

ENFOQUES INTERDISCIPLINARIOS PARA EL ESTUDIO DE PROCESOS NATURALES DE FORMACIÓN DE SITIOS ARQUEOLÓGICOS SUBACÚATICOS: INVESTIGACIONES EN EL MARCO DEL PROYECTO SWIFT (PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA)

RICARDO BASTIDA*, DOLORES ELKIN**, MÓNICA GROSSO***

Introducción

A comienzos de la década del '70, el pionero del buceo moderno Frédéric Dumas, consideró las características ambientales de distintos naufragios en función de su posible incidencia en la preservación del sitio (Muckelroy 1978). Sin embargo, la aplicabilidad de sus conceptos estaba restringida exclusivamente a sitios del Mar Mediterráneo, donde él había basado sus investigaciones.

Pocos años después Muckelroy buscó avanzar sobre esa línea de investigación a partir del análisis de distintos naufragios en aguas británicas. Considerando los distintos procesos involucrados durante el naufragio y posteriormente a él, desarrolló una propuesta pionera (Muckelroy 1978) que constituiría la base para trabajos posteriores. A partir de entonces el estudio de procesos de formación de sitios en arqueología subacuática se ha orientado a profundizar el conocimiento de la relación existente entre el registro arqueológico que hoy observamos y las distintas variables interrelacionadas que lo han ido configurando a través del tiempo, destacándose los aportes recientes de Steward (1999) y los de Ward et al. (1998, 1999), entre otros. En estos últimos trabajos en particular, los autores consideran exclusivamente a los procesos de formación naturales, proponiendo un modelo cuantificable de las variables que conforman los procesos físicos, químicos y biológicos que operan sobre pecios.

A partir del desarrollo de modelos predictivos, relacionados a procesos de formación de sitios subacuáticos como los enunciados, afortunadamente se ha ido dejando de lado el concepto reiterado en la bibliografía de que los pecios son comparables a cápsulas de tiempo, congelados cronológica y espacialmente. Pese a que aún queda pendiente un amplio campo de desarrollo teórico-metodológico, poco a poco se va comprendiendo el gran dinamismo que posee este tipo de sitios, lo cual representa un destacable avance conceptual.

Los procesos de formación de sitio que actúan en un pecio son fenómenos muy complejos, resultantes de la interacción permanente de una multiplicidad de agentes involucrados que actúan en forma combinada, ya sea simultánea o secuencialmente. A pesar de ello, es necesario intentar identificar la acción particular de cada agente para comprender mejor su papel en dicha dinámica, como así también en la configuración del registro arqueológico que hoy observamos (Schiffer 1983).

* CONICET - Universidad Nacional de Mar del Plata. Casilla de Correo 43, 7600 Mar del Plata, Argentina. cetacea@cpsarg.com

** CONICET – Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano. 3 de febrero 1378, 1426 Buenos Aires. ebarclay@arnet.com.ar

*** Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano. 3 de febrero 1378, 1426 Buenos Aires. monigrosso@hotmail.com

Tradicionalmente se encuadra a los procesos de formación de sitio en dos amplias categorías: culturales (o antrópicas) y naturales (Schiffer 1987). En el caso de ambientes acuáticos, dentro de los procesos culturales debemos tener en cuenta acciones tales como la contaminación ambiental, las alteraciones de áreas costeras a través de dragados, obras portuarias, urbanas, etc.

Por su parte, los procesos naturales de formación de sitios arqueológicos subacuáticos pueden ser de tipo físico, químico y biológico, siendo regulados por la acción de tres agentes principales: el agua, el sustrato y los organismos vivos.

Para evaluar la incidencia de estos agentes, en el caso del agua, es importante considerar ciertas variables y parámetros físico-químicos tales como temperatura, luz, salinidad, pH, oxígeno y nutrientes, como así también intensidad y dirección de las corrientes.

En cuanto al sustrato, es de particular relevancia su origen y naturaleza, que condiciona, a su vez, dos tipos de fondo principales: duros y blandos. En los primeros, constituidos por rocas de diverso origen, interesa conocer su estado, dureza y composición química. En los blandos, de naturaleza sedimentaria, interesa conocer su granulometría, composición química, contenido de materia orgánica y nivel de potencial Redox.

Finalmente, los organismos vegetales y animales de ambientes acuáticos pueden tener gran incidencia en la dinámica de los sitios que se encuentran sumergidos, destacándose entre ellos los organismos especializados en perforar madera (sobre todo en el caso de pecios antiguos) y las comunidades bentónicas o de fondo, a partir de las cuales se originan las comunidades incrustantes o biofouling que se adhieren a sustratos artificiales.

En el presente trabajo se realiza una aproximación al estudio de procesos de formación naturales en el sitio HMS Swift -nave de guerra británica- naufragada en 1770 en Puerto Deseado, en la actual Provincia de Santa Cruz. Habiéndose ya producido avances en este sentido (Bastida et al. 2002; Elkin 2000), esta línea de investigación ha sido planteada desde el inicio del proyecto (Elkin 1997) con el fin de identificar y comprender qué tipos de procesos han estado actuando en el pecio y postular modelos predictivos para otros sitios de condiciones arqueológicas y ambientales comparables.

En función de un enfoque interdisciplinario, se exploran en esta oportunidad las posibilidades de desarrollo de una metodología experimental para la observación controlada de dos aspectos concernientes al biodeterioro que pueden operar sobre este tipo de sitios: la acción de organismos marinos incrustantes (biofouling) y la acción de organismos marinos perforantes de madera. Complementariamente, se analizan las características generales del sedimento marino sobre el que se asientan los restos del barco y que hacen a su contexto dinámico de depositación.

Caracterización del biodeterioro en el medio marino

Organismos incrustantes o biofouling

La alta biodiversidad que caracteriza al ambiente marino queda claramente expresada tanto en la columna de agua como en la amplia diversidad de fondos que configuran los mares y océanos del mundo. Estos fondos, altamente diversificados, están caracterizados por sustratos que van desde finos sedimentos limo-arcillosos, arenas y rodados, hasta grandes bloques rocosos.

Desde el origen mismo del uso del espacio acuático, la explotación de los recursos naturales y el desarrollo del comercio interoceánico, se hizo posible el ingreso de nuevos materiales en el agua. De esa forma quedaron expuestos nuevos sustratos factibles de ser colonizados por una amplia gama de organismos vegetales y animales, en la medida que los mismos no resultaran tóxicos y tuvieran una dureza suficiente como para permitir la fijación. Cabe señalar que en los ambientes acuáticos la oferta de fondos para su colonización resulta altamente variable. Los fondos blandos o sedimentarios, por ejemplo, dominan notablemente sobre aquellos fondos duros rocosos, por lo cual en el caso de estos últimos existe una gran competencia por su colonización por parte de especies vegetales y animales. En base a ello, los pecios se convierten en una atractiva oferta complementaria para los organismos que requieren sustratos duros.

De esta forma se hace posible el desarrollo de una comunidad biótica sobre materiales de origen antrópico, semejante a aquellas comunidades de fondos naturales a partir de las cuales se origina. Por ser el sustrato colonizado de origen antrópico, dicha comunidad se designa con el término particular de biofouling. Este término, de origen inglés, proviene de la palabra fouling que significa “ensuciamiento”, y que ha sido empleado en el léxico náutico desde la antigüedad y actualmente ya ha sido incorporado

a nuestro propio idioma (Bastida 1971; Bastida y Brankevich 1989; Wood 1950; Woods Hole Oceanographic Institute 1952; Young y Mitchell 1973).

A partir del momento en que se produce un naufragio en el ambiente marino tiene lugar toda una serie de procesos físico-químicos y biológicos que condicionan -de una u otra manera- la evolución del sitio. A su vez, el pecio produce un impacto ambiental de magnitud variable que puede afectar tanto a la columna de agua como a los fondos, de la misma forma que puede variar el tiempo necesario para que se restauren las condiciones ambientales originales.

En el caso de navíos modernos, lo más frecuente es la contaminación por hidrocarburos y otras sustancias que suelen transportarse. En el caso de los buques de la antigüedad, impactos de este tipo eran mucho más infrecuentes dado que, excepcionalmente, transportaban sustancias nocivas para el ambiente.

El impacto de ciertas sustancias químicas sobre la columna de agua puede repercutir también sobre los fondos marinos y sus comunidades biológicas. A su vez, el naufragio constituye de por sí un enclave que genera infinidad de cambios o modificaciones. Por una parte, destruye o altera las comunidades de los fondos sobre los que el pecio se asienta, generando a su vez condiciones que alteran las corrientes de fondo y consecuentemente la dinámica sedimentaria.

Finalmente digamos que con los naufragios, o con invasiones de las aguas costeras, ingresan al ambiente marino nuevos sustratos que serán posteriormente colonizados por una gran variedad de organismos típicos de fondo. Este proceso se inicia prácticamente de inmediato, una vez que el sustrato se pone en contacto con el agua de mar, aunque estas primeras etapas no resultan visibles al ojo humano y se suceden según el siguiente orden:

- La superficie virgen del sustrato sufre su primer modificación pues sobre ella - debido a procesos de adsorción- se instalan moléculas de materia orgánica que originalmente se encontraban disueltas en el agua de mar. Esto produce entonces un cambio inicial en las características físico-químicas del sustrato artificial.
- A partir de esta primera etapa comienza la formación de biopelículas o biofilms, en las cuales diversas especies de bacterias juegan un rol pionero fundamental, siguiéndole en este proceso de colonización diversas especies de hongos y microalgas. Las primeras etapas de estas biopelículas suelen ser invisibles al ojo humano ya que generalmente son de unas pocas micras de espesor, aunque en algunos casos pueden alcanzar uno o dos milímetros y presentar una coloración pardo verdosa que hace posible su detección.
- Una vez constituido este biofilm o película inicial, se incorporan los protozoos al sustrato y a partir de allí las larvas de los macro organismos del biofouling. Los mismos encuentran en esta comunidad inicial aspectos físico-químicos propicios para su fijación, como así también -en el caso de algunas especies- un adecuado sustento trófico.
- En esta etapa, el biofouling ya cuenta con los componentes o elementos principales de la comunidad y sólo falta que transcurra el tiempo para que las formas larvales y juveniles puedan cumplir su proceso de metamorfosis y aumentar en talla. Cabe señalar que el biofouling puede presentar una alta biodiversidad, estando compuesto por casi todos los grupos de invertebrados y precordados que pueblan los fondos marinos.
- Una vez que se han desarrollado los componentes del macrofouling, la comunidad atraviesa una serie de etapas estacionales y evolutivas en las cuales siguen produciéndose cambios de diverso tipo, y en donde la competencia espacial y trófica juega un papel muy importante. Toda esta evolución de la comunidad incrustante es conocido como “proceso de sucesión ecológica”, y cada una de las principales etapas que tiene lugar durante la misma son designadas como “etapas serales”. La sucesión de estas últimas tiende a conducir a la comunidad a una etapa final de cierto equilibrio conocida como “etapa clímax”. La duración de la “etapa clímax” puede variar de acuerdo a cada comunidad y las características ambientales generales.

Este proceso evolutivo que hemos descripto para el biofouling también es común a todas las comunidades naturales de fondos marinos duros y, obviamente, tiene lugar desde el origen de la formación de las mismas.

Las comunidades asociadas a los materiales de origen antrópico han preocupado desde la antigüedad por las consecuencias negativas que acarrear en diversos campos de la actividad humana. El efecto perjudicial de los micro y macro organismos que componen el biofouling puede tener un origen tanto de tipo mecánico –consecuencia de su fijación al sustrato– como metabólico, por efecto de sus acciones y consecuentes cambios físico-químicos en los materiales.

Complementariamente a los problemas mencionados, deben señalarse los inconvenientes que el biofouling produce en la navegación pues su presencia aumenta la rugosidad de la superficie de los cascos y, consecuentemente, los navíos no pueden alcanzar la velocidad para la cual fueron diseñados. En el caso de las naves modernas, puede provocar la necesidad de aumentar notablemente el consumo de combustible para compensar dicha resistencia, aumentando considerablemente los costos de navegación.

El biofouling, además, tiene otras implicancias de alto costo económico en diversas industrias que emplean al agua de mar como sustancia refrigerante, como es el caso de las centrales termoeléctricas y atómicas que deben ser periódicamente controladas.

Si bien es conocido desde la antigüedad, el biofouling recién fue estudiado en forma interdisciplinaria y con cierta intensidad recién a partir de la Segunda Guerra Mundial, dadas sus implicancias en la actividad bélica naval.

Un interesante y poco conocido ejemplo de ello es lo ocurrido durante la famosa batalla del Río de la Plata, en donde el Admiral Graf Spee, máximo exponente de la construcción naval de la época, inexplicablemente pudo quedar al alcance de tiro de las naves inglesas. Una vez finalizada la guerra, pudo saberse a través de una carta confidencial de uno de los oficiales del buque, que la derrota en dicha batalla no se debió a la superioridad de la Armada Británica, sino a que el Graf Spee estuvo imposibilitado de desarrollar sus máximas velocidades debido al intenso fouling que se había adherido a su casco durante su permanencia previa en aguas tropicales (Woods Hole Oceanographic Institute 1952).

En las últimas décadas el estudio del biofouling se ha desarrollado notoriamente, tanto por el enorme perjuicio económico que puede implicar (llegando a miles de millones de dólares anuales) como así también por las posibilidades que brinda para el desarrollo de estudios experimentales de comunidades bentónicas o de fondo.

Organismos perforantes de madera

Los organismos marinos perforantes de madera conforman la otra gran categoría de organismos vinculados con el biodeterioro. Los mismos pertenecen a distintos grupos de invertebrados, siendo los más conocidos los moluscos bivalvos de la familia Teredinidae, llamados comúnmente shipworms por las modificaciones anatómicas que le confieren un aspecto de gusanos. Esta familia está compuesta por alrededor de una docena de géneros, si bien el más frecuentemente citado en la bibliografía es el género *Teredo*, que ya prácticamente ha adquirido la categoría de nombre vulgar como indicativo de organismo perforante de madera. Dentro de los moluscos bivalvos existe otra familia, *Pholadidae*, que también puede producir grandes daños en la madera, pero que ha sido citada con menor frecuencia. Desde el punto de vista anatómico este perforante ocuparía una posición intermedia entre un *Teredinide* y un bivalvo clásico (Bastida y Torti 1972a; Bastida et al. 2002; Nair 1962; Nair y Saraswathy 1971; Turner 1966).

Otros organismos perforantes de madera son los crustáceos isópodos de la familia *Limnoriidae* y *Sphaeromatidae*. La primera de ellas está compuesta por el género *Limnoria* y varias decenas de especies que se distribuyen a lo largo de todo el mundo, si bien la especie más citada en la bibliografía es *Limnoria lignorum*, aunque muchas veces dichas determinaciones son erróneas y en realidad se trata de otras especies afines. El otro isópodo perforante es *Sphaeroma destructor* y si bien *Sphaeroma serratum* ha sido citada también como perforante, en realidad se trata de una especie que utiliza como habitáculo los orificios y galerías que encuentra en la madera, pero en realidad no ejerce ninguna acción perforante. Aparentemente una situación similar ocurriría con el crustáceo anfípodo *Chelura terebrans*, aunque hasta el presente hay discrepancias al respecto entre los diversos autores.

Tanto la estrategia de perforación como los daños causados por moluscos y crustáceos suelen ser bastante diferentes entre sí y fácilmente identificables aunque no estén presentes los organismos en las maderas atacadas (Bastida y Torti 1972b).

En el caso de los moluscos *Teredinidae*, el ingreso a la madera se produce en la etapa larval o juvenil del individuo a través de un único y pequeño orificio por el cual nunca volverán a salir, debido al incremento de tamaño que adquiere el cuerpo una vez adentro de su habitáculo. Luego el animal horada progresivamente la madera, formando largas y profundas galerías que va recubriendo con carbonato de

calcio para reforzar la estructura excavada y para facilitar, además, su desplazamiento dentro de ella. Es de destacar que las galerías mencionadas, a veces de gran complejidad, nunca quedan expuestas al exterior salvo que la pieza se rompa accidentalmente o ex profeso.

Los crustáceos isópodos, en cambio, realizan pequeñas galerías y surcos en las zonas externas de las maderas, las que van desgastando paulatinamente desde afuera hacia adentro, confiriéndole así a la pieza atacada un deterioro fácilmente visible, a diferencia de lo que ocurre con los moluscos perforantes. Finalmente, cabe señalar que los isópodos no recubren sus galerías con carbonato de calcio, por lo que las paredes de las mismas conservan el color de la madera y no el blanco intenso del carbonato de calcio de los moluscos en maderas recientemente atacadas.

La acción perjudicial de los organismos marinos perforantes de madera se remonta a los mismos orígenes de la navegación, por constituir la madera la principal materia prima de las embarcaciones hasta tiempos recientes. Los mismos ya eran conocidos por los griegos de la antigüedad como Plinio, Ovidio y Aristófanes, incluso fueron mencionados por Homero en sus relatos. Navegantes como Cook y Drake sentían pavor por el posible ataque de estos organismos que habían llevado a Cristóbal Colón a perder todos los navíos de su cuarto viaje a América por la acción de los perforantes de madera (Nair y Saraswathy 1971).

Los navegantes de la antigüedad ya manifestaban su preocupación por desarrollar métodos que hicieran posible el control de este enemigo oculto que afectaba severamente la vida útil de sus naves. A partir del siglo XVIII se redujo notablemente el biodeterioro producido por estos organismos al desarrollarse un método eficiente para su control, consistente en el recubrimiento de los cascos de madera con finas láminas de cobre (Staniforth 1985).

Implicancias del biodeterioro en la arqueología subacática

Pese a todo lo expresado en las secciones anteriores, la consideración del problema del biodeterioro por parte de los arqueólogos ha sido parcial e incompleta.

En cuanto al biofouling, muy pocas investigaciones en arqueología subacuática tratan ese aspecto en función de la relevancia que, como se verá, posee en relación a los procesos de formación de sitios.

Por otro lado, a menudo se observa en la literatura arqueológica el concepto erróneo de que los organismos marinos perforantes de madera son muy poco frecuentes en zonas frías y templado-frías. También se suele asociar en forma directa el daño producido por perforantes de madera a la acción de “teredos”, careciendo de evidencia que indique que efectivamente se trata de este grupo taxonómico.

En base al enfoque de este trabajo y a la caracterización del biofouling y los organismos perforantes de madera a los que se hizo referencia anteriormente, podemos a continuación explorar las implicancias que poseen estas comunidades como agentes causales de procesos del biodeterioro en sitios sumergidos.

La acción de los organismos incrustantes (biofouling)

Es sabido que los naufragios, por exponer sustratos duros a la colonización biótica, pueden con el correr del tiempo constituirse en arrecifes artificiales (Randell 1998).

Una primera implicancia en relación a la investigación arqueológica –principalmente en una etapa de relevamiento visual– es que el biofouling puede dificultar la localización e interpretación de ciertos artefactos o incluso de todo un sitio.

Por otra parte, debe evaluarse si la presencia del biofouling puede ser positiva o negativa respecto a la conservación e integridad del sitio en general y los artefactos individuales que lo componen, es decir si influye en su preservación o deterioro. En tal sentido, por ejemplo, la presencia de biofouling sobre materiales de madera podría impedir la acción de organismos perforantes (Nair 1982; Nair y Saraswathy 1971; Pournou 1999) o de otros procesos perjudiciales tales como abrasión sedimentaria. Esto, a su vez, servirá para guiar aspectos relativos al relevamiento y excavación de un sitio, pudiendo decidirse, por ejemplo, sobre la conveniencia de remover el biofouling más allá de lo mínimo indispensable.

Los estudios relativos a los ciclos de vida de ciertos organismos incrustantes pueden constituir una potencial vía analítica para comprender procesos vinculados a la dinámica de los depósitos arqueológicos. Por ejemplo, bajo determinadas características y condiciones de la matriz sedimentaria, la presencia de ciertas especies adheridas a materiales arqueológicos podrían indicar que al menos durante su lapso de vida dichos restos no han estado cubiertos por sedimento (Elkin 2000). Asimismo, dada la afinidad existente

entre el sustrato y las especies de fondo, en base a la identificación de especies fijadas sobre artefactos arqueológicos, sería posible definir con qué tipo de sustrato han estado vinculados estos últimos.

Un primer paso indispensable para evaluar los aspectos considerados, es determinar cuáles son las especies que están presentes en un sitio y si las mismas se asocian preferencialmente a ciertos tipos de materiales en función de su materia prima y/o características morfológicas.

Pese a las claras implicancias del biofouling en la formación de sitios subacuáticos, no ha sido tenido en consideración durante estudios arqueológicos previos.

A los efectos de los procesos de formación de los sitios arqueológicos subacuáticos conviene señalar que el biofouling sufre sobre ellos innumerables ciclos, pues estas comunidades nacen, viven y mueren produciendo continuamente procesos de desprendimiento y posterior recolonización del sustrato (Bastida y Brankevich 1989). Esta alternancia de desprendimiento y recolonización puede desarrollarse en la naturaleza siguiendo dos estrategias distintas: una que podríamos calificar como “de reemplazo” y otra como “de acumulación”, las cuales tendrán a su vez distinta incidencia en los procesos de formación de los sitios arqueológicos subacuáticos.

La estrategia de reemplazo suele presentarse con el biofouling originado a partir de comunidades de fondos duros de zonas templadas o templado-frías, mientras que la estrategia de acumulación está relacionada fundamentalmente con comunidades de áreas tropicales compatibles con el desarrollo de especies de corales hermatípicos, que son aquellos capaces de formar arrecifes.

Estas estrategias del biofouling pueden tener consecuencias muy distintas, tanto en relación a la evolución de los sitios arqueológicos subacuáticos como también en su prospección y detección. Es por ello que en zonas templadas o frías, en la medida en que los sitios no sean cubiertos por el sedimento, los mismos podrán ser detectados en forma visual o por sistemas indirectos como video, sonar lateral, etc., mientras que en áreas de arrecifes coralinos, los sitios que quedan expuestos sobre los fondos pierden en su mayoría su estructura y forma original como para ser visualizados y diferenciados del contexto biológico del arrecife. De ahí el origen del concepto naval, tan frecuente en áreas tropicales, de que los naufragios son devorados por el arrecife de coral. Esta acción, unida a la de los perforantes de madera, hace que sean muy pocos los elementos reconocibles visualmente al explorar los sitios en zonas arrecifales coralinas. En estos casos el sitio puede ser detectado generalmente por algún elemento que no haya modificado excesivamente su aspecto morfológico, tal como cañones o anclas. También pueden resultar de utilidad para la identificación de sitios en zonas arrecifales el lastre de los navíos, siempre y cuando el mismo no haya sido totalmente enmascarado por la comunidad coralina. Por todo ello, en zonas arrecifales los magnetómetros resultan un instrumental imprescindible durante las etapas de exploración.

La acción de los organismos perforantes de madera

La acción de organismos perforantes de madera es claramente perjudicial, a diferencia del biofouling que, como hemos visto, podría en algunas ocasiones tener un efecto positivo sobre los materiales arqueológicos. Una evidente implicancia de ello es que esta acción puede afectar en diverso grado la representación de artefactos de madera presentes en un sitio, pudiendo llegar a producir, incluso, su destrucción parcial o total. Esta implicancia se torna particularmente relevante cuando tratamos con sitios compuestos principalmente de madera. Esto, a su vez, incide en cualquier interpretación arqueológica subsiguiente, ya que la ausencia o subrepresentación de determinados restos de madera puede no ser siempre un hecho evidente. En un pecio, por ejemplo, la falta de determinados elementos estructurales que constituyen componentes esenciales de una nave (cubiertas, cuadernas, etc.) podría ser percibida de manera inmediata, mientras que la ausencia de muchos otros artículos podría no ser tan fácilmente deducida. La evidencia directa de actividad de perforantes en dicho sitio o su presencia en la zona puede entonces advertirnos sobre esta posibilidad.

La debilitación estructural o la destrucción de piezas de madera causada por organismos perforantes puede provocar una modificación en la distribución y, por lo tanto, en la asociación contextual de artefactos, como sería el caso de un recipiente de madera que al deteriorarse o destruirse produce la dispersión de su contenido.

Las implicancias relacionadas con el estado de conservación del sitio pueden a su vez orientar la toma de decisiones relativas a la elección de sectores a excavar, a métodos de conservación in situ y a la determinación de los artefactos que deben ser extraídos y conservados en forma prioritaria.

Para discutir implicancias como las mencionadas, es necesario en primer lugar constatar si existe evidencia de organismos perforantes de madera en un sitio arqueológico o en la zona en que se encuentra y, posteriormente, realizar determinaciones taxonómicas y considerar aspectos biológicos y ecológicos de dichos agentes.

Estudios de los procesos de formación de sitios subacuáticos en la Argentina: investigaciones interdisciplinarias en el sitio Swift.

La sloop –o corbeta- HMS Swift era un barco de guerra perteneciente a la Armada Británica construido en 1762. En el año 1770 –en circunstancias en las que se hallaba comisionada en las Islas Malvinas- naufragó frente a la costa de la actual localidad de Puerto Deseado (Santa Cruz, Argentina). Desde 1997 el programa de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural Subacuático Argentino del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano tiene a su cargo la conducción científica de los trabajos en este sitio (ver Elkin et al. 2000 para una síntesis general del estado de avance de la investigación).

El barco mide alrededor de 29 metros de eslora y 8 metros de manga, y se encuentra actualmente a una profundidad que fluctúa entre los 10 y 18 metros, de acuerdo a la topografía del lecho y a la amplitud de mareas.

En cuanto a las características ambientales del sitio, el agua posee un amplio rango de temperaturas a lo largo del año, con máximas en verano y en invierno de 13° y 4° C respectivamente, con una salinidad promedio de 33 partes por mil (Ringuelet et al. 1962; Kühnemann 1963). La velocidad de la corriente en el cauce principal de la ría es de 6 nudos y la amplitud máxima de mareas alcanza los 6 m (Kühnemann 1963). Nuestros propios registros de visibilidad promedio, bajo distintas condiciones hidrometeorológicas, oscilan entre 30 cm y 2 m. El sedimento predominante en la zona en que se encuentra el pecio presenta- actualmente- una granulometría muy fina, de tipo limo-arcillosa, aunque se ha observado una considerable variabilidad intrasitio (Bastida et al. 2002).

Desde 1770, y durante el lapso en que la corbeta Swift permaneció hundida, numerosos procesos de origen natural y cultural interactuaron en formas diversas dando lugar al registro arqueológico que hoy podemos estudiar.

En función de un enfoque interdisciplinario presentaremos en esta sección los objetivos formulados, la metodología implementada y el estado del conocimiento en lo que respecta a la acción de organismos incrustantes y organismos perforantes de madera en el sitio Swift.

Objetivos y metodología

Los objetivos generales planteados para encarar el tratamiento de este tema son los siguientes:

- Evaluar el nivel de agresividad del biofouling presente en el sitio en relación a los diversos materiales arqueológicos, teniendo en cuenta las distintas especies que lo componen y los distintos tipos de materiales arqueológicos a los que se asocian.
- Determinar si los materiales de madera están afectados por organismos perforantes (punto especialmente relevante dado que se trata de un pecio compuesto casi exclusivamente de madera) y si dichos organismos están actualmente presentes en el área de estudio.
- En caso afirmativo, determinar si las especies perforantes, o sus acciones, son locales o exóticas.
- Contribuir, mediante el cumplimiento de los objetivos anteriores, a la mejor comprensión e interpretación del registro arqueológico.
- En función de lo anterior, establecer criterios que rijan el relevamiento y la excavación del sitio, así como diversos aspectos vinculados a su conservación.

La metodología de trabajo comprende, por una parte, el análisis de los materiales arqueológicos y las comunidades bióticas a ellos asociadas, y por otra parte el desarrollo de un ensayo experimental.

En relación a este último, se planteó la posibilidad del desarrollo de una metodología orientada a la observación controlada de la acción del biofouling y la acción de organismos marinos perforantes de madera en forma simultánea, por un período de dos años. Este lapso se considera suficiente para un adecuado monitoreo de los ciclos de vida de las comunidades estudiadas.

El trabajo experimental consiste en la instalación en el sitio de un sistema de paneles de acrílico

conteniendo micropaneles móviles de madera y de acrílico arenado (Figura 1). La remoción periódica de los mismos -cada seis meses- y su posterior análisis nos permite conocer cuáles son las especies presentes en el sitio, así como sus ciclos de reproducción y crecimiento.

Otro aspecto complementario de la fase experimental consistió en la colocación de bolsas de red en diversos sectores del sitio conteniendo trozos de maderas de distintos tipo y tamaño a fin de observar la posible acción de organismos marinos perforantes en ellos, y obtener así también material biológico para estudios posteriores.

Resultados

En las superficies de todos los materiales expuestos en el sitio por encima del nivel del sedimento pueden identificarse diversos organismos incrustantes, observándose ciertas preferencias en cuanto al tipo de sustrato sobre el que se adhieren las distintas especies. Por ejemplo, en grandes piezas estructurales de madera como cuadernas y baos, abundan especies de celenterados actinarios (n. v. anémonas marinas) y tunicados (n. v. papas de mar), estos últimos tanto solitarios (v.gr. *Molgula* sp., *Paramolgula* gregaria, *Ciona* sp., *Corella eumyota*), como coloniales (v. gr. *Sycozoa gaimardi*, *Amaroucium* sp., *Didemnum* sp., *Polyzoa opuntia*).

En cuanto a los tipos de materiales arqueológicos a los cuales se asocian distintos organismos incrustantes, en artefactos de vidrio puede enumerarse preliminarmente la presencia tanto de organismos sésiles (adheridos) como vagantes (libres), aparentemente asociados a distintos tipos de textura de la superficie. En vidrios lisos, como el de algunas botellas (Figura 2) se nota un claro predominio de briozoos incrustantes como el caso de *Membranipora hyadesi* que pueden alcanzar una cobertura significativa de la superficie total del artefacto; también se observan pequeñas especies de poliquetos tubícolas de la subfamilia *Spirorbinae* y del género *Thelepus*, adheridos tanto sobre el vidrio mismo como así también en calidad de epibiontes de los briozoos.

Otras botellas presentan además colonias de briozoos arborescentes (*Hippotoa bouganvillei*) y pequeños celenterados actinarios. Entre los organismos libres, también encontrados sobre botellas, merece señalarse la presencia del gasterópodo *Crepidula dilatata* y en menor frecuencia *Calyptraea costellata*.

En paneles de vidrio de ventana, de aspecto esmerilado y superficie más adherente, se observa un biofouling más diversificado (Figura 3). El mismo está compuesto por pequeños actinarios, poliquetos de las familias *Serpulidae*, *Terebellidae* y *Nereidae*, moluscos gasterópodos (*Crepidula dilatata*, *Calyptraea costellata*, *Lucapinella genselli*, *Pereuthria plumbea*), crustáceos cirripedios del género *Balanus*, crustáceos isópodos de los géneros *Cassinopsis* y *Exosphaeroma*, briozoos incrustantes del género *Membranipora* y otros briozoos arborescentes de los géneros *Hippotoa* y *Bowerbankia*, y tunicados solitarios y coloniales de los géneros *Ciona*, *Molgula*, *Paramolgula*, *Corella*, *Sycozoa*, *Amaroucium* y *Polyzoa*.

Los elementos de madera de pequeño tamaño como los motones presentan, comparativamente, una menor diversidad, predominando pequeños actinarios y algunas colonias de briozoos arborescentes. En grandes piezas estructurales, como cuadernas y baos, se registra una mayor diversidad de actinarios, algas del género *Rhodomenia*, *Dyctiota* y *Ceramium*, y diversos géneros de tunicados ya señalados anteriormente.

En elementos metálicos (ferrosos y no ferrosos) se han detectado algas calcáreas del género *Lithothamnium*, pequeños actinarios, briozoos incrustantes del género *Membranipora*, poliquetos *Serpulinae*, y frecuente presencia del gasterópodo *Crepidula dilatata* como el caso de la bomba de achique recuperada de la Swift (Figura 4).

Otro objetivo del presente estudio ha sido evaluar el posible doble rol (protector y deteriorante) que el biofouling puede ejercer sobre los materiales arqueológicos. Al respecto, hemos podido comprobar que la remoción de los tunicados fijados sobre las cuadernas y baos ocasiona desprendimientos de madera que quedan adheridos a las mismas (Figura 5).

En cuanto a los organismos marinos perforantes de madera, la observación macroscópica de diversas piezas -tanto de algunas extraídas del sitio desde su descubrimiento en la década del '80 como de varias que aun se encuentran in situ- reveló claramente la actividad de estos agentes, referidos a la familia *Teredinidae* y probablemente también *Pholadidae*. No se ha detectado la actividad de isópodos *Limnoriidae* en las maderas analizadas y aun resta por determinar la presencia actual de hongos sobre las maderas del pecio.

Entre las maderas atacadas pueden mencionarse tanto aquellas correspondientes a la obra viva, es decir, la parte del casco que se encuentra bajo la línea de flotación, como así también a la obra muerta,

que corresponde a la parte de la nave situada por encima de la línea de flotación. Ejemplos de este último caso son marcos de puertas o ventanas (Figura 6), una escotilla (Figura 7) y una probable rueda de cureña (Figura 8), que constituye uno de los primeros artefactos recuperados del sitio en la década del '80.

Hasta el presente no se ha podido determinar si existe un ataque diferencial vinculado con los distintos tipos de madera o su dureza, ya que la acción de organismos perforantes se observó en artefactos de pino, roble y olmo. Tampoco se cuenta con evidencia que indique la acción de dichos organismos en la actualidad, tanto en el sitio como en otros sectores cercanos de la Ría Deseado.

En cuanto a los resultados del primer muestreo de micropaneles de acrílico, luego de seis meses de inmersión, se observa que el biofouling ha sido poco intenso o agresivo, encontrándose la comunidad en plena etapa de desarrollo de sus macrocomponentes pioneros. En el caso de los paneles de madera no se observa -a la fecha- la acción de organismos perforantes.

Otro componente biológico observado en la Swift y vinculado con el biodeterioro del pecio, es la presencia de grandes algas laminarias como el “cachiyuyo” (*Macrocystis pyrifera*)

que frecuentemente se desplazan a la deriva en la Ría Deseado y quedan enganchadas en los restos de madera, ejerciendo de esta forma una gran fuerza mecánica por acción de las fuertes corrientes de marea (Kühnemann 1963).

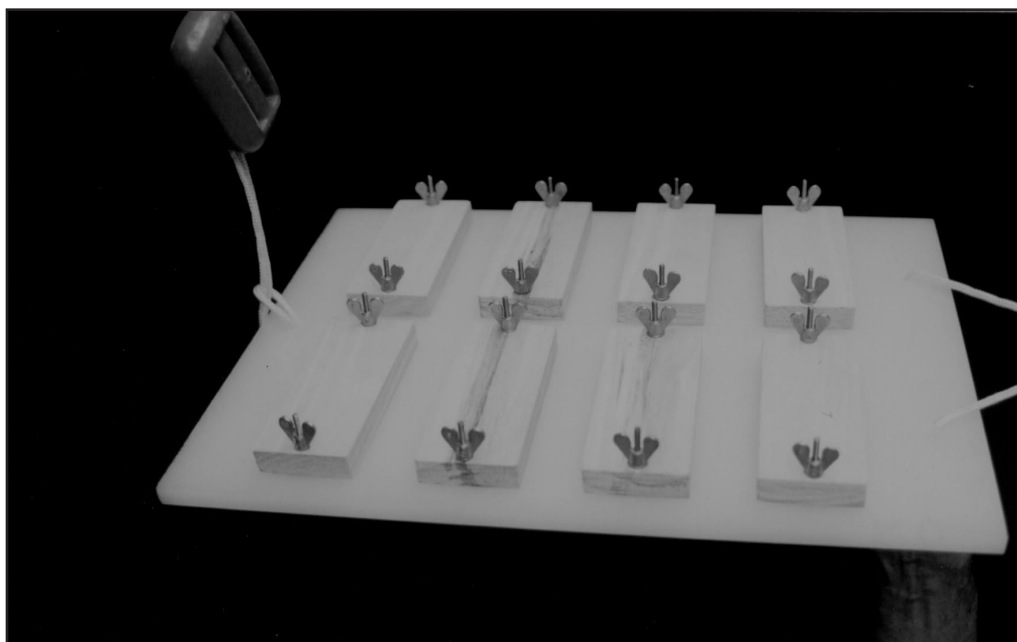
Finalmente, en cuanto al panorama sedimentario del sitio, cabe destacar que su estudio resulta fundamental ya que constituye un parámetro ambiental determinante en la evolución del mismo. Sus características, composición y dinámica general están en relación estrecha con los procesos a los que se encuentra sometido un sitio a lo largo del tiempo.

En el caso de la matriz sedimentaria de la Swift, ésta se caracteriza por un predominio de la fracción fina, con importante participación de limos, arcillas y arenas finas. Las arenas gruesas están muy poco representadas como así también las fracciones de mayor tamaño, salvo en algunos sectores donde se observó una importante participación de sábulo y guija.

Los bioclastos del sedimento están bien representados y son aportados principalmente por los braquiópodos, moluscos y cirripedios.

Los sedimentos poseen además una alta concentración de materia orgánica, con valores máximos de hasta 9.02%, siendo tanto de origen natural como antrópica (Bastida et al. 2002).

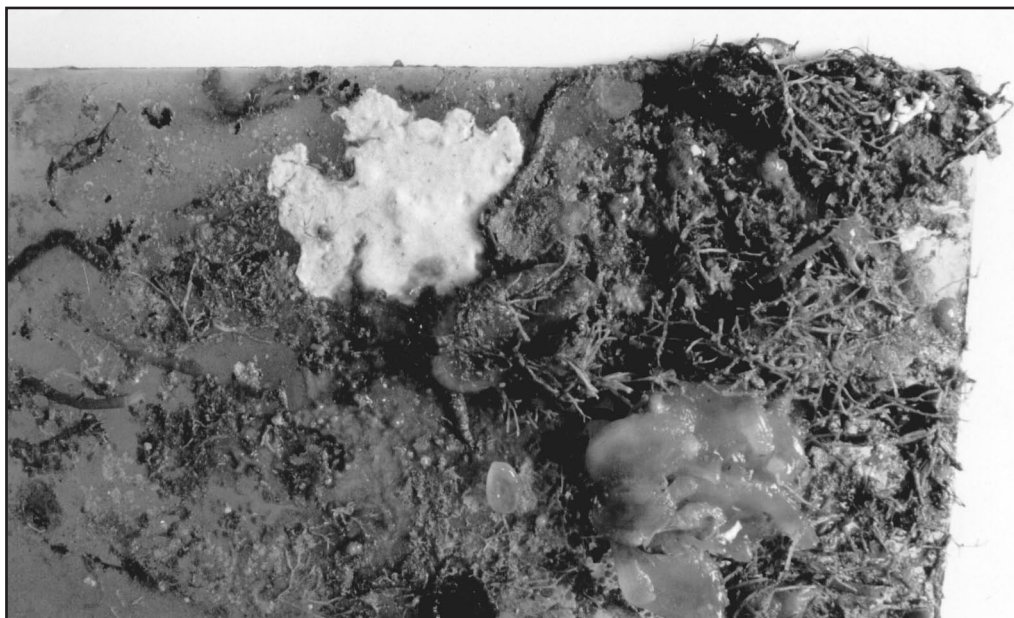
La naturaleza anóxica del sedimento del sitio Swift está evidenciada por los valores negativos del potencial Redox en el área del sitio (-140 a -314) y por la presencia de ácido sulfhídrico en varios artefactos de madera que se hallaban totalmente cubiertos por el sedimento (Bastida et al. 2002; Pournou 1998).



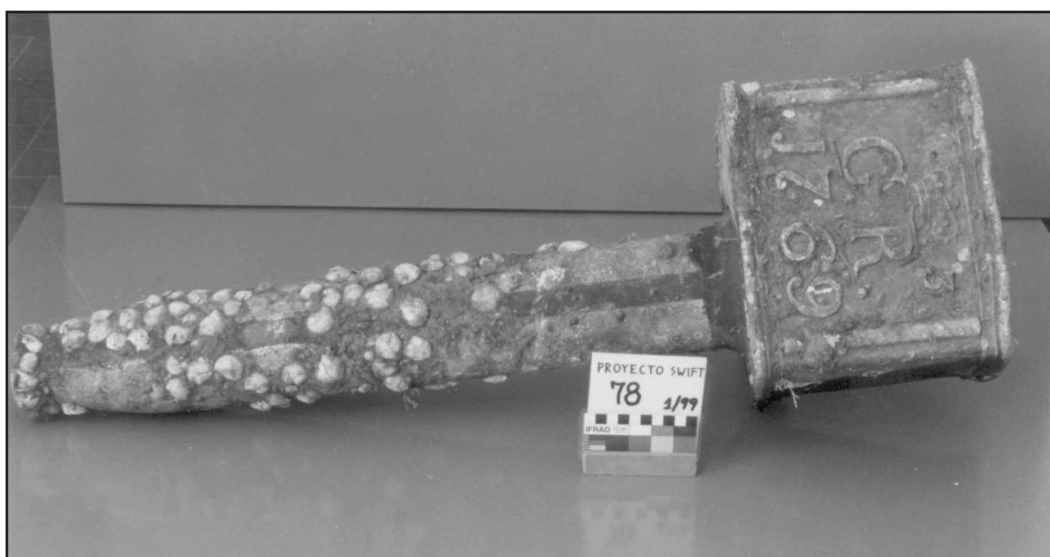
▲ **Figura 1:** Sistema experimental con micropaneles móviles instalado en el sitio *Swift* para monitorear la acción del *biofouling* y de los organismos perforantes de madera.



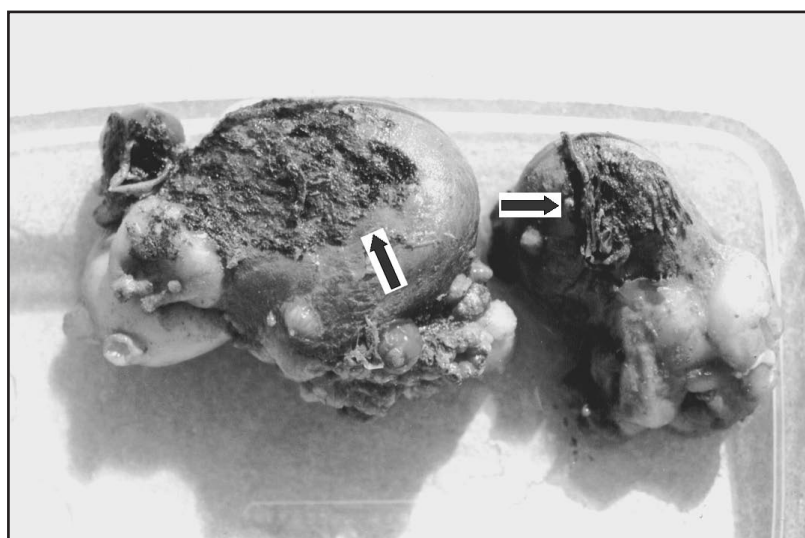
▲ **Figura 2:** Botella de vidrio procedente del sitio *Swift* con organismos incrustantes adheridos en todas aquellas zonas que no estuvieron cubiertas por el sedimento cuando la misma se hallaba en su contexto arqueológico.



▲ **Figura 3:** Panel de vidrio procedente del sitio *Swift* (probablemente un vidrio de ventana) colonizado por una gran variedad de organismos incrustantes.



▲ **Figura 4:** Bomba metálica (plomo) para achique de agua, procedente del sitio *Swift*, colonizada principalmente por moluscos gasterópodos.



▲ **Figura 5:** Acción deteriorante sobre la madera por desprendimiento de biofouling. Pueden observarse, sobre la base de adhesión de los organismos (tunicados o “papas de mar”), restos de madera desprendidos del casco de la *Swift*.



▲ **Figura 6:** Marco de madera procedente del sitio *Swift* con importante deterioro causado por la acción de organismos perforantes.



▲ **Figura 7:** Detalle de una escotilla de madera de la *Swift* en la que puede observarse, a través del recorrido de una sonda, el complejo sistema de orificios y galerías producido por organismos perforantes.



▲ **Figura 8:** Artefacto de madera (probablemente rueda de cureña) del sitio *Swift*, con orificios realizados por organismos perforantes.

Discusión y conclusiones

Si bien durante mucho tiempo la bibliografía referente a sitios arqueológicos subacuáticos subestimó la actividad de organismos perforantes de madera en aguas templadas y frías, existen importantes antecedentes de su presencia en las costas meridionales argentinas (Bastida y Torti 1972a). En el caso del sitio Swift, trabajos realizados previamente a nuestra intervención se basaron en el supuesto de la ausencia de organismos perforantes en la zona (García Cano 1997:47, 1999:443) y por tanto dicha posibilidad ni siquiera fue considerada.

El presente estudio ha podido determinar, en forma categórica, la acción de organismos perforantes de madera sobre los restos de la Swift. Los mismos pertenecen al grupo de los moluscos bivalvos de la familia Teredinidae y, probablemente, también de la familia Pholadidae.

Como ya se indicó, los ataques han sido registrados tanto en maderas de la obra viva del buque, como así también de la obra muerta. Estas últimas constituyen un claro indicador de que estos organismos actuaron en circunstancias posteriores al naufragio, lo cual evidencia a su vez que se trata de especies perforantes locales.

La ausencia de otros organismos perforantes, tales como los isópodos Limnoriidae en los restos de la Swift puede relacionarse con la ausencia en la zona de estas especies o puede relacionarse con la profundidad a la que se encuentra el sitio, que es mayor que aquella en la que suele registrarse a este grupo de perforantes (Bastida y Torti 1972b).

En cuanto a los resultados del estudio experimental, orientado a evaluar si la acción de estos organismos continúa en la actualidad, hasta el presente han sido negativos. Cabe señalar que esto puede deberse al escaso tiempo de inmersión de las maderas, las cuales requieren un cierto “envejecimiento” y colonización por parte de microorganismos antes de que tenga lugar el ataque de organismos perforantes. Recién estaremos en condiciones de definir con más precisión la presencia o ausencia actual de organismos perforantes de madera en la Ría Deseado una vez cubierto el ciclo experimental de dos años.

En relación a un posible comportamiento diferencial en la selección de maderas atacadas, si bien aún no se han observado patrones particulares, podemos afirmar en forma preliminar que el tipo de madera (blandas vs. duras) no sería en sí mismo un factor que condicione la acción de organismos marinos perforantes (Nair y Saraswathy 1971; Bastida y Torti 1972a). Dicho aspecto ha quedado evidenciado en los estudios de la Swift, ya que se ha observado evidencias de ataque tanto en artefactos construidos en madera de pino (marco de ventana, escotilla) como de olmo (rueda de cureña).

El biofouling registrado en el sitio Swift corresponde al patrón típico de las comunidades bentónicas costeras del sur patagónico (Ringuelet et al. 1962; Kühnemann 1969; Bastida 1973). Probablemente los sustratos artificiales definen variaciones en la biodiversidad del biofouling, siendo la madera la menos diversificada y el vidrio esmerilado y los metales ferrosos probablemente los más diversificados para nuestro sitio. La tipificación general del biofouling y las diversas acciones que el mismo puede ejercer en los sitios arqueológicos constituye un aspecto que no ha sido suficientemente analizado hasta el presente en la extensa bibliografía arqueológica subacuática.

Como ya fue expresado anteriormente, la acción del fouling puede ser tanto positiva como negativa para los sitios arqueológicos. En el primer caso, se destaca la acción protectora fundamentalmente referida a limitar la acción de los organismos perforantes sobre los sustratos de madera (Nair 1962; Nair y Saraswathy 1971; Pournou 1999); también suele ejercer acciones protectoras sobre los artefactos al evitar procesos de erosión sedimentaria.

Las acciones perjudiciales pueden afectar a los objetos tanto por acción mecánica (por ejemplo, ruptura del sustrato por efecto del crecimiento de los organismos), como química, producto del contacto entre el material arqueológico y metabolitos químicamente agresivos propios de ciertas especies incrustantes.

Sin embargo, aún en el caso de que el biofouling ejerciera algún efecto perjudicial sobre el material arqueológico, la remoción de dichos organismos puede ocasionar pequeños desprendimientos de la superficie de los artefactos, tal como ha sido observado por nosotros en el caso de tunicados extraídos de piezas de madera. Por ello la remoción del biofouling de los sitios arqueológicos nunca debe ser una tarea de rutina, sino una decisión que deberá ser analizada y evaluada en cada caso. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los desprendimientos del biofouling pueden producirse también como resultado de los ciclos biológicos de estas comunidades.

La dinámica del biofouling local será definida a través de la información que se obtendrá durante el ensayo experimental cuya duración es de dos años. La primera información obtenida luego de los primeros seis meses de inmersión nos indica que la comunidad se encuentra en las primeras etapas de

desarrollo de los componentes del macrofouling. La misma ha sido poco intensa durante este período de inmersión, en forma coincidente con la época del inicio de las bajas temperaturas del agua; seguramente en los futuros muestreos el biofouling mostrará un desarrollo importante debido a la elevación de la temperatura del agua, correspondiente al período primavera-verano.

Los sedimentos finos que tipifican al sitio Swift tienen su origen fundamentalmente en el extenso recorrido del río Deseado, que tiene sus nacientes en la zona cordillerana. Las arenas, en cambio, tienen principalmente un origen marino e ingresan al sitio por acción de las mareas.

La fracción más gruesa del sedimento –sábulo y guija- tienen un doble origen. Por un lado se encuentran los típicos rodados patagónicos y, por otro, roca fraccionada resultante de las explosiones de la construcción portuaria local (Bastida et al. 2002).

El alto contenido de materia orgánica de los sedimentos responde a factores naturales como la alta productividad de las aguas y de las comunidades bentónicas, aunque a ello debe agregarse el importante aporte de la industria pesquera local y la actividad portuaria general. Todo ello ha contribuido a que los sedimentos del sitio Swift presenten bajos niveles de oxígeno, que sin duda ha favorecido la buena conservación de los materiales orgánicos del sitio.

Puede concluirse también que aquellos materiales que se encuentren protegidos por una cubierta sedimentaria no estarán expuestos al biodeterioro por parte de organismos marinos perforantes ni del biofouling. Este hecho debe ser considerado en vista de la naturaleza dinámica de los sedimentos, la cual parece producir alternativamente el enterramiento y la exposición de los materiales arqueológicos tanto por causas naturales como antrópicos (Elkin 2000).

Finalmente, digamos que los antecedentes sobre los estudios de procesos naturales de formación de sitios arqueológicos subacuáticos en su mayoría están referidos a sitios particulares para los que se menciona la acción de ciertos agentes sobre los mismos, sin desarrollar un marco teórico-metodológico que oriente la investigación en ese sentido, o que sea aplicable a materiales arqueológicos de otros contextos.

El Proyecto Swift constituye uno de los primeros pasos realizados en Sudamérica en relación al estudio de los procesos de formación de sitios arqueológicos y constituirá la base para el desarrollo de nuevos modelos, donde las diversas variables puedan ser cuantificadas y los mismos aplicables a otras regiones del mundo.

La utilidad de este tipo de modelos en arqueología –como en cualquier otra ciencia-, es que trascienden los casos particulares de análisis y poseen un valor predictivo basado en las relaciones causales entre determinados procesos y los productos que de ellos resultan; en nuestro caso, el registro material sumergido.

Bibliografía

- BASTIDA, R. 1971 Las incrustaciones biológicas en el puerto de Mar del Plata, período 1966-67. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Serie Hidrobiología* 3(2):203-285.
- BASTIDA, R. 1973 Studies of the fouling communities along Argentine coasts. *Proceedings 3rd International Congress on Marine Corrosion and Fouling*: 847-864, Washington.
- BASTIDA, R. y G. BRANKEVICH 1989 Comunidades Incrustantes. *Ciencia Hoy* 1(4): 74-75. Buenos Aires.
- BASTIDA, R. y M. R. TORTI 1972a Organismos perforantes de las costas argentinas. I. La presencia de *Lyrodus pedicellatus* (Quatrefages 1849) (Mollusca, Pelecypoda) en el puerto de Mar del Plata. Clave para el reconocimiento de los Terebrinidae sudamericanos. *Physis* 31(82): 39-50.
- BASTIDA, R. y M. R. TORTI 1972b Organismos perforantes de las costas argentinas II. La presencia de *Limnoria* (*Limnoria*) *tripunctata* (Menzies 1951) (Isopoda, Limnoriidae) en el puerto de Mar del Plata. *Physis* 31(82): 143-153.
- BASTIDA, R., D. ELKIN, M. GROSSO, M. TRASSENS y J. P. MARTIN. 2002 La corbeta de guerra inglesa HMS Swift (1770): un caso de estudio sobre los efectos del biodeterioro en el patrimonio cultural subacuático de la Patagonia. *Jornadas Científico Tecnológicas sobre Prevención y Protección del Patrimonio Cultural Iberoamericano del Biodeterioro Ambiental CYTED - LEMIT - CIDEPINT – UTN. La Plata*, en prensa.
- ELKIN, D. 1997 Proyecto Arqueológico Swift. Ms. Presentado a la Secretaría de Cultura de la Nación y al Gobierno de la Provincia de Santa Cruz.
- ELKIN, D. 2000 Procesos de formación del registro arqueológico subacuático: una propuesta metodológica para el sitio Swift (Puerto Deseado, Santa Cruz). En *Desde el país de los Gigantes. Perspectivas arqueológicas en Patagonia*, Tomo I, pp. 195-202. Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Río Gallegos.
- ELKIN, D., D. VAINSTUB, A. ARGUESO y C. MURRAY 2000 H.M.S. Swift: Arqueología submarina en Puerto Deseado. En *Desde el país de los gigantes. Perspectivas arqueológicas en Patagonia*, Tomo II, pp. 659-671. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Río Gallegos.
- GARCIA CANO, J. 1997 Operación no intrusiva en un sitio de arqueología subacuática en Argentina. El caso de la sloop H. M. S. Swift. *Anuario de la Universidad Internacional SEK* 2:45-65. Santiago de Chile.

- GARCIA CANO, J. 1999 Arqueología de Barcos de Guerra. El caso de la sloop H.M.S. Swift. En Actas del XII Congreso Nacional de Arqueología Argentina, Tomo I, editado por C. Diez Marín, pp. 442-453.
- KÜHNEMANN, O. 1963 Penetración de *Macrocystis pyrifera* en la Ría de Puerto Deseado. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 10 (2-3):105-112. Centro de Investigaciones de Biología Marina. Estación Puerto Deseado - Estación Austral. (Contrib. Cient. N° 7 del CIBIMA).
- KÜHNEMANN, O. 1969 Vegetación marina de la ría Deseado (Santa Cruz, Argentina). Opera Lilloana, 17. (Contrib. Cient. N° 30 del CIBIMA), Tucumán.
- MUCKELROY, K. 1978 Maritime archaeology. Cambridge University Press, Cambridge.
- NAIR, N. B. 1962 Ecology of marine fouling and wood-boring organisms of Western Norway. Sarsia 8:1- 88.
- NAIR, N. B. y M. SARASWATHY 1971 The biology of wood boring teredinid molluscs. En Advances in Marine Biology, vol. 9, editado por F. Russel y M. Yonge, pp. 335-509. Academic Press, London and New York.
- POURNOU, A., A. M. JONES y S.T. MOSS 1998 In Situ Protection of the Zakynthos Wreck. Proceedings of the 7 th ICOM-CC Working Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference: 58-64, Genoble.
- POURNOU, A. 1999 In Situ Protection and Conservation of the Zakynthos Wreck. Ph.D. dissertation, University of Portsmouth. MS.
- RANDELL, M. 1998 Marine growth on shipwrecks. Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology, 22:107-108.
- RINGUELET, R. A., A. AMOR, N. MAGALDI y R. PALLARES 1962 Estudio Ecológico de la Fauna Intercotidal de Puerto Deseado en Febrero de 1961 (Santa Cruz, Argentina). Physis, T. XXIII, 64: 35-53. Centro de Investigaciones de Biología Marina. Estación Puerto Deseado (Contrib. Cient. N° 1 del CIMIBA).
- SCHIFFER, M. B. 1983 Toward the Identification of Formation Processes. American Antiquity 48: 675-706.
- SCHIFFER, M. B. 1987 Formation Processes of the Archaeological Record. University of New Mexico Press, Albuquerque.
- STANFORTH, M. 1985 The Introduction and use of Copper Sheathing – A history. Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology 9 (1-2):21-48.
- STEWART, D. J. 1999 Formation Processes Affecting Submerged Archaeological Sites: An Overview. Geoarchaeology. An International Journal 14 (6): 566-587.
- TURNER, R. 1966 A Survey and Illustrated Catalogue of the Teredinidae. Harvard University, Cambridge, Massachussets.
- WARD, I., P. LARCOMBE y P. VETH 1998 Towards new processes-orientated models for describing wreck disintegration –an example using the Pandora wreck. Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology 22: 109-114.
- WARD, I., P. LARCOMBE y P. VETH 1999 A New Processes-based Model for Wreck Site Formation. Journal of Archaeological Science 26: 561-570.
- WOOD, E. J. F. 1950 The role of bacteria in the early stages of fouling. Australasian J. of Mar. Freshwater Research 1: 85-91.
- Woods Hole Oceanographic Institute (W. H. O. I.) 1952 Marine fouling and its prevention. U.S. Naval Institute, Annapolis, Maryland.
- YOUNG, L. y., R. Mitchell 1973 The role of microorganisms in marine fouling. International Biodeterioration Bull 9: 105-109.