de acá en más, biogeoquímica. Desde su inicio dicha conformación multidisciplinaria le ha brindado a este

campo de estudio una dinámica de crecimiento muy alta, reflejado en innovaciones tanto técnicas como de análisis de datos.

La importancia en arqueología radica en la posibilidad de contar con un registro independiente sobre el consumo de diversos recursos por parte de las poblaciones humanas y la posibilidad de contrastar hipótesis que surgen de otro tipo de registros, a los que podríamos considerar “tradicionales” al quehacer arqueológico, como los restos óseos de especies de fauna o de vegetales, los registros de viajeros y naturalistas - denominados fuentes etnohistóricas o etnográficas- o evaluar el consumo de alimentos con baja visibilidad y/o preservación en el registro arqueológico, como son los vegetales o los lípidos. En consecuencia, los isótopos estables le han permitido a la arqueología discutir aspectos relacionados con la subsistencia y consumo y, por otro lado, con la movilidad y la migración de personas. El principio fundacional de los estudios de isótopos estables es que somos lo que comemos y, también podríamos agregar, bebemos. Es decir que los tejidos de un consumidor guardan relación directa con las relaciones isotópicas de los recursos consumidos. De esta manera, está garantizada la relación dieta-consumidor y permite reconstruir cadenas tróficas tanto del presente como del pasado.

En lo que sigue se desarrollarán algunos de los conceptos básicos para comprender el campo de estudio y, por último, se expondrá un ejemplo para lograr una comprensión de las

virtudes de la aplicación de los isótopos estables en el campo de la arqueología.

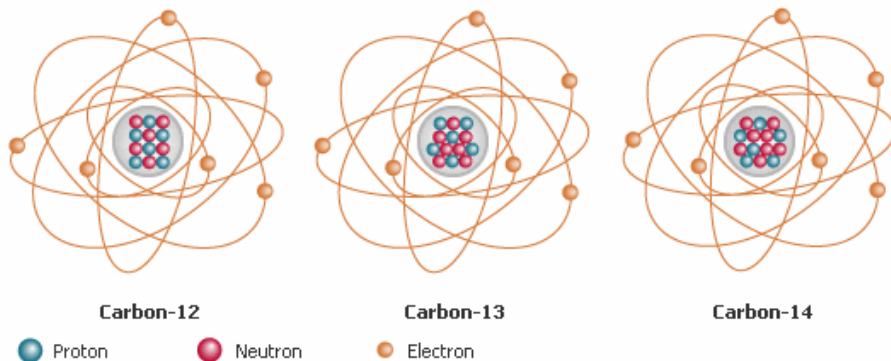


Figura 1: Isótopos estables e inestables del carbono con las variaciones correspondientes en los neutrones.

¿Qué isótopos estables se pueden analizar?

Son varias las relaciones isotópicas que se utilizan en arqueología, cada una para problemáticas específicas (Tabla 1). Esto es principalmente dependiente, por un lado, de las variables climático ambientales que condicionan la circulación de ese elemento en la biosfera (ie. carbón, nitrógeno, oxígeno, etc.) y, por otro, por las vías en las que se fijan en los tejidos de los organismos (ie. comida, agua). Como ejemplo podemos mencionar el caso del carbono el cual fue el primero en utilizarse en arqueología, a mediados de la década del `70. Este elemento se fija en los ecosistemas terrestres a través de las plantas, las cuales toman el carbono atmosférico durante la fotosíntesis. Dos son las vías fotosintéticas principales: C_3 y C_4 ;

las cuales generan valores $\Delta^{13}\text{C}$ contrastantes que permiten diferenciarlas, tanto al analizar las plantas como en los herbívoros u omnívoros, consumidores de las mismas. Las vías C_3 dominan en la mayoría de los ambientes y las vías C_4 tienen la particularidad de ser plantas fundamentales para procesos de agricultura que se dieron en ciertos lugares del mundo, como el maíz en América o el mijo en Asia. Es así como los primeros trabajos se dedicaron a analizar la incorporación del maíz en Norte América a través de los isótopos estables del carbono sobre restos óseos (Vogel y van der Merwe 1977, entre otros).

Otro ejemplo son las relaciones isotópicas del carbono y nitrógeno para diferenciar el consumo de recursos terrestres y marinos. Aunque menos usadas, las relaciones del azufre también pueden aplicarse para identificar estos tipos de recursos. El principio básico de esta implementación es que los valores isotópicos de estos ambientes desde la base de las cadenas tróficas -productores primarios- son muy contrastantes por lo que resulta fácil diferenciarlos. En Patagonia meridional ha permitido evaluar el grado de movilidad costa-interior de las poblaciones de cazadores-recolectores al estimar cuán lejos del litoral marino se recuperó un individuo con una dieta con algún indicio de consumo de recursos proveniente de este ambiente (Barberena 2002).

Otros casos a destacar son las relaciones del oxígeno y el estroncio que permiten discutir aspectos relacionados con la movilidad y el uso del espacio. El oxígeno varía en función de las precipitaciones, mientras que el estroncio en relación a las

formaciones rocosas y sus edades. En ambos casos se fijan en los tejidos a través del agua y la comida consumida por los individuos. La razón fundamental es que los mismos presentan grandes variaciones en la escala espacial y eso permite diferenciar los ambientes y/o áreas ocupadas por las personas en el pasado. Esto hace que también sea muy usado tanto en antropología forense como en biología, para analizar animales migratorios. Ejemplo en arqueología es la identificación de migrantes en la ciudad de Teotihuacan a partir del análisis de estroncio en diente y hueso de individuos recuperados en el Barrio de los Comerciantes entre los 300 y los 650 años después de cristo (Price *et al.* 2000).

Elemento	Relación	Expresión	Problemáticas
Carbono	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	$\Delta^{13}\text{C}$	Recursos Terrestres vs. Recursos Marinos Producción de Alimentos (C_3 vs. C_4 - Maíz, Mijo-)
Nitrógeno	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	$\Delta^{15}\text{N}$	Recursos Terrestres vs. Recursos Marinos Niveles tróficos

			Lactancia y Destete
Oxígeno	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	$\Delta^{18}\text{O}$	Movilidad, Migración y Residencia
			Lactancia y Destete
Estroncio	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$		Movilidad, Migración y Residencia
Azufre	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	$\Delta^{34}\text{S}$	Recursos Terrestres vs. Recursos Marinos

Tabla 1: Principales relaciones isotópicas utilizadas en arqueología con la problemáticas asociadas para la cuales se usan.

¿Qué tejidos se pueden analizar?

Otro aspecto importante es sobre qué tejido podemos obtener una medición y la implicancia de la elección con relación a las preguntas y objetivos de las investigaciones arqueológicas (Tabla 2). Si bien lo más usual en el trabajo de campo arqueológico es recuperar restos óseos y dentales, existen casos de momificación natural o artificial que permiten recuperar otros tejidos, como pelo, uña y músculo. Todos estos tejidos se pueden analizar, pero la forma y el tiempo de crecimiento condiciona la resolución temporal que brindará y, por ende, las preguntas con las cuales puede interactuar o responder (Tabla 2).

Tejido	Resolución Temporal	Metabolismo
Colágeno Óseo	Extensa, últimos 10 años	Activo
Hidroxiapatita Ósea	Extensa, últimos 10 años	Activo
Músculo	Corta, semanas	Activo
Colágeno Diente	Acotada, formación diente	Inerte
Esmalte Dental	Acotada, formación diente	Inerte
Pelo	Acotada, 1cm un mes	Inerte
Uña	Acotada, 1 cm tres meses	Inerte

Tabla 2: Tipo y tiempo de formación de los tejidos analizados en arqueología

Tanto las dos fracciones óseas, colágeno e hidroxiapatita, como el músculo son tejidos que presentan remodelación a lo largo de la vida de los organismos. La diferencia entre estos es que los primeros reflejan la dieta de aproximadamente 10 años, mientras que el tiempo de los segundos es mucho más corto (semanas). Por otro lado, los restantes tejidos (dientes, pelo, uña) no presentan remodelación y su información puede acotarse a un tiempo específico de la formación de ese tejido. De

esta manera, los dientes registran momentos relacionados con el nacimiento, niñez y juventud de los individuos, dependiendo de cuál diente se elija.

Por su parte, el pelo y la uña si bien siguen creciendo a lo largo de la vida del individuo, a diferencia de los anteriores, no registran remodelación por lo cual al fraccionar el tejido antes de su análisis se registra un detalle de la dieta del individuo. Por ejemplo, la tasa de crecimiento del pelo es de aproximadamente 1 cm al mes, por lo que en un pelo de 12 cm tendríamos un registro de la dieta y el ambiente del último año. Es así que si segmentamos el pelo cada 1 cm podríamos observar la evolución de la dieta y la residencia mes a mes. Como ejemplo, en Argentina se han desarrollado estudios tendientes a evaluar los cambios en las relaciones isotópicas de pelos de momias correspondientes a rituales de alta montaña incaicos (Fernández *et al.* 1999).

Es muy usual la combinación de análisis de distintos tejidos para la realización de estudios que se denominan de historia de vida (Sealy *et al.* 1995). Lo más usual en arqueología, como fue mencionado, es la utilización en conjunto de restos óseos con dentales y, de esta manera, evaluar cambios en la dieta y/o residencia entre la adultez y la juventud/niñez de un individuo.

¿Cómo se miden las relaciones isotópicas de los elementos?

La medición de las relaciones de isótopos estables, expresadas en forma de δ por mil (‰), se efectúa por espectrometría de masas de relaciones isotópicas (IRMS) sobre un gas extraído de la muestra generada por combustión que sea representativo de su composición isotópica. Dentro de este método existen dos formas diferentes; una es la medición con preparación y purificación previas del gas de medición y posterior medida en el IRMS (sistema off-line), que se cargan uno a uno en un sistema de introducción múltiple para que el IRMS las mida contra una referencia interna (Figura 2).



Figura 2: Espectrómetro de masas off-line disponible en el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica.

La otra forma de medición tiene las líneas de preparación directamente adosadas al IRMS (sistema on-line, Figura 3). Un sistema automatizado se encarga luego del proceso de

transformación de la muestra en gas de medición y su posterior transferencia al IRMS y medición secuencial. La muestra previamente procesada por la línea adosada entra al equipo llevada por un “gas carrier” (helio). En este caso la cantidad de muestra necesaria es de un orden menor y el tiempo total de medición raramente supera los 3 minutos.



Figura 3: Espectrómetro de masas sistema on-line disponible en el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica.

CAZADORES-RECOLECTORES DE PENÍNSULA MITRE E ISLA DE LOSESTADOS

Tierra del Fuego posee una gran cantidad de fuentes históricas y etnográficas generadas por viajeros, exploradores, naturalistas y, en el último tiempo, antropólogos que entraron en contacto con las poblaciones nativas. El primer encuentro se produjo en el siglo XVI, mientras que las últimas informaciones corresponden al siglo XX. Por ejemplo, Martin Gusinde, quizá el

autor más representativo de la etnografía de Tierra del Fuego, publicó voluminosos trabajos a partir de estadías con las poblaciones entre 1918 y 1923. Los mismos han permitido caracterizar a las sociedades que habitaban esta isla al momento del contacto y colonización por parte de las potencias europeas y, posteriormente, por los estados nación de Argentina y Chile.

La imagen que se construyó está basada en una percepción polarizada de modos de vida y tuvo una amplia influencia en las investigaciones arqueológicas posteriores (Borrero 1997). En el norte de Tierra del Fuego, en el sector de la estepa fueguina, estaban los cazadores recolectores pedestres, denominados Selk`nam, con un consumo predominante de recursos terrestres, principalmente de guanaco -la presa terrestre de mayor porte en la isla-. En la costa sur y los canales magallánicos fueguinos se encontraban los cazadores-recolectores marinos, denominados Alakaluf y Yámana, con un gran consumo de recursos marinos; aunque el panorama de recursos es más diverso que en el caso terrestre, se los asoció principalmente a la caza de lobos marinos y al uso de canoas (Tabla 3).

Geografía	Norte	vs.	Sur
Ambiente	Estepa	vs.	Litoral Marino
Locomoción	Pedestre	vs.	Canoa
Dieta	Terrestre	vs.	Marina

Tabla 3: Resumen de la imagen de las poblaciones nativas de Tierra del fuego a partir de la información etnohistórica y etnográfica.

Más allá de las simplificaciones de esta visión, esta imagen está desbalanceada o incompleta en términos geográficos y ha dejado afuera una pequeña porción de Tierra del Fuego, su extremo oriental, denominado Península Mitre y a la cual podríamos asociar Isla de los Estados, la cual se encuentra a pocos kilómetros cruzando el estrecho de LeMaire (Zangrando *et al.* 2011). En esta región los europeos entraron en contacto con las poblaciones nativas por primera vez en 1619 en bahía Buen Suceso, pero recién a fines del siglo XIX estas poblaciones fueron reconocidas como una etnia diferente, denominada Haush o Manékenkn (Tessone *et al.* 2012). Entre las etnias conocidas de Tierra del Fuego y los canales Magallánicos Fueguinos, son de las poblaciones que con menor información etnográfica se cuenta (Figura 4). En el panorama étnico de Tierra del Fuego, los mismos fueron relacionados principalmente con los Selk`nam -o poblaciones del norte de

Tierra del Fuego-, pero que a diferencia de estos tendrían una dieta terrestre con un mayor énfasis en recursos marinos.



Figura 4: Choza en el interior de Bahía Buen Suceso dibujada por Hawkesworth en 1773, quien acompañó en su viaje a Cook.

De esta manera, a partir de la imagen etnohistórica y etnográfica de las sociedades cazadoras-recolectoras de Tierra del Fuego se pueden generar expectativas sobre la dieta y la subsistencia de estas poblaciones (Figura 5), que podemos resumir de la siguiente manera:

- A) Sector Norte: asociada a un consumo predominante de recursos terrestres
- B) Sector Sur-Canales: asociada a un consumo predominante de recursos marinos
- C) Península Mitre: una mezcla de recursos marinos y terrestres, intermedia entre los dos extremos mencionados arriba

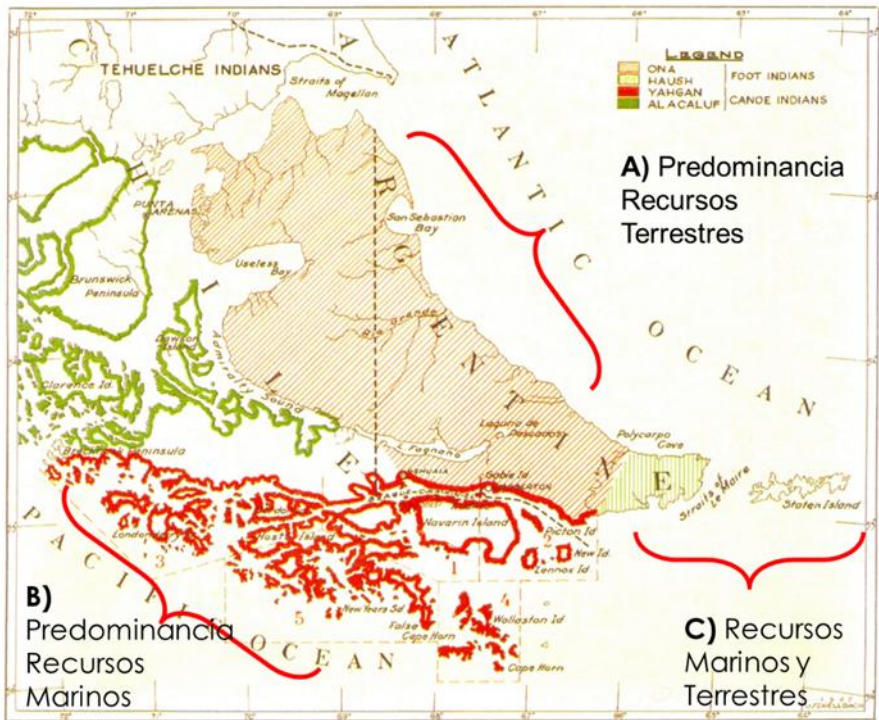


Figura 5: Mapa con distribución de etnias fueguinas según Lothrop (1928) con expectativas en las dietas según la información etnográfica.

Estas expectativas sobre la dieta de las poblaciones pueden ser puestas a prueba con los isótopos estables del carbono y nitrógeno. Como mencionamos, estas relaciones permiten diferenciar el consumo de recursos terrestres y marinos. Para este fin sintetizamos la información disponible en la literatura sobre Tierra del Fuego (Yesner *et al.* 1991, Borrero *et al.* 2001, Panarello *et al.* 2006) y la consignamos en un gráfico de

dispersión, con el $\Delta^{13}\text{C}$ en el eje de la abscisa y el $\Delta^{15}\text{N}$ en el eje de la ordenada.

En la figura 6 hay tres medias con sus respectivos desvíos estándar para cada una de estas regiones analizadas: Norte de Tierra del Fuego, canal Beagle y Península Mitre. Lo que se observa es una clara asociación de las muestras de Península Mitre con las de canal Beagle. Resulta imposible separar en términos de isótopos estables del carbono y nitrógeno y, por ende, en términos dietarios a estas dos muestras. De esta manera, no es posible corroborar positivamente las expectativas dietarias que se derivaron del registro etnohistórico y etnográfico, ya que se registró un claro consumo de recursos marinos en las poblaciones que ocuparon la región de Península Mitre e Isla de los Estados, en la misma cuantía que las poblaciones del canal Beagle.

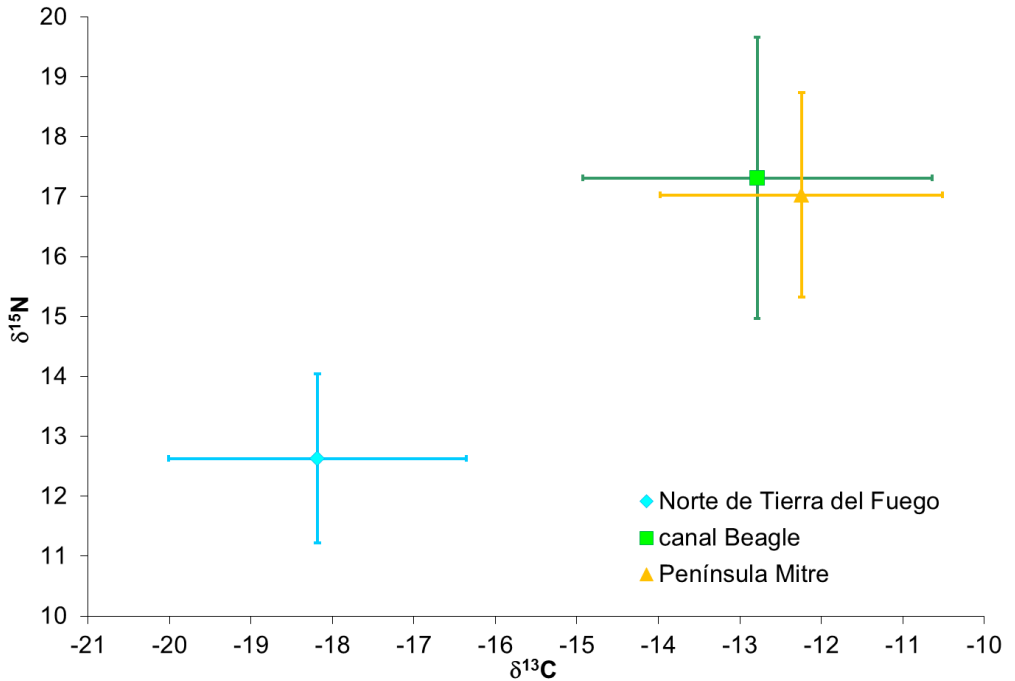


Figura 6: Gráfico $\Delta^{13}\text{C}$ vs $\Delta^{15}\text{N}$ comprando las medias y los desvíos estándares de las distintas regiones analizadas de Tierra del Fuego (Yesner *et al.* 1991, Borrero *et al.* 2001, Panarello *et al.* 2006).

En suma, podemos concluir que hay una discordancia entre la imagen etnográfica y las reconstrucciones paleodietarias realizadas con isótopos estables. Esta discordancia se puede explicar, por un lado, por problemas en la calidad de la información etnográfica. La misma está equivocada debido a lo acotado de las visitas o contactos o por cuestiones de comunicación o entendimiento con las poblaciones; o, también,

porque la información etnográfica está haciendo referencia al último tiempo de las poblaciones cazadoras-recolectoras de Península Mitre, la cual no describe de manera completa la historia de ocupación de la región (Lothrop 1928, Vidal 2011). De esta manera, se puede concluir que la historia de esta región de Tierra del Fuego es más compleja que la imagen que se desprende de la información etnográfica y en términos de subsistencia se acerca más a poblaciones de la región del canal Beagle, que a las etnias del Norte de la isla Grande De Tierra del Fuego.

PARA CERRAR

La suma de casos como estos nos ha permitido a la comunidad arqueológica usuaria de estas técnicas de isótopos estables realizar una evaluación de la diversidad paleodietaria en cazadores-recolectores de Patagonia, tanto en la escala espacial como la temporal. Registrando a mi entender una diversidad de dietas y de situaciones cambiantes difícil de imaginar hace unos 25 años cuando estos estudios empezaron a utilizarse en arqueología patagónica. A modo de conclusión, considero que mi trabajo implica ser «mediador» o «puente» entre estos dos ámbitos disciplinarios, que como tarea central implica hacer compatible las preguntas arqueológicas con las escalas y las unidades de análisis de la biogeoquímica.

Bibliografía

Barberena, R. *Los límites del mar: Isótopos estables en Patagonia meridional*, Buenos Aires, 2002, Sociedad Argentina de Antropología.

Borrero, L.A., “The Origins Of Ethnographic Subsistence Patterns In Fuego-Patagonia”, En *Patagonia. Natural History, Prehistory And Ethnography At The Uttermost End Of The Earth*, Londres, 1997, British Museum Press.

Borrero, L.A., Guichón, R., Tykot, R., Kelly, J., Prieto, A. y Cárdenas, P., “Dieta a partir de isótopos estables en restos óseos humanos de Patagonia austral. Estado actual y perspectivas”, *Anales del Instituto de la Patagonia* 29, 2001, 119-127.

Fernández, J., Panarello, H.O., y Schobinger, J., “The Inka mummy from Mount Aconcagua: Decoding the geographic origin of the "Messenger To The Deities" by Means of stable carbon nitrogen and sulphur isotope analysis”, *Geoarchaeology* 14, 1999, 24-46.

Lothrop, S., *The Indians of Tierra del Fuego*, Ushuaia, Zagier & Urruty, 1928.

Panarello, H.O., Zangrando, A.F., Tessone, A., Kozameh, L.F, y Testa, N., “Análisis comparativo de paleodietas humanas entre la región del canal Beagle y Península Mitre: perspectivas desde los isótopos estables”, *Magallania* 34, 2006, 37-46.

Price, T.D., Manzanilla, L. y Middleton, W.D., “Inmigration and theancient city of Teotihuacan in Mexico: a study using

strontium isotope ratios in human bone and teeth.” *Journal of Archaeological Science* 27, 2000, 903-913.

Sealy, J., Armstrong, R., y Schrire, C., “Beyond lifetime averages: tracing life histories through isotopic analysis of different calcified tissues from archaeological human skeletons”, *Antiquity*, 69, 1995, 290–300.

Tessone, A., Zangrando, A.F. y Vázquez, M., “Viviendo al Borde. Historia de los cazadores recolectores de Península Mitre”, *La Lupa* 3, 2012, 19-25.

Vidal, H. J., 2011. “El conocimiento de las culturas aborígenes del sudeste de la Isla Grande hasta 1983”. En Zangrando, A.F. y Vázquez, M., Tessone, A., *Los cazadores-recolectores del extremo oriental fueguino. Arqueología de Península Mitre e Isla de los Estados*, Buenos Aires, Sociedad Argentina de Antropología, 2011.

Vogel, J.C. y van der Merwe, N. “Isotopic Evidence for Early Maize Cultivation in New York State.” *American Antiquity* 42, 1977, 238-242.

Yesner, D., Figuerero, M.J., Guichón, T., y Borrero, L.A., “Análisis de isótopos estables en esqueletos humanos: confirmación de patrones de subsistencia etnográficos para Tierra del Fuego”, *Shincal* 3, 1991, 182-191.

Zangrando, A.F., Vázquez, M., y Tessone, A., *Los cazadores-recolectores del extremo oriental fueguino. Arqueología de Península Mitre e Isla de los Estados*, Buenos Aires, Sociedad Argentina de Antropología, 2011.

PALABRAS DE CIERRE

MARÍA CECILIA CONTI¹

Damos cierre a las actividades de este Seminario y queremos agradecerles una vez a los expositores por sus interesantes presentaciones. También queríamos hacer llegar nuestro agradecimiento a los directivos de esta Institución y al personal administrativo de la Academia por su constante apoyo. A los presentes agradecemos su asistencia y esperamos contar con ustedes en la próxima jornada.

¹ Ingeniera. CNEA. mconti@cnea.gov.ar

GALERÍA DE IMÁGENES DEL EVENTO





