

METODOLOGÍA DE LA ARQUEOLOGÍA SUBACUÁTICA

Carlos LEÓN AMORES

Arqueólogo y buceador profesional

Director de Programas de Arqueología de la Fundación ICASUR

La investigación arqueológica submarina no tiene una metodología muy distinta a la que se hace en tierra firme, aunque sí algunas técnicas especializadas adaptadas a un medio diferente, en este caso, el agua. Como han repetido otros investigadores, sólo existe una arqueología, la que trata de reconstruir nuestra historia a partir de los restos materiales de nuestros antepasados. Desde este punto de partida, damos por hecho que los planteamientos generales de la metodología arqueológica son igualmente válidos para excavar un poblado de la Edad del Bronce, que para rescatar los restos de un galeón hundido a veinte metros de profundidad. El papel del arqueólogo subacuático consiste en adaptar la metodología de la investigación arqueológica al medio acuático utilizando los instrumentos adecuados para desenvolverse en un entorno en el que la profundidad, el tipo de fondo o la temperatura del agua pueden condicionar notablemente su trabajo.

En palabras del arqueólogo y especialista en construcción naval romana Patrice Pomey *"La arqueología subacuática no es una actividad autónoma, ni una disciplina arqueológica, sino una técnica particular al servicio de la arqueología; técnica que permite a la arqueología extender su campo de investigación al rico mundo subacuático"*.

Efectivamente, la arqueología subacuática amplía el campo de acción de la arqueología a una serie de temas muy difíciles de investigar si no es a través del estudio de los naufragios, como son: el comercio marítimo, la navegación, la construcción naval, la vida a bordo o la guerra en el mar.

Prospección

El trabajo de campo de la arqueología subacuática se suele dividir, básicamente, en dos fases: la prospección y la excavación.

Entendemos por prospección el conjunto de trabajos encaminados al estudio de una zona geográfica amplia con el fin de localizar el mayor número posible de sitios arqueológicos mediante un reconocimiento superficial, realizando una clasificación cultural y evaluando su estado de conservación. Nuestra actual legislación define la prospección como la exploración superficial, sin remoción de terreno, dirigida al estudio, investigación o examen de datos sobre toda clase de restos históricos, así como los componentes geológicos con ellos relacionados.

Recogida de información

Como cualquier otro trabajo científico la prospección arqueológica subacuática tiene una primer fase de *documentación y estudio de fuentes de información*, como son la cartografía o los textos escritos. En cualquier proyecto de arqueología subacuática, antes de comenzar las campañas de prospección o excavación es imprescindible recopilar información exhaustiva sobre la zona en la que se va a trabajar.

Ante una prospección en la que pueden aparecer restos de épocas muy distintas, es fundamental recopilar información sobre todas ellas. La primera información imprescindible es la de los *textos históricos* que nos hablan de naufragios concretos. Es necesario recoger, en los archivos más apropiados (Archivos Históricos como el General de Indias o el de Simancas, archivos de Museos Navales y Marítimos, Archivos militares, regionales, locales, hemerotecas...), noticias de naufragios, textos judiciales, registros de carga, estudios históricos, etcétera, en los que pueda haber pistas para la localización de posibles restos arqueológicos.

Este es un trabajo lento y minucioso en el que la información puede ser tremendamente voluminosa, dada la calidad y cantidad de la burocracia antigua, sobre todo la relacionada con la Carrera de Indias, que trataba de registrar y controlar con absoluto detalle el comercio que se realizaba por vía marítima.

Además de la información histórica es imprescindible la recopilación de *información cartográfica*. En las cartas náuticas antiguas y portulanos podemos encontrar información valiosa sobre cómo era la costa en una época concreta, qué edificaciones costeras existían, qué pasos eran especialmente difíciles para la navegación, qué bajos peligrosos estaban cartografiados, qué lugares de aguada había o qué puntos de fondeo. Además, la información cartográfica se completa con la toponímica que nos describe el nombre de algunos lugares concretos (puntas, bahías, bajos, estrechos, fondeaderos, puertos, pueblos, ciudades, ríos...) de los que podemos tener referencias en los textos históricos pero que después han dejado de utilizarse.

El rastreo toponímico, a veces, aporta pistas decisivas para localizar posibles hundimientos pues hacen referencia a un naufragio, a una construcción litoral, a un lugar peligroso para navegar, a un fondeadero, a una aguada, a una batalla naval o a un lugar en el que se encuentran restos históricos. Sirvan como ejemplo algunos topónimos con estas características documentados en prospecciones arqueológicas submarinas (Punta de trincabotijas, Bahía de la nave perdida, Punta encalladora o Bajo del tesoro).

En ocasiones, el nombre del barco naufragado ha servido para bautizar el lugar geográfico en el que se hundió, como es el caso del actual bajo de San José, en la costa de Panamá, en el que colisionó y se hundió el galeón español con el mismo nombre en 1631. A partir de esta fecha, su nombre comienza a aparecer en la cartografía llegándonos hasta la actualidad.

Unido al estudio de la cartografía antigua suele hacerse el de las cartas náuticas actuales para contrastar lugares, nombres, línea de costa, construc-

ciones litorales, y para conocer con detalle, antes de utilizar técnicas de teledetección o prospección con buceadores, la topografía exacta del fondo submarino, las profundidades y los tipos de fondo (arena, cascajo, roca o vegetación).

Otra fuente de información que hay que rastrear antes de hacer un trabajo en el agua es *la información arqueológica*, es decir, los posibles restos arqueológicos que puedan hallarse en los museos cercanos o en colecciones particulares. Esta información nos dará una idea aproximada del tipo de objetos que podemos encontrar, de su posible atribución cultural y del lugar en el que fueron hallados. La tónica general nos dice que son las gentes del entorno local, los pescadores, los marinos y los buceadores, los que más información tienen sobre los posibles naufragios. Por eso, es fundamental encuestar a estos colectivos que, en unas ocasiones colaborarán muy activamente con nuestro trabajo, y en otras serán los más reacios a darnos ningún tipo de información.

La falta de aplicación de la legislación sobre Patrimonio Arqueológico Sumergido ha permitido que coleccionistas y buscadores de tesoros guarden en su poder restos arqueológicos de gran valor histórico sin permitir su estudio e investigación. Incluso, en algunos países, es habitual la práctica de dividir los restos hallados, en porcentajes convenidos entre el buscador de tesoros y el gobierno. En cualquier caso, es imprescindible documentar cualquier objeto arqueológico de procedencia submarina expuesto en museos públicos o privados o en colecciones particulares.

Por último, debemos conocer con todo detalle las publicaciones de trabajos arqueológicos realizados con anterioridad y las noticias periodísticas de hallazgos arqueológicos submarinos.

Todos los datos recogidos forman un puzzle de informaciones que habrá que componer para obtener una primera selección de lugares con mayor probabilidad de localización de hallazgos, paso previo, como hemos dicho anteriormente, a la teledetección y a la prospección con buceadores.

Teledetección

En los últimos veinte años es habitual el uso de técnicas de teledetección para la localización, identificación y documentación de restos arqueológicos submarinos. Este tipo de prospección significa un gran avance frente a los sistemas tradicionales por lo que se ha convertido en una herramienta fundamental para la investigación arqueológica subacuática. Sin embargo, no es oro todo lo que reluce. La teledetección es útil siempre y cuando se utilice el instrumento adecuado según los condicionamientos y los objetivos de cada zona a prospectar. Utilizar medios tecnológicos modernos para dar un barniz científico a un proyecto de prospección arqueológica puede resultar un gasto inútil si no se sabe exactamente lo que se puede pedir a cada técnica o a cada instrumento.

Las ventajas de la teledetección son claras, Por un lado, permiten conocer y documentar el fondo submarino sin necesidad de utilizar buceadores, con el riesgo que ello conlleva. Por otro lado, es posible registrar zonas de gran

amplitud, o zonas inaccesibles por su profundidad para los medios de prospección tradicionales. Los inconvenientes generales que podríamos citar serían la falta de adaptación de algunos sistemas que han sido diseñados para la teledetección geológica y no arqueológica; la falta de experiencia de los geofísicos en la identificación de restos arqueológicos, y el alto coste que significa su uso.

Resumiremos aquí los medios técnicos más utilizados y que mejores resultados han dado en la localización de restos arqueológicos.

Sonar de barrido lateral

El SDS (Side Scan Sonar) es uno de los instrumentos más utilizados en la teledetección submarina ya que permite conocer el relieve submarino y localizar elementos que yacen en el fondo submarino que pudieran sobresalir del fondo o diferenciarse del entorno submarino en el que se encuentran.

El principio básico de este aparato es la emisión de señales acústicas a babor y estribor de un "pez" remolcado que él mismo transforma, por medio de los transductores, en impulsos eléctricos para producir un registro gráfico continuo de la superficie del fondo. Los más actuales y sofisticados suelen tener doble frecuencia y alta resolución con corrección de imágenes y control de ganancia automático que proporciona una imagen impresa detallada del fondo marino abarcando un área máxima de 400 metros a cada lado de la derrota de la embarcación que remolca el sensor. La sonografía impresa es una imagen del fondo visto desde la posición del "pez" remolcado en el que están instalados los emisores acústicos. Un transductor proporciona además la posición exacta del "pez" remolcado con respecto al fondo.

Aunque a bordo puede ir viéndose la sonografía continua del fondo, será después, en el laboratorio, cuando se analice con detalle la posible existencia de elementos que sobresalen del fondo pudiendo medir su altura aproximada en función de la sombra que proyecta el objeto en la sonografía. Las posibles anomalías formarán parte de la siguiente selección de puntos de interés.

Perfilador de sedimentos

Este instrumento se utiliza para conocer un perfil vertical de alta resolución del sedimento que forma el fondo submarino. Su poder de penetración está limitado a unos 50 metros de profundidad y está condicionado por la dureza y densidad de los sedimentos. El perfilador emite haces de energía acústica de baja frecuencia que penetran en el fondo reflejando la sección de forma gráfica en una serie de horizontes acústicos que indican las variaciones del material que encuentra bajo el fondo. La línea estratigráfica obtenida es útil para descubrir estructuras colmatadas y enterradas bajo el fondo submarino, siendo los fondos fangosos y de arena suelta en los que se obtienen mejores resultados.

Magnetómetro de Protones

El magnetómetro detecta bajo el agua las variaciones del campo magnético de la Tierra y la existencia de un metal ferromagnético sumergido que

pueda alterarlo. El sensor, en forma de campana, es arrastrado por el barco mediante un cable transmisor conectado a un registrador gráfico. Este mismo cable sirve para estabilizar el magnetómetro bajo el agua por medio de una salida de aire a presión. Los protones son el elemento activo de este instrumento que registra cualquier variación del campo magnético produciendo una gráfica y una numeración digital.

Actualmente existen en el mercado magnetómetros manuales para ser utilizados por un buceador y reconocer el fondo submarino en busca de restos metálicos. Funcionan con una tecnología similar a la de los detectores de metales, con un mecanismo que emite una señal acústica variable que el buceador escucha bajo el agua para reconocer la existencia de variaciones importantes del campo magnético.

Detector de metales

El principio básico de este aparato de detección está en la búsqueda de medidas del campo eléctrico establecidas en el agua por las reacciones electroquímicas de los objetos metálicos. También es un instrumento remolcado por la embarcación con un ánodo y un cátodo conectados a un registrador gráfico. También se fabrican detectores de metales manuales con una señal acústica que se acciona al detectar objetos metálicos bajo el agua.

Ecosonda

La ecosonda es un instrumento fundamental en la navegación. Se utiliza para conocer en cada momento la profundidad exacta del fondo submarino. Es un auxiliar de la navegación y a la vez un instrumento perfecto para la realización de batimetrías o levantamientos topográficos submarinos. La ecosonda se basa en el principio de emisión y recepción de ondas acústicas contra el fondo marino. Este aparato calcula el tiempo que pasa entre emisión y recepción y deduce, después de aplicar la variable de la densidad del agua y la velocidad de propagación de las ondas, el espacio recorrido por las ondas y por tanto la profundidad del fondo. Un transductor transforma estas señales en impulsos eléctricos con los que la ecosonda registra de forma gráfica y numérica la profundidad del fondo y su perfil en cada punto.

Cámara de vídeo remolcada

La eficacia de las cámaras de vídeo remolcadas se ha demostrado en numerosas ocasiones. Este sistema de circuito cerrado permite la prospección en tiempo real en condiciones de visibilidad en las que un buceador probablemente no vería nada o casi nada y en profundidades a las que un buceador no podría acceder o lo haría con el tiempo de inmersión muy reducido. Además, la grabación de la calle realizada por la cámara es ya una forma de documentar el fondo que puede ser utilizada con posterioridad para examinar la posibilidad de restos arqueológicos bajo el agua.

Cámara de vídeo robotizada

Las cámaras de vídeo y fotografía robotizadas dirigidas desde superficie son un paso más en la tecnología para la localización de restos arqueológi-

cos bajo el mar. Se trata de cámaras con cable y motores horizontales y verticales que facilitan la inmersión y la maniobrabilidad a grandes profundidades.

La tecnología de videoprospección es costosa y quizá por ello poco utilizada, sin embargo, en los casos en los que se ha llevado a cabo los resultados han sido espectaculares. No es un medio apto para prospectar por calles sino, más bien, para explorar un punto concreto con la embarcación en superficie detenida.

Posicionamiento y teledetección conjunta

De nada serviría localizar mediante teledetección un posible yacimiento arqueológico submarino si no podemos posicionarlo con la precisión necesaria como para poder volver a él. Cualquier prospección con medios técnicos requiere el uso de un sistema de posicionamiento en movimiento que deje constancia exacta de la ruta seguida por el barco que está remolcando los instrumentos de teledetección. Esta ruta será, en la mayor parte de los casos una red de calles equidistantes que dejarán el mínimo espacio sin registrar. Dependiendo de la amplitud de la zona, de la profundidad del fondo y del tiempo y presupuesto disponible, estas calles estarán más o menos cercanas y serán más o menos numerosas.

El posicionamiento más utilizado actualmente es el GPS con corrección diferencial integrado en una red de satélites geo-estacionarios que cubren casi la totalidad de la superficie de la Tierra. El resultado es un posicionamiento de precisión con un error aproximado de un metro.

Asociado al sistema de posicionamiento de la embarcación debe ir un sistema de navegación, tipo Hypack para entorno Windows, que permita la corrección automática del rumbo en movimiento y el trazado perfecto de las calles preestablecidas sobre la carta náutica.

Todos los instrumentos mencionados pueden unirse en una prospección integrada en la que cada aparato proporciona una información complementaria. Una misma embarcación puede llevar remolcados a la vez el sonar de barrido lateral, el magnetómetro de protones, el detector de metales, la eco-sonda y la cámara arrastrada. Es una forma de optimizar los resultados de la teledetección y una forma de aprovechamiento máximo de los recursos en un período menor de trabajo.

Para ello es necesario tener instalados en el barco todos y cada uno de los sensores, transductores y registradores, y además organizar un sistema ordenado para poder largar o recoger los umbilicales de cada instrumento. Por otro lado se necesita tener un conocimiento preciso de la posición exacta de cada uno de los instrumentos bajo el agua para saber después si una anomalía registrada en un aparato corresponde con la de otro que ha pasado sobre el mismo objeto sumergido en un momento distinto. Además hay que tener en cuenta que algunos aparatos trabajan a distancias del fondo distintas a las de otros y que, en cualquier caso no deben nunca colisionar, ni entrelazarse los umbilicales.

Prospección con buceadores

El resultado de una prospección con equipos de teledetección será una batimetría del fondo submarino de la zona elegida y una serie de anomalías o puntos de interés cada vez más definidos que, siempre que sea posible, deberán ser inspeccionados mediante una prospección ocular con buceadores para descartar la posibilidad de que se trate de un resto arqueológico.

Cada punto seleccionado estará definido por sus coordenadas de situación, su distancia a la costa, su profundidad, el tipo de fondo, el tipo de objeto o conjunto de objetos, su identificación histórica, el nivel de posibilidad de hallazgo arqueológico y la coincidencia entre las fuentes de información y la teledetección. De esta forma, los puntos seleccionados estarán clasificados por estos parámetros para poder establecer una escala de prioridades de prospección.

La profundidad es siempre uno de los parámetros que más marca la selección de puntos, por eso suelen ordenarse en función de unas franjas de profundidad: de 0 a 10 metros, de 10 a 25 metros, de 25 a 40, de 40 a 60, de 60 a 100 y de 100 en adelante. Estas categorías condicionan a su vez el tipo de inmersión a realizar (con aire comprimido o con mezcla de gases, con paradas de descompresión o sin ellas, con botellas de aire o con suministro de aire desde superficie, etcétera)

Una vez decidida la prospección en los puntos seleccionados se procede a la planificación de la operación de buceo según las normas internacionales de esta profesión. La infraestructura necesaria variará notablemente en función del entorno. Puede ser necesaria una gran embarcación, puede ser suficiente con pequeñas embarcaciones neumáticas, o incluso, si la cercanía a la costa lo permite, pueden ser bastar una pequeña infraestructura en tierra y un pontón de trabajo.

Prospección por calles

Una vez definida la zona prospectar es precisa la puesta en marcha de una mecánica que permita el rastreo sistemático dejando el mínimo espacio por explorar. Una de las técnicas más empleadas es la de crear una serie de calles que pueden estar materializadas en el fondo y en superficie por medio de cabos, muertos y boyas.

Las calles son recorridas por los buceadores en pareja utilizando torpedos propulsores para poder recorrer el mayor espacio en el menor tiempo posible. Cuando los puntos que marcan las calles solo están materializados puntualmente sin cabos que los vayan uniendo es preciso el uso de la brújula para ir de una boya hasta la siguiente. Estas brújulas submarinas pueden instalarse en los torpedos de propulsión.

También puede utilizarse la técnica del remolque con planeador. En este caso, una embarcación remolca los buceadores que navegan bajo el agua cogidos a una pequeña superficie de madera o plástico siguiendo un rumbo fijado por la embarcación y trazando una serie de calles equidistantes.

Cuando la superficie del fondo submarino presenta una pendiente importante, las calles se trazarán siempre con rumbos perpendiculares a la pendiente, comenzando por la zona con mayor profundidad para que la inmersión sea más segura y la descompresión menor.

Prospección por círculos concéntricos

Otra técnica de prospección es la de círculos concéntricos. Es útil en áreas más pequeñas, para localizar algo en un radio de unos 50 metros. A partir de una boya y un muerto en el fondo al que se le une una cinta métrica, la pareja de buceadores realiza la búsqueda realizando un círculo y desplazando la cinta métrica. La distancia hasta el muerto puede ir aumentando y con ella el radio de búsqueda.

Para prospectar con este sistema una zona amplia es necesario colocar varias boyas con sus muertos y hacer círculos suficientemente amplios como para que se solapen y dejen el menor espacio sin rastrear.

Tanto en la prospección con calles como en la que se realiza mediante círculos concéntricos es fundamental poder posicionar los hallazgos en el momento con pequeñas boyas unidas a plomos de peso variable.

Cuando la prospección ha de hacerse en zonas con muy poca visibilidad las manos han de ir tanteando el fondo. También es útil en estos casos el uso de cámaras de circuito cerrado que permiten mayor visibilidad que el ojo humano y que pueden estar manejadas por un buceador visualizando la imagen en la superficie desde donde se le pueden dar indicaciones gracias a las transmisiones submarinas.

Topografía submarina

Una vez localizados los restos arqueológicos se realizará una planimetría sencilla para ubicar los restos superficiales y relacionarlos espacialmente. Los profundímetros submarinos actuarán como instrumentos para medir la cota de los objetos, mientras la brújula y la cinta métrica serán los principales aliados en los trabajos de topografía.

Existen diferentes métodos de posicionar objetos bajo el agua. Lo primero es situar un punto de referencia posicionado mediante un GPS con diferencial desde la embarcación o con una estación topográfica desde tierra, siempre y cuando la distancia a la costa lo permita.

Bajo el agua, este primer punto, materializado con un muerto y una boya, servirá para establecer las mediciones necesarias aplicando alguna de las cuatro técnicas más empleadas para posicionar en el medio submarino: la radiación, la triangulación, el itinerario orientado y la trilateración.

La excavación arqueológica

La excavación es un medio destructivo de investigación, es una disección del yacimiento para estudiarlo y extraer de él los elementos que lo conforman. Cuando se excava un yacimiento, desaparece como tal y desaparece con él la posibilidad de una segunda lectura del mismo. La información que no

se haya documentado y registrado puede perderse para siempre. Por eso se insiste en la necesidad de que las excavaciones sean el último recurso de la investigación y, que cuando se hagan, sea de una forma científica, sistemática y rigurosa.

Las recomendaciones internacionales en materia de patrimonio arqueológico submarino, emanadas de la experiencia de más de cincuenta años de excavaciones sistemáticas, establecen una serie de criterios básicos a la hora de pensar en una intervención de este tipo, antes de la cual habrá que asegurarse de que existen los recursos necesarios para llevar a cabo el trabajo hasta el final, desde la localización hasta su exposición en un museo.

Estos criterios generales, con innumerables salvedades, recomiendan excavar únicamente los yacimientos seriamente afectados por el expolio continuado, los amenazados por una destrucción inminente, los yacimientos cuyas características culturales o históricas sean absolutamente únicas, los que completan o contrastan una investigación arqueológica, los que están a poca profundidad frente a los que están en aguas profundas y los que carecen de estructura de madera frente a los que la tienen.

En este sentido, algunos equipos de investigación en arqueología subacuática han desarrollado su actividad fundamentalmente en barcos que han sido expoliados o excavados por buscadores de tesoros. Un caso podría ser el de los navíos españoles Nuestra Señora de Guadalupe y Tolosa excavados en 1975 por el buscador de tesoros Tracy Bowden y estudiados en los años noventa por un equipo de arqueólogos e ingenieros navales españoles. El resultado de su intervención proporcionó información inédita sobre el sistema de construcción de estos barcos, acerca de parte de su cargamento oculto bajo tablas del casco que pasaron desapercibidas por los buscadores de tesoros y sobre los huesos conservados de animales que iban embarcados y que fueron desechados en su primera excavación. Algo similar ocurrió con el barco holandés de "las pipas", hundido en las costas de la República Dominicana y reexcavado años más tarde por el Institute of Nautical Archaeology de Texas.

Las destrucciones inminentes por construcciones inminentes también han motivado numerosas excavaciones arqueológicas submarinas de barcos que estaban situados en zonas portuarias siendo localizados durante las labores de prospección preventiva.

La excavación arqueológica supone normalmente la *remoción ordenada del terreno* para descubrir los restos ocultos registrando, durante el proceso, cada detalle de los objetos y estructuras que van apareciendo. En el caso de los barcos hundidos, la excavación suele tener dos fases distintas: la excavación y recuperación del cargamento, por un lado, y el estudio del casco del barco que se conservará siempre *in situ*, por otro.

Ambas fases se fundamentan en el principio de la metodología arqueológica general que da especial importancia a la ubicación de los objetos y sus relaciones espaciales y en el descubrimiento sistemático por capas de los restos. Estos dos aspectos nos llevan a la necesidad de documentar la tridimen-

sionalidad de todos y cada uno de los elementos que forman el yacimiento para después, en el laboratorio, poder establecer hipótesis de reconstrucción. En este sentido, es tan importante para un arqueólogo submarino saber aplicar las técnicas apropiadas para obtener la información que necesita, como conocer a fondo el objeto que está excavando para poder hacerle las preguntas adecuadas.

La técnica de trabajo más habitual, a la hora de excavar bajo el agua, es la de crear una referencia espacial en forma de cuadrícula. Casi todas las cuadrículas de excavación suelen tener una parte rígida construida con hierro, aluminio o PVC con perfil de aluminio. Este cuadrado o rectángulo tendrá después una serie de cabos que forman una retícula de cuadrados más pequeños en unidades de un metro por un metro. A su vez, se suelen crear otras retículas más pequeñas con subdivisiones de diez por diez centímetros. Este entramado de cabos forma la referencia espacial horizontal, mientras que la referencia vertical, es decir, la cota o profundidad, estará referida a un plano imaginario horizontal formado por la propia profundidad de la cuadrícula.

Con estas referencias espaciales bien fijadas al fondo marino y perfectamente niveladas comenzará el proceso de excavación que implica la remoción de los sedimentos que ocultan el yacimiento. Es muy frecuente encontrar los naufragios cubiertos totalmente por una capa de vegetación o una costra de coral, según los mares. Retirar esta capa es un trabajo duro en ambos casos. Bajo ella, seguramente habrá un sedimento mucho más suelto y deleznable de arena, fango, cascajo o tierra compacta hasta llegar al primer estrato fértil del yacimiento. Este tipo de sedimento requiere el uso de otro instrumento característico de la arqueología submarina: la manguera de succión, una especie de aspirador de sedimentos de potencia regulable, construido a partir de una motobomba mecánica o un compresor de alta presión. En cualquiera de los casos, la manguera de succión es el equivalente de la cerretilla en tierra, no del pico y la pala. Los sedimentos han de ser retirados con sumo cuidado, son parte del yacimiento, y pueden contener pequeños objetos que no deben pasarse por alto. Para ello pasarán por un tamiz o una rejilla antes de ser acumulados en un lugar de la excavación donde no estorben al trabajo arqueológico.

Los objetos arqueológicos y las partes del casco que pudieran ir apareciendo al retirar el sedimento han de ser documentadas antes de extraerlas y subirlas a la superficie. El registro y documentación gráfica de una excavación tiene varias facetas, todas ellas relacionadas entre sí: el dibujo, la fotografía y la filmación.

Bajo el agua es posible dibujar con toda precisión los restos arqueológicos, exactamente igual que en una excavación terrestre. El dibujo arqueológico bajo el agua se realiza en papel poliéster milimetrado o no, colocado sobre una tablilla rígida de chapa, aluminio o metacrilato. Un portaminas sin piezas metálicas es perfecto para dibujar sobre el papel poliéster mojado, también puede utilizarse un lápiz de minas intercambiables. La goma, la regla, la plomada y la cinta métrica sumergible completan el equipo de dibujo submarino. El procedimiento es el mismo que el que se emplean en tierra y que consiste en ir tomando referencias espaciales de cada objeto en sentido horizon-

tal y vertical para definir la posición exacta del objeto en sus tres dimensiones y en referencia al marco de la cuadrícula en la que se encuentra. Una vez excavado, documentado y extraído todo el cargamento del barco nos enfrentaremos al dibujo de los restos del casco del que hablaremos más adelante.

La fotografía submarina, fundamental como proceso de documentación, tiene también sus propios condicionantes. Por un lado, los colores, tal y como los vemos en tierra firme, desaparecen paulatinamente al aumentar la profundidad. El primero en desaparecer es el color rojo, después el naranja, el verde y el amarillo. Para rescatar los colores originales es necesario el uso de un flash o un foco de iluminación continua además de trabajar con película de alta sensibilidad. La luminosidad también disminuye con la profundidad. Otro problema añadido son las partículas en suspensión que pueden llegar a enturbiar seriamente el agua sobre todo en fondos fangosos o limosos. Quizá por todos estos condicionantes es muy frecuente el uso de la fotografía en blanco y negro para documentar los procesos de trabajo.

Existen en el mercado distintas opciones de cámaras fotográficas submarinas. Por un lado hay cámaras compactas sumergibles a distintas profundidades, algunas de ellas con la posibilidad de fijar el diafragma y la distancia de foco como las conocidas Nikonos V. También existen carcasas submarinas para modelos de cámaras reflex con manejo automático o manual y carcasas para cámaras digitales.

La documentación fotográfica es especialmente interesante para poder construir una imagen completa del yacimiento. Normalmente es imposible hacer una fotografía "aérea" de los restos de un naufragio pues, al alejarse del objeto para que pueda entrar en el marco de la fotografía, la cantidad de agua que existe entre la cámara y el objeto es tal, que todo queda difuminado y sin detalle alguno. La única posibilidad de sacar fotografías con detalle de todo el casco de un barco completo es la de construir un fotomosaico uniendo fotografías parciales tomadas a corta distancia. Dado que la excavación requiere una reticulado de estructura rígida y cabos, lo normal es que esta misma estructura sirva de soporte para montar una o dos cámaras submarinas y poder ir haciendo fotografías de cada cuadrícula para unir las después. Tan solo hace falta un puente de hierro, aluminio o PVC, que se apoye en la parte rígida de la cuadrícula y que, mediante un soporte con de ruedas, pueda situarse sobre cualquier punto de la retícula de excavación.

A la hora de fotografiar los restos del casco de madera es necesario, además del etiquetado de las piezas, para tener una referencia exacta de cada elemento en la fotografía, señalar, con líneas y puntos visibles, las separaciones entre las tablas, los escarpes, las cabillas y las clavijas de madera. En muchas excavaciones esto se soluciona con chinchetas de cabeza blanca para las clavijas pequeñas y cable metálico con camisa blanca para las cabillas y las uniones entre tablas.

Las tablillas de fotografía se utilizan, como en tierra, para incorporar a la fotografía, los datos concretos de la cuadrícula, estrato o nivel, contexto, fecha, nombre del yacimiento y una referencia del norte magnético.

La *videofilmación* es también un instrumento de documentación indispensable, tanto para su difusión posterior en reportajes, documentales o vídeos museográficos, como para tener constancia de cada fase de trabajo y cada hallazgo realizado. Al igual que ocurre con la fotografía existen en el mercado diversas opciones para filmar un trabajo arqueológico. No existen cámaras de video sumergibles, sin embargo si hay carcasas adaptables a una gran cantidad de modelos de video-cámara y focos de mayor o menor potencia para iluminar bajo el agua. Los formatos son también muy variados: VHS, Super 8, Hi 8, DV, DVC pro o Betacam, que es el formato profesional.

Por último es importante destacar que la documentación de una excavación se completa con la descripción detallada y exhaustiva de todos y cada uno de los hallazgos y con la creación de una serie de *fichas informatizadas* en las que quedan registrados todos los datos necesarios en el proceso de trabajo. Estas fichas suelen tener campos muy diversos para ubicar los objetos en el contexto general del yacimiento, para clasificarlos por materiales, para describir su forma de construcción, su decoración, sus dimensiones, su posible atribución cultural, su posición tridimensional en el yacimiento, su relación con otros objetos cercanos, su naturaleza, su estado de conservación, su morfología, su número de inventario, su número de hallazgo, etc.

Una vez documentados (dibujo, fotografía, video y descripción) los objetos bajo el agua serán extraídos e izados a superficie teniendo extremo cuidado para que no se dañen en esta operación. En algunas excavaciones se han diseñado grandes cestas que suben cargadas de materiales por medio de globos ascensionales dirigidos por cables metálicos. Sin embargo, hay materiales que, por su gran fragilidad han de ser extraídos y llevados a superficie utilizando soportes rígidos especiales, a modo de camillas, para que durante el trayecto no sufran daño alguno.

No quisiera terminar este apartado sin apuntar la necesidad de crear equipos interdisciplinarios en una tarea tan compleja como el estudio de un naufragio. Hoy día, cualquier prospección o excavación submarina requiere la participación de un nutrido grupo de especialistas. De hecho, las recomendaciones de la UNESCO así lo aconsejan, señalando los requisitos mínimos en este tipo de intervenciones. Por nuestra experiencia, el equipo de arqueología submarina debe estar compuesto por un *equipo científico*, en el que figurarán, arqueólogos, historiadores, ingenieros navales, biólogos, geólogos, geofísicos, restauradores, topógrafos, dibujantes y fotógrafos; y un segundo equipo de náutica y buceo, compuesto por el jefe de operaciones, buceadores profesionales de apoyo, mecánicos, patronos de embarcaciones y marineros coordinados para conseguir los objetivos marcados por el equipo científico.

Arqueología Subacuática y Construcción Naval

La arqueología subacuática se ha convertido en la mejor aliada de quienes estudian la construcción naval antigua. Las condiciones de conservación del medio acuático y los propios cargamentos de los barcos han permitido la

conservación de naves de todas las épocas construidas en madera. Pequeños mercantes fenicios como los de la Playa de la Isla en Mazarrón, griegos como el *Kyrenia*, púnicos como el de *Marsala*, supercargueros de más de treinta metros de eslora como la *Madrague de Giens*, barcos vikingos como los de Roskilde, naves de guerra como el *Mary Rose* o el *Wassa* o galeones españoles como el *Nuestra Señora de Guadalupe* o el *San Diego*.

Gracias a estos barcos y a otros, menos numerosos, aunque no por ello menos interesantes, excavados en tierra firme, la arqueología actual conoce con detalle cómo fueron construidos los barcos antiguos, cómo fueron diseñados, con qué tipos de madera se construyeron, cómo se procedió a su estiba o cómo se ensamblaron sus maderas.

La base para desarrollar este tipo de investigaciones sobre construcción naval antigua a partir de los restos arqueológicos está en la documentación minuciosa de las formas del casco. Bajo el agua, el arqueólogo naval debe obtener la información gráfica necesaria como para después poder reconstruir las líneas de agua, es decir las "curvas de nivel" del casco si lo cortásemos en planos paralelos y horizontales; el perfil longitudinal, que nace de la intersección del casco con planos longitudinales paralelos al eje proa-popa; y el perfil transversal, llamado también caja de cuadernas, que son secciones en el sentido de la manga.

Los principales problemas metodológicos que plantea esta reconstrucción hipotética del plano de formas del casco de un barco hundido derivan de la naturaleza misma de los yacimientos. Lo más habitual es que el barco, al naufragar, haya caído en el fondo sobre uno de sus costados. Con el paso del tiempo, el peso de toda la carga sobre este costado y el deterioro paulatino y vertiginoso que sufre la madera sumergida darán como resultado la rotura del casco por la quilla o las primeras tracas de aparadura, destruyendo el forro y las cuadernas por uniones entre las ligazones. Así, en muchas ocasiones tendremos los restos divididos en dos partes con estados de conservación distintos. Sólo la parte de madera que haya quedado sepultada bajo el cargamento o bajo la arena del fondo sobrevivirá al paso del tiempo. El peso de la carga y el deterioro de la madera provocarán importantes deformaciones en el casco del que tan sólo podremos estudiar una parte mínima de la obre viva. En este sentido, son excepcionales los barcos romanos, por ejemplo, que han conservado los baos, la borda o parte de la cubierta (únicamente *Laurons II* y *County Hall*).

La metodología de trabajo sobre los restos del casco de un barco del que ya se ha recuperado la carga comienza por la confección de una estructura a modo de cuadrícula que sirva de referencia espacial para comenzar a hacer la planimetría y para tomar referencias longitudinales y transversales de la parte interna del casco. Para ello se han diseñado distintos instrumentos como los *conformadores de cuadernas*, que permiten, mediante una estructura perpendicular al eje proa-popa con varillas de medición regulables, obtener secciones de las cuadernas y las claras del casco con rapidez y precisión.

La documentación del casco debe contemplar el estudio de los *elementos estructurales y constructivos* del casco en sentido longitudinal (quilla, sobrequilla, contraquillas, tracas del forro, palmejares, panas, carlingas, etcétera), transversal (cuadernas, varengas, ligazones y baos) y elementos verticales (puntales, pies de mástiles, etcétera). Además es imprescindible documentar los sistemas de ensamblaje de las maderas (rayo de Júpiter, lengüetas y mortajas, clavijas, clavos, pernos y cabillas de madera). Sólo así podremos conocer el sistema de construcción (sobre forro, alterno, mixto, sobre cuadernas, varenga-genol, etc.) Estos datos también nos ilustran acerca de la *arquitectura del barco*, es decir, de la forma y proporciones con las que ha sido diseñado. Así, definiremos, hipotéticamente, valores como la eslora total, la manga o el puntal, además de otros parámetros que permitan la comparación con otros barcos y que nos puedan dar una idea aproximada del comportamiento hidrodinámico del casco y su maniobrabilidad en el mar. Estos parámetros básicos son: por un lado la relación entre la manga y la eslora; y entre la manga, la eslora y el calado. Por otro lado, el coeficiente de bloque que define barcos más o menos rápidos, según se asemeje su forma en mayor o menor grado a un prisma rectangular; o el coeficiente cilíndrico que relaciona el desplazamiento del barco con la eslora y la superficie de la cuaderna maestra.

Con estos dos grupos de datos, formas del casco y relaciones y coeficientes de comparación, tendremos los elementos necesarios para extraer las primeras conclusiones sobre la hidrodinámica del barco en estudio. Conclusiones que irán encaminadas a dar una idea aproximada de los cuatro conceptos básicos de la hidrodinámica que definen las cualidades náuticas de una embarcación y que dependen, en último caso, de la forma geométrica de su casco: resistencia al avance, necesidades de propulsión, capacidad de manobra y comportamiento en el mar.

En este sentido, podemos decir que cuando un barco navega y se desplaza sobre el agua, su casco afronta de mejor o peor manera, según su forma y diseño, una serie de esfuerzos relacionados con el rozamiento, el oleaje y su propia carga que han de ser vencidos por una potencia de propulsión suficiente. Será necesario, además, vencer la resistencia al avance, debida a la viscosidad del fluido en el que se desplaza, manteniendo el navío lo menos adrizado posible y evitando al máximo la deriva en la navegación. La estabilidad del casco en este fluido vendrá determinada por la manga del barco y por la posición de su centro de gravedad. La relación entre la eslora y la manga determinará sus cualidades de estabilidad, velocidad de navegación y desplazamiento.

Para obtener resultados más fiables en la interpretación hipotética del casco de un barco hundido será necesaria la realización de un modelo a escala que pueda navegar en una canal de ensayos hidrodinámicos colocado en un carril de aceleración con control de todos los parámetros (velocidad de navegación, diferentes estados de carga, intensidad de las olas). De esta forma podremos extrapolar a la escala real conclusiones sobre la superficie vélica necesaria para mover el barco, la velocidad media de navegación en

distintos estados de carga, la estabilidad transversal y longitudinal, su comportamiento ante el oleaje, su maniobrabilidad, su comodidad a bordo o la efectividad de su timón.

Otro elemento fundamental del estudio de *la arquitectura y la construcción naval* a partir de los restos arqueológicos es el que tiene que ver con la resistencia estructural del casco de un barco. En líneas generales, la construcción de una embarcación responde siempre a unas exigencias que impone el mar a cualquier artefacto flotante que pretenda ser útil al hombre para el transporte por el agua, con independencia de su tamaño, aunque con una gran dependencia de los materiales con los que se construye.

La arqueología naval nos muestra cómo, desde el origen de la navegación, el hombre ha tenido que resolver problemas como la flotabilidad, la estanqueidad, la estabilidad o la resistencia estructural. Este último aspecto puede interpretarse fácilmente analizando con detalle los restos de un barco hundido, ya que, el casco de cualquier barco ha sido concebido para sobrevivir a los esfuerzos que sufrirá en el agua, sobre todo al navegar en el mar, y que tienden a deformar su casco: su propio peso, el peso de su carga, la presión exterior del agua y la presión del viento transmitida al casco por la arboladura.

Estudiando los distintos elementos constructivos del casco y su forma de ensamblaje, y partiendo de los presupuestos de la ingeniería naval actual, podremos conocer el grado tecnológico de quienes construyeron y diseñaron cada barco y las soluciones que propusieron para que su nave surcara el mar.