

Jorge M. Herrera,* Fernando Gómez Goyzueta,** Pamela Jiménez*
Arqueología marítima forense: pensamiento crítico, teoría y geofísica marina como herramientas clave para la búsqueda de personas desaparecidas en contextos sumergidos[◇]

Forensic maritime archaeology: critical thinking, theory and marine geophysics as key tools for the search for missing persons in submerged contexts

Abstract | This article discusses the theoretical, methodological, and instrumentation considerations with which it is possible and necessary to work to assist in the detection of human remains in submerged contexts in a scientific, systematic, and reproducible manner. This work is also co-participating in the purpose of making archeology a tool to help close deeply painful processes among families who have suffered losses in the serious context of forced disappearances in Mexico today. The following key elements are considered as part of the analysis: 1) the need for an explicitly theoretical development in archeology that incorporates strategies for solving questions, as is the case with processual archaeology; 2) the analysis of taphonomic alterations that will affect a human body and that appear in the scenario of a submerged context, and, 3) the development of a surveying methodology that incorporates state-of-the-art technologies in contemporary maritime archaeology, with an emphasis on positioning instrumentation, geophysics, robotics, photogrammetry, and technical and scientific diving.

Keywords | forced disappearances | archaeological theory | maritime archaeology | marine geophysics | forensic maritime archeology.

Recibido: 6 de diciembre, 2022.

Aceptado: 21 de junio, 2023.

* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas.

** Fomento Cultural Citibanamex.

◇ Los autores agradecen a Conacyt / Apoyos para Adquisición y Mantenimiento de Infraestructura en Instituciones y Laboratorios de Investigación Especializada (302534), Conacyt / Ciencia de Frontera (1327714).

Correos electrónicos: sanjorgeyeldragon@unam.mx | fgomezgo79@gmail.com | pammjv@gmail.com

Herrera, Jorge M., Fernando Gómez Goyzueta, Pamela Jiménez. «Arqueología marítima forense: pensamiento crítico, teoría y geofísica marina como herramientas clave para la búsqueda de personas desaparecidas en contextos sumergidos.» *INTER DISCIPLINA* 11, n° 31 (septiembre–diciembre 2023): 121-154.

doi: <https://doi.org/10.22201/ceich.24485705e.2023.31.86292>

Resumen | Este artículo discute las consideraciones teóricas, metodológicas y de instrumentación con las que es posible y necesario trabajar para auxiliar en la detección de restos humanos en contextos sumergidos de una manera científica, sistemática, y reproducible. Esta labor es también copartícipe del propósito de hacer de la arqueología una herramienta para ayudar a cerrar procesos profundamente dolorosos entre las familias que han sufrido pérdidas en el grave contexto actual de desapariciones forzadas en México. Se consideran como parte del análisis los siguientes elementos clave: 1) la necesidad de un desarrollo explícitamente teórico en arqueología que incorpora estrategias para la resolución de preguntas, como es el caso de la arqueología procesual; 2) el análisis de las alteraciones tafonómicas que afectarán a un cuerpo humano y que se presentan en el escenario de un contexto sumergido, y, 3) el desarrollo de una metodología de prospección que incorpora tecnologías de punta de lanza en la arqueología marítima contemporánea, con énfasis en instrumentación de posicionamiento, geofísica marina, fotogrametría, robótica y buceo técnico y científico.

Palabras clave | desapariciones forzadas | teoría arqueológica | arqueología marítima | geofísica marina | arqueología marítima forense.

Introducción

MÉXICO ATRAVIESA UNA CRISIS HUMANITARIA causada por la desaparición forzada de decenas de miles de sus habitantes. En la historia del país hay precedentes de este fenómeno desde la década de los años 60 (CNB 2022; Marcelo 2020; Vicente 2021), sin embargo, las desapariciones aumentaron drásticamente en el 2006, dentro del contexto de la llamada “guerra contra el narcotráfico”. El conflicto inició cuando, por mandato del expresidente Felipe Calderón, se organizaron operaciones militares para enfrentar grupos armados asociados con la producción y distribución de drogas. Sumado a este ambiente de violencia, se desataron luchas entre cárteles por el control territorial, provocando un estado de vulnerabilidad y extrema inseguridad para toda la población civil.

Los altísimos niveles de violencia han dado como resultado dolorosas pérdidas humanas en todas las escalas sociales, así como numerosas denuncias de personas cuyo paradero se desconoce. De acuerdo con el Registro Nacional de Personas Desaparecidas y No Localizadas (RNPDNO), desde el 2006 a la fecha, se han realizado 196,291 denuncias de personas desaparecidas, de las cuales aún no se localizan a 78,754 (CNB 2022). El impacto de este fenómeno ha afectado los 32 estados del país (figura 1), causando, sin duda, una dolorosa deuda histórica con las víctimas directas e indirectas de este conflicto.

Ante dicha emergencia nacional, las instituciones estatales y federales han quedado rebasadas. Encontrar el paradero de las personas ausentes, en un ambiente en el que todos los días se cometen delitos y se incrementa el número de desapariciones y muertes, es un reto sumamente complejo. Solo de 2018 a 2021,

Figura 1. Personas desaparecidas y no localizadas por entidad federativa. Periodo del 01/01/2006, 00:00 hrs. al 07/02/2022, 00:00 hrs.



Nota: Las entidades federativas con color de mayor intensidad indican un mayor número de registros de personas desaparecidas y no localizadas incorporados al RNPDO.

Fuente: CNB (2022).

se localizaron 1,749 fosas clandestinas con los restos de 3,025 personas (Secretaría de Gobernación 2021). Asimismo, desde el inicio de la crisis hasta el 2019, se encontraron 38,891 cuerpos que aún no han sido identificados (Tzuc 2020). Es posible suponer que las víctimas reportadas en el RNPDO, que aún no han sido localizadas, puedan encontrarse entre las personas fallecidas no identificadas o en fosas clandestinas que aún no han sido ubicadas.

Las estrategias metodológicas para enfrentar esta problemática han tenido que ajustarse de manera simultánea a las necesidades circunstanciales del país, por lo cual hay un espectro amplio de oportunidades para hacerlas más eficientes y precisas. En este sentido, la arqueología forense ha sido una herramienta teórica y metodológica fundamental para la afinación en los procesos de búsqueda en campo, de excavación y registro, así como con los análisis en laboratorios para la identificación, integración e interpretación de los datos recabados (Hernández y Escorcía 2015; Groen 2018; Schultz y Dupras 2008). Sin embargo, aún existen áreas poco exploradas. La gran mayoría de las contribuciones tienen sus objetivos centrados en las investigaciones en tierra, dejando de lado las búsquedas en medios acuáticos.

México es un país con grandes extensiones de agua. Sus litorales colindan con el océano Pacífico, Golfo de California, Golfo de México y el mar Caribe. Ade-

más, las cuencas de sus ríos principales fluyen por el 65% de la superficie territorial continental (Semarnat 2022). Eso sin contar las lagunas, presas, cenotes, manglares e incluso pozos y canales que desafortunadamente son medios propicios para ocultar los restos de víctimas de la violencia actual.

Hasta ahora, solo 18 estados de la república tienen información sobre hallazgos de cuerpos en contextos acuáticos, sumando 4,963 personas en 16 años (Magaña *et al.* 2023). A esta cifra, deben agregarse los registros ausentes de las otras demarcaciones estatales, considerando también la alta posibilidad de que existan más restos depositados sin que hayan sido encontrados. La localización de la gran mayoría ha sido principalmente por las declaraciones de los victimarios, o por condiciones fortuitas, como las corrientes que arrastran los restos hasta las costas o la flotación provocada por la naturaleza física de los cuerpos humanos. Los esfuerzos de búsqueda realizados principalmente por los familiares afectados, voluntarios u organizaciones civiles, han dado pocos resultados debido a las complicaciones particulares de estos ambientes (Álamo 2021; Villalobos 2022; Flores s.f.; Soto 2020).

Se sabe que un cuerpo humano enterrado en un lugar terrestre es afectado por los factores tafonómicos de su entorno, sin embargo, en un contexto sumergido las posibilidades de conservación disminuyen mucho más debido al comportamiento dinámico del medio que lo rodea (Ruffel *et al.* 2017). Además, las condiciones del tipo de agua (salada o dulce), las corrientes, la temperatura, la profundidad y la fauna son algunas de las variables que definen la preservación o descomposición de los cuerpos (Ribèreau-Gayon, Rando y Morgan 2018; Heaton *et al.* 2022; Van Daalen 2017; Palazzo *et al.* 2021). Asimismo, en un ambiente acuático, los restos sumergidos pueden sufrir modificaciones causadas por actividades antrópicas como la navegación constante, la explotación de recursos en el lecho marino, la construcción de infraestructura subacuática, los dragados, el uso de los cuerpos de agua para la eliminación inadecuada de basura y de otros desechos tóxicos que modifican las condiciones del ambiente, etcétera.

Las problemáticas que rodean la desaparición de personas en México, así como la búsqueda y recuperación de sus restos físicos, se multiplican al considerar la exploración de cuerpos de agua donde potencialmente se pueden encontrar evidencias de estas tragedias humanas. Si bien existen reportes de presas, ríos, lagos, lagunas y sectores marítimos que han sido empleados para deshacerse de los cuerpos de víctimas de desaparición, al tratarse de un medio ambiente de alta complejidad de acceso, se dificulta que estas zonas hayan sido atendidas con la misma intensidad y eficacia por grupos de búsqueda que cuando estos esfuerzos se realizan en contextos de tierra adentro. Sin embargo, esta dificultad no es sinónimo de imposibilidad.

Desde hace varias décadas la arqueología marítima ha venido adaptando y desarrollando una batería de métodos y técnicas para la búsqueda sistemática de una gran variedad de sitios arqueológicos que descansan en este tipo de contextos. Su aplicación razonada y adaptada al tipo, tamaño, procesos de transformación y condiciones tafonómicas de los restos en cuestión permite abrir un horizonte muy diferente a aquel en el que se procede sin una metodología científica y sin instrumentación adecuada y congruente con los avances técnicos contemporáneos. Mantenemos que por muy bien intencionados que estén los esfuerzos, sin los recursos teóricos, metodológicos y tecnológicos necesarios, sus resultados serán discretos, fortuitos, limitados y no reproducibles.

La detección, registro, recuperación y análisis de los restos humanos en medios acuáticos son desafíos que requieren instrumentos teóricos, metodológicos y técnicos muy específicos, así como de un equipo de especialistas altamente calificados. Cada una de estas etapas de investigación puede complejizarse, además, por los efectos que provocan las características físicas, químicas y biológicas de los entornos donde se depositaron los cuerpos. En este artículo, se plantea una propuesta metodológica, desde la arqueología marítima centrada en la localización, registro y recuperación de los restos de las posibles víctimas de desaparición en México depositadas en medios acuáticos.

En los últimos años, el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM ha venido desarrollando trabajos de investigación especializados en arqueología marítima, para lo cual se emplean equipos y metodologías dedicados al trabajo en contextos sumergidos. Estos métodos y equipos incluyen sistemas de detección remota operados mediante señales acústicas y magnéticas, sistemas de posicionamiento de alta precisión para poder regresar con toda certeza a cualquier punto geográfico con un margen de error menor a un metro, así como sistemas de registro videográfico, fotográfico y fotogramétrico en condiciones de visibilidad limitada, a través de los cuales se generan modelos digitales 3D con una resolución milimétrica, pudiéndose analizar tanto en campo o en laboratorio. Igualmente, el grupo de trabajo de esta área incluye académicos y colaboradores especialistas en buceo científico, técnico y de seguridad y rescate.

Si bien esta plataforma establecida en la UNAM es ya una poderosa herramienta para la investigación en arqueología marítima, de igual manera tiene un enorme potencial para la exploración forense en cuerpos de agua, aunque para este objetivo es necesario sumar algunos otros equipos específicos con los que aún no cuenta la universidad. Sin embargo, se ha avanzado en el desarrollo de una metodología enfocada en la localización de personas, que permita establecer la mejor combinación de equipos a emplear en cada caso, aumentando las oportunidades de hallazgo con la mayor precisión y con las mejores condiciones de seguridad para la recuperación de los restos. La propuesta considera tres aspectos

tos primordiales: 1) la naturaleza de los ambientes acuáticos; 2) las particularidades de los objetivos forenses tales como sus dimensiones (el tamaño de una persona es mucho menor al de los restos arqueológicos que comúnmente se estudian en la disciplina), y, 3) las posibles respuestas tafonómicas a los diferentes medios acuosos. Del mismo modo, se contemplan las necesidades para obtener un registro detallado y de muy alta definición de tal forma que sea útil para la identificación y análisis forense de las víctimas.

Aspectos teóricos sobre la arqueología que hacen pertinente su uso en la investigación forense

La arqueología marítima no solamente estudia la interacción humana con el mar, sino también con otros cuerpos de agua como ríos, lagos o lagunas. La relación humana con estos ambientes posee similitudes tales que enlazan las culturas a sus orillas y que los cruzan y habitan como parte de su cotidianidad.

Si bien en sus inicios formales la arqueología marítima se concentró esencialmente en el estudio de restos de barcos hundidos, la disciplina se ha diversificado ampliamente al menos en los últimos 30 años, cubriendo ahora, con mayor frecuencia también, restos de estructuras portuarias, campos de batalla náuticos, paisajes culturales sumergidos y maritorios, entre otros tipos de contexto.

Mucha de esta evidencia arqueológica no está necesariamente bajo el agua, como astilleros y talleres de construcción y reparación naval, estructuras que sirvieran como ayudas visuales a la navegación como faros, mojones, crómlechs y otra gran variedad de sitios tales como zonas de desembarco, estaciones balnearias, por mencionar algunas.

En el caso de una arqueología marítima forense, esta hace uso de métodos de análisis de las dinámicas del paisaje, para auxiliar en la delimitación de áreas de búsqueda de restos humanos depositados o arrojados a diversos tipos de cuerpos de agua, así como de su comportamiento después de su deposición. Igualmente, emplea métodos, técnicas y teorías de la observación procedentes de la geofísica marina y la robótica, que han tenido probado éxito en la localización y registro de restos arqueológicos sumergidos, pero adaptados a las particularidades de la huella acústica generada por la evidencia que se busca encontrar. Por último, a partir de protocolos de buceo técnico y científico, establece la recuperación sistemática de los restos, implementando un etiquetado, embalaje e izado de acuerdo con las condiciones de lo hallado.

Es evidente que este dramático fenómeno en términos explicativos de sus causas y efectos se podría abordar desde diferentes posturas teóricas, tanto desde la antropología como desde la arqueología. Sin embargo, esos alcances espe-

cíficos no se persiguen en este texto, sino que se limitan a los aspectos técnicos cuya efectividad de búsqueda, hallazgo y recuperación pueden ser mayores y más eficientes. Por lo tanto, nuestra postura de trabajo para este problema técnico específico se asocia con la arqueología procesual, cuyos alcances y claridad metodológica creemos pudieran orientar tanto el diseño de las búsquedas de personas desaparecidas como la selección de los métodos más adecuados, así como el despliegue técnico de la mejor práctica posible.

Resulta sorprendente que una discusión teórica tan propia de la arqueología sea fundamental actualmente, para justificar la aplicación eficaz de sus conocimientos en dos de los fenómenos más dramáticos de México hoy en día, a saber, la desaparición por acción directa del crimen organizado y la desaparición forzada.

En este sentido, consideramos, de acuerdo con la definición de Edward Ashby, que el registro arqueológico procesual desarrollado en el ámbito forense ofrece un conjunto de métodos y teorías de alto nivel en la recuperación de restos humanos, en ámbitos naturales de superficie y sumergidos en distintos cuerpos de agua y su evidencia cultural asociada dentro del proceso de identificación de una víctima (Ashby 2013).

Lejos aún de hacerse planteamientos sobre la posibilidad de apoyar las disciplinas forenses, entre las décadas de los años 70 y 90 del siglo XX, la arqueología mexicana centraba su debate teórico entre dos programas de investigación, de los cuales prevaleció aquel que defendía una arqueología oficial, con rutinas de investigación y trabajo, que cumplieran su deber en términos de la recuperación de grandes cantidades de vestigios materiales, en una lógica de excavar para recuperar el patrimonio arqueológico mexicano, para su protección y puesta en valor.¹

El segundo programa lo conformó un pequeño grupo de investigadores, quienes adoptaron los principios de la llamada arqueología procesual estadounidense, aparecida a principios de los años 60 en aquel país. Esta corriente teórica propuso problemas de investigación en torno a los fenómenos socioculturales del pasado, que daban origen a los procesos causantes de la singular formación de los depósitos arqueológicos y los problemas de conocimiento que para el arqueólogo ofrecían su peculiar condición dinámica (Binford 1964).

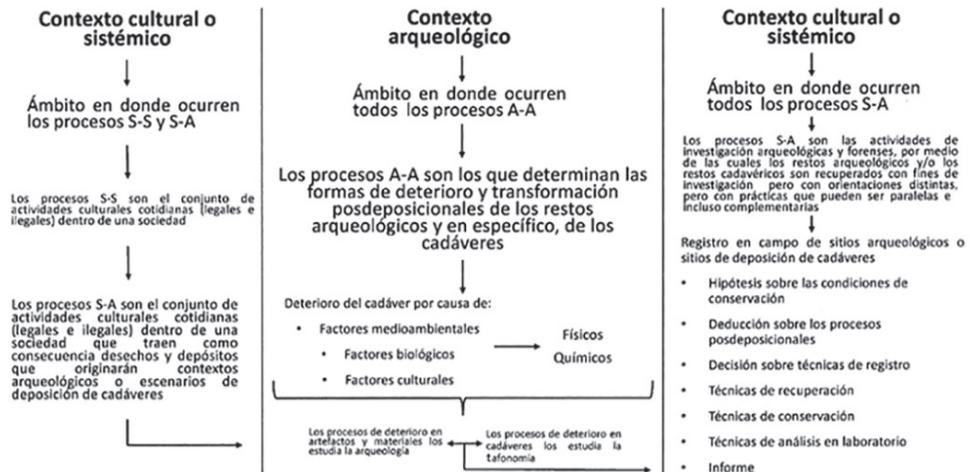
1 Entre 1972 y 1992, Manuel Gándara (1992) fue protagonista de la más importante discusión sobre la necesidad de generar un cambio teórico en la arqueología mexicana. Hacia 1997, Luis Vázquez León (Vázquez 2003) discute los problemas de organización teórica de la arqueología mexicana desde una perspectiva antropológica, y entre 2008 y 2015 la problemática toma un nuevo aliciente con los trabajos académicos de David Rettig (2008), Gustavo Sandoval (2012), Rodrigo Vilanova (2015) y Fernando Gómez Goyzueta (2015) sobre los problemas éticos, teóricos, epistemológicos y educativos que la arqueología mexicana arrastra desde los años 70. El equivalente a esta discusión, pero desde la arqueología marítima, son los trabajos de Jorge Herrera (2001 y 2008).

El gran aporte de esta escuela de pensamiento consistió en generar explicaciones pertinentes sobre el porqué y cómo ocurrían los procesos de formación de los depósitos arqueológicos; qué aspectos determinaban su transformación tras su deposición, y, qué problemas de conocimiento enfrentarían los arqueólogos al acercarse a un “contexto arqueológico” (Schiffer 1990). El contexto arqueológico es comprendido como un fenómeno que tiene una propiedad dinámica y que, además, es el resultado de un conjunto de acciones específicas, condicionadas por una conducta concreta que se produce en un contexto cultural singular (Schiffer 1976, 12). Un ejemplo que ayuda a aclarar esta idea es el siguiente: un individuo que camina en el bosque, rumbo a su cabaña, ha cazado un conejo durante el trayecto. Hambriento, elabora una pequeña fogata a base de piedras y madera que le permiten cocinar el conejo, destazado previamente con una piedra afilada por él. Tras haber cocido la carne del animal en la fogata, el hombre lo come y, posteriormente, se retira de aquel lugar, siguiendo su camino. Tras de sí, deja un conjunto de materiales, artefactos y restos orgánicos abandonados, los cuales, paulatinamente serán afectados por el medio ambiente cambiando su orden físico y sus condiciones químicas.

A este conjunto de acciones, secuenciadas y complejas, el arqueólogo Michael Schiffer lo denomina *contexto sistémico* (Schiffer 1990, 81). Resulta entonces que cada actividad humana implica un conjunto de acciones sistematizadas, trayendo como consecuencia procesos de desecho y deposición, en donde los materiales sufrirán el deterioro y transformación de sus cualidades originales a lo largo de un periodo indeterminado convirtiéndose en contexto arqueológico. Este conjunto sistematizado de actividades humanas, que constituyen el contexto sistémico, es representado por un diagrama de flujo (figura 2) que explica con claridad cómo tales actividades resultan o derivan en la formación de contextos arqueológicos que, a su vez, son recuperados en algún momento para su re inserción a un nuevo contexto sistémico. A esta secuencia de sucesos, Schiffer le llama procesos **S-S** (acciones dentro de un contexto cultural o sistémico), **S-A** (acciones dentro de un contexto cultural o sistémico de las cuales se derivan contextos arqueológicos), **A-A** (procesos de deterioro y transformación constante que sufren los contextos arqueológicos durante su tiempo de deposición mientras están enterrados), **A-S** (acciones por medio de las cuales un contexto arqueológico reingresa a un contexto cultural o sistémico) (Schiffer 1976, 11-13, 99, 107, 111, 125).

Luego de esta breve exposición sobre los aspectos teóricos que constituyen el programa de investigación de la arqueología procesual, se podrá dar cuenta de su capacidad predictiva y explicativa en torno a los hechos del pasado antiguo. Sin embargo, de manera simultánea, puede surgir la pregunta: ¿y para qué le sirve a la investigación forense la arqueología?, y, aún con más especificidad:

Figura 2. Diagrama general de contextos culturales o sistémicos que generan contextos arqueológicos y/o contextos de deposición de cadáveres.



Fuente: Elaboración propia, con base en la propuesta de Schiffer sobre formación de contextos arqueológicos (Schiffer 1976).

¿de qué manera puede la arqueología ayudar a la búsqueda de cuerpos en contextos de desaparición, los cuales, regularmente, son trabajados por científicos forenses?

La respuesta, en primera instancia, resulta muy interesante, pues las diferencias más importantes entre la recuperación de contextos arqueológicos y la recuperación de cuerpos por acciones de desaparición son fundamentalmente dos:

La primera diferencia tiene que ver con el tiempo que transcurre tras la acción de deposición final. Para el caso de los vestigios arqueológicos se asume, de manera general, que el tiempo transcurrido está dentro del rango de los centenares o miles de años, mientras que para el caso de los cuerpos depositados por causa de las desapariciones, se encuentra dentro del rango de algunos días y hasta algunas décadas.

La segunda diferencia es el marco jurídico que suscribe a ambos. El primero es un marco jurídico de orden federal, teniendo como función garantizar la recuperación, conservación y puesta en valor de los vestigios arqueológicos existentes dentro de México, por su importancia, en términos de su calidad como patrimonio histórico y cultural de la nación. Este marco figura en la “Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas” (1972), vigente hasta el día de hoy. El segundo marco jurídico, también de carácter federal, pero mucho más completo que el primero, está expresado en la “Ley General

en materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas” (2017), y es la base regulatoria de los protocolos de búsqueda para personas desaparecidas, determinados, a su vez, por las leyes locales y reglamentarias que sean derivadas de la ley general.

Un primer aspecto que la arqueología y la ciencia forense comparten, y que resulta básico para el desarrollo de su quehacer científico, es su objetivo cognitivo (Gándara 1993, 8). Ambas disciplinas se esfuerzan por ofrecer una explicación satisfactoria de las razones por las cuales el contexto que han hallado y registrado, fue encontrado de esa forma específica y qué acciones le pudieron haber dado origen.

Para lograr la aclaración de la serie de incógnitas que yacen detrás de cualquier depósito arqueológico o de cualquier cadáver depositado, ambas disciplinas pretenden explicar este hecho de manera causal. Es decir, por medio del uso de las preguntas de investigación del tipo ¿por qué? y ¿cómo?

Otro aspecto de gran importancia a compartir entre ambas disciplinas lo constituye su ámbito teórico-metodológico, constituido por aquellos procesos lógicos por medio de los cuales buscan obtener las respuestas más adecuadas para satisfacer las preguntas causales, guías de la investigación.

La guía proporcionada a la arqueología y a la ciencia forense por su marco teórico metodológico brinda la posibilidad de echar mano de las técnicas y tecnologías mejor consideradas para lograr la recuperación de la evidencia material y que ofrezcan, a su vez, la información significativa para lograr la explicación más acertada sobre el conjunto de actividades y procesos que dieron origen al yacimiento registrado.

Es en función de la predicción que se puede tomar de los factores cuantitativos y cualitativos que afectan los depósitos arqueológicos o de cuerpos, la decisión de manera metodológica, del proceso de registro y el uso de las técnicas y tecnologías más pertinentes para asegurar una adecuada recuperación y conservación de dichos restos y de la información que puedan ofrecer a nivel arqueológico o forense.

Cabe mencionar que, así como estas disciplinas comparten varios de los componentes que las constituyen como científicas, también comparten problemas teóricos y metodológicos (como sucede en todo ámbito científico) que no deben dejarse de lado, pues su planteamiento y discusión constituyen el mejor vehículo para su perfeccionamiento. De forma particular, nos referimos al problema existente entre los razonamientos inductivos resultantes de las prácticas empiristas; las representadas tanto en la arqueología tradicional de corte histórico cultural, como en las formas más estandarizadas del ejercicio de la ciencia forense institucional y la forma de razonamiento hipotético deductivo, practica-

da por la arqueología procesual y la disciplina forense desarrolladas bajo supuestos teóricos similares.²

Y es que, al momento de partir de una posición empirista, el uso de las técnicas de obtención de información queda sometido a un criterio estándar y generalizado, pudiéndose entender bajo la frase coloquial “vamos a realizar una búsqueda esperando encontrar algo importante”, o también, “vamos a excavar, a ver qué encontramos”.

Por otro lado, una posición deductiva como criterio base para el establecimiento de una estrategia de búsqueda ofrece una mayor solidez en la predicción de los posibles sitios de búsqueda y en las probables condiciones de los vestigios ahí depositados, pues se parte de un conjunto de hipótesis de rango medio que se establecen en torno a conductas que pueden originar los tipos de depósitos a buscar; y que a su vez determinan los procesos de deterioro y transformación que al final ofrecerán un nivel de información deseable por parte del investigador.

En función de estas predicciones, se puede echar mano de las mejores técnicas de búsqueda y recolección de información, asumiendo que este conjunto de decisiones, de tipo metodológico, ofrecerán un alto nivel de aceptabilidad al momento de contrastar las hipótesis que guiaron el trabajo de campo, sobre la posibilidad de existencia de tales depósitos y no solamente quedar a expensas de la buena fortuna cuando simplemente “se busca o se excava con la mera esperanza de encontrar algo”. Es importante mencionar que la arqueología procesual ofrece la posibilidad de pensar de una forma realista sobre la alta o baja probabilidad de realizar un hallazgo de restos corporales y, con ello, coadyuvar a una estrategia de búsqueda y registro más eficiente; pues aunque sea desalentador, una perspectiva analítica de este tipo evita agotar esfuerzos en los sitios en donde los trabajos muy probablemente no rendirían frutos, independientemente de las esperanzas y buenas voluntades que yacen detrás de una acción de búsqueda.

Lo que el modelo de la arqueología procesual muestra es que todo aquello que tras su desecho es depositado, y en varios casos enterrado, tiene como prin-

2 La discusión sobre las desventajas y errores epistemológicos que conlleva el abuso del método inductivo, respecto del método hipotético deductivo e incluso del nomológico deductivo, en su forma de correlacionar los referentes teóricos con sus correspondientes empíricos al momento de justificar el conocimiento de algún fenómeno estudiado desde la perspectiva científica, se centró en la esfera más alta del ámbito académico arqueológico, por lo menos en los últimos 20 años del siglo XX. Investigadores como Gándara (1992), López (1990) y Bate (1998) argumentaron largamente sobre la necesidad del cambio cualitativo de la arqueología inductiva (tradicional) a la arqueología deductiva en sus dos modalidades. Más allá del ámbito de esta disciplina, autores como Cerejido (2000), Chalmers (2000), Popper (1972) y Hempel (2021) discutieron de forma exhaustiva todos los puntos problemáticos de ambas posiciones en la justificación del conocimiento científico.

cipales enemigos las condiciones naturales y la línea del tiempo. El esquema de los procesos S-S, S-A y A-A, nos permite comprender claramente el hecho de que todos los restos materiales, aún los restos de cadáveres de víctimas, pueden, en algunos casos, estar en las condiciones ambientales idóneas para su conservación, como lo es un espacio anaeróbico, con poca luz y una temperatura baja. Sin embargo, también existe una alta posibilidad de sufrir los efectos una degradación a niveles que solamente nos permitirán encontrar restos óseos, restos artefactuales asociados directamente con la deposición y, en casos extremos, quizás solamente trazas químicas de su anterior existencia. También el esquema de los procesos A-S, nos permite afirmar que no necesariamente los restos pueden ser recuperados por forenses o arqueólogos o cualquier persona que haya decidido iniciar la búsqueda.

Este proceso indica, solamente, que los restos depositados pueden incluso ser también recuperados o removidos por los mismos delincuentes o por cualquier otra persona o actividad (la remoción de un terreno para la tan común hoy, construcción de conjuntos inmobiliarios) que dé como resultado la perturbación de los restos de una primera matriz deposicional, y al realizarse los procesos de búsqueda, por más científicos o sistematizados que puedan ser los trabajos, simplemente no ofrecerán el resultado esperado.

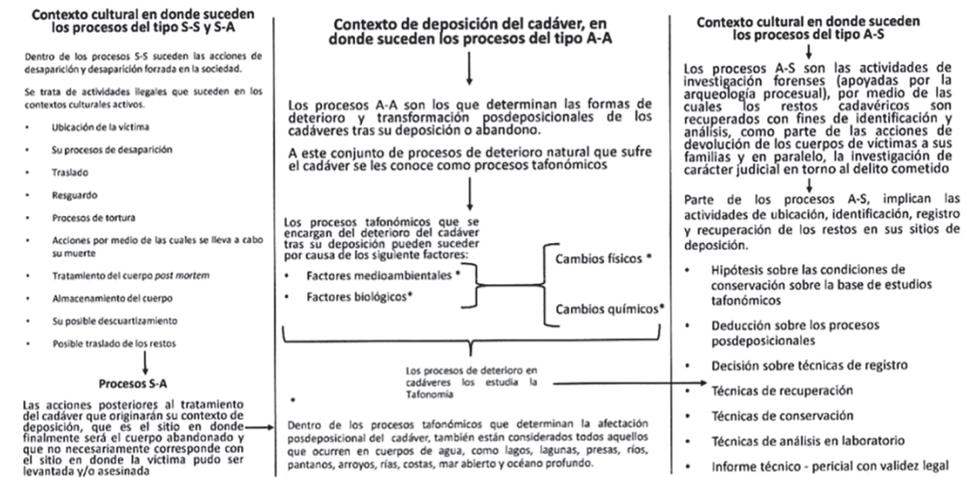
Sobre este conjunto de criterios, estamos ahora en posibilidades de presentar un segundo diagrama, explicando los mismos procesos, pero relacionados con las acciones del tratamiento de los cuerpos de personas que son abandonados, tras su muerte, como consecuencia de un acto de desaparición o desaparición forzada (figura 3).

Procesos tafonómicos y deterioro del cuerpo humano *postmortem*

Para el caso de México, ya en 1997 se iniciaron algunos trabajos de análisis sobre las formas de manipulación del cuerpo humano *postmortem*, bajo los principios de la arqueología procesual. La antropóloga alemana Vera Tiesler presentó, en el libro *El cuerpo humano y su tratamiento mortuario*, publicado por el INAH, en 1997, una propuesta para construir modelos inferenciales sobre el tema, planteando también hipótesis fuertes sobre los procesos *premortem* y *perimortem*, utilizando los esquemas S-S, S-A, A-A y A-S de Schiffer (Tiesler 1997, 77-90).

Sin embargo, aunque el uso que Tiesler hizo del esquema schifferiano ayudó a comprender de manera procesual la forma general de los procesos de afectación del cuerpo humano, su propuesta tiene dos limitantes. La primera consiste en que este modelo fue presentado para su aplicación en contextos arqueológicos (mucho más antiguos que fosas clandestinas, por ejemplo), por lo cual su uso para contextos contemporáneos tendría que realizarse con las precauciones

Figura 3. Diagrama general de contextos culturales que dan origen a contextos de deposición de cadáveres y su posterior proceso de deterioro.



Fuente: Elaboración propia, con base en la propuesta de Schiffer sobre formación de contextos arqueológicos (Schiffer 1976).

necesarias y seguramente adecuarse a los problemas forenses. La otra limitante de su propuesta es el alto nivel de generalidad de su modelo para todo el conjunto de procesos tafonómicos que pueden afectar un cuerpo en un contexto de deposición, dejando así una gran puerta abierta para la obtención de conocimiento sobre este conjunto de procesos y sus diferentes maneras de interacción con el cuerpo humano.

Sin embargo, para nuestra fortuna, el arqueólogo francés Henri Duday presentó, en el mismo libro donde Tiesler publicara su modelo, un interesante artículo titulado “Antropología biológica ‘de campo’, tafonomía y arqueología de la muerte”, donde habla de forma detallada sobre la necesidad de hacer uso de la tafonomía con la finalidad metodológica de poder distinguir las afectaciones naturales sufridas por un cadáver tras su deposición, de aquellas que fueron causadas por una acción humana intencionada, tanto la causante de la muerte, como la de depositar al cuerpo en su yacimiento final (Duday 1997, 91-126).

Lo que hace interesantes a estos dos artículos es su complementariedad, dando como resultado un modelo competente de inferencia y análisis de los yacimientos en donde se hallan restos humanos, permitiendo así una mejor identificación de estos y un registro más específico y preciso de todo el conjunto de afectaciones identificadas, proporcionando, de esta forma, una correcta interpretación del contexto mortuario, aunque en este caso se trate principalmente de hallazgos arqueológicos.

Las implicaciones que este tipo de esfuerzos científicos tiene para el terreno de la investigación forense son muy positivas y prometedoras, pues al utilizar un modelo dinámico de interpretación sobre los procesos de tratamiento del cuerpo que una víctima ha sufrido durante su muerte y posterior depósito, dan una gran oportunidad para la puesta en práctica de labores interdisciplinarias, al ofrecer alternativas de orientación cada vez más y mejores hacia la identificación eficaz de restos de personas que desafortunadamente fueron muertas y desaparecidas por causa de actos delictivos.

Ya desde su definición, la tafonomía ofrece una perspectiva dinámica en la observación de los fenómenos que sufren los cuerpos tras su muerte y deposición, pues tal disciplina enfoca su trabajo en “la comprensión de múltiples factores que juegan un papel en la desintegración y dispersión de un cuerpo y sus artefactos asociados, hasta que hayan sido ambientalmente reciclados e incorporados a la tierra, sus aguas, su aire, e incluso en sus habitantes” (Davis 1997, 14).

Siendo la disciplina que se encarga del estudio de las leyes de lo que está enterrado, la tafonomía comparte en su definición el punto de vista que la arqueología procesual tiene sobre el dinamismo de los contextos arqueológicos (o cuerpos humanos). Por lo cual, su uso como una teoría que nos habla sobre los procesos de transformación de un cuerpo enterrado (o incluso expuesto a la intemperie, o sumergido y sometido a procesos dinámicos, tanto naturales como culturales de sedimentación, es decir: deposición, transporte, sedimentación y redeposición) permite realizar acciones de observación y registro finos, en donde una simple búsqueda, basada en el sentido común y en la recopilación aleatoria de restos, solo obtiene información desordenada y poco útil para cumplir con el cometido de la acción forense.

La importancia de la tafonomía estriba en el hecho de tomar todo el conocimiento existente sobre los diferentes conjuntos de factores que afectan un cuerpo inerte en cualquier medio ambiente en el cual este yacza, de tal forma y permitiendo la posibilidad de diferenciar las afectaciones padecidas por agentes ambientales de aquellas sufridas por acciones culturales.

En esta misma línea de observación, la tafonomía brinda al investigador (científico forense, arqueólogo, etc.) los elementos para poder diferenciar, de manera cualitativa, los distintos factores ambientales que están afectando el cuerpo hallado y en qué medida lo están haciendo.

Es en función de la recopilación y organización sistemática que la tafonomía hace de este conocimiento a lo largo de su historia de actividad, que permite actualmente a la arqueología forense realizar modelos de predicción sobre las posibles condiciones de conservación que se esperan en la búsqueda de cuerpos y, como resultado de ello, establecer las estrategias y técnicas más adecuadas para asegurar una correcta recuperación de los restos, para, con ello, asegu-

rar la adquisición de información potencial que ayude en la identificación de la víctima.

Ya sea que se trate de zonas desérticas, zonas de tierras altas, zonas con abundancia de suelos ricos en materia orgánica, zonas selváticas, cuevas, regiones de deposición aluvial, o bien lechos marinos, fluviales o lacustres; la tafonomía ofrece, definitivamente, un enorme conocimiento sobre cómo opera el medio ambiente en la afectación de cuerpos y, sin duda alguna, permitirá desarrollar estrategias de búsqueda bien organizadas en la vastedad de esos territorios.

Tras esta exposición, centraremos nuestro interés específicamente en los procesos de deterioro y transformación que sufren aquellos cuerpos que se encuentran depositados en ambientes que transcurren bajo el agua, pues tales lugares son igualmente ricos en factores tafonómicos que, dependiendo de su naturaleza, actuarán de formas específicas en los restos ahí yacentes. Esto nos permite entender que no serán iguales sus dinámicas si se trata de lagunas, presas, arroyos, ríos caudalosos, pantanos, desembocaduras, costas templadas o el océano profundo.

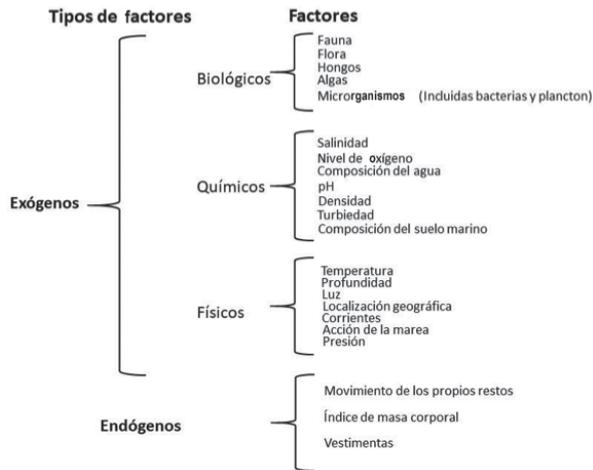
Factores como la temperatura, la masa de microorganismos, el tipo de fauna habitante, la vegetación y microvegetación existente, el tipo de sedimentos, la fuerza de las corrientes presentes, la salinidad del agua, su nivel de acidez e incluso el tipo y frecuencia de navegación que ocurre sobre y debajo de esos cuerpos de agua, nos ofrecen datos importantes permitiéndonos darnos cuenta de las posibilidades reales detentadas para poder recuperar un cuerpo, qué nivel de conservación se espera al momento de su recuperación, y qué tipo de alteraciones se esperan observar para diferenciarlas de aquellas que están relacionadas de manera causal con la muerte o con la preparación *postmortem* del cuerpo previo a ser descartado.

Un buen ejemplo de este nivel de sistematización en el conocimiento de los factores que influyen en la alteración y deterioro del cuerpo humano cuando yace inerte bajo el agua, lo ofrece la tabla de “factores endógenos y exógenos que generan impacto en los patrones y tasas de descomposición en restos humanos en ambientes marinos” (figura 4), que Ribéreau-Gayon, Rando y Morgan presentan en su artículo “Human remains in marine environments: challenges and future developments”, publicado en 2018.

En este texto, los autores consideran la existencia de dos grupos de factores fundamentales en el proceso de descomposición de los cuerpos humanos sumergidos, siendo los primeros externos al cadáver y los segundos de orden intrínseco (Ribéreau-Gayon *et al.* 2018, 133-134).

Según estos investigadores, al momento de realizar los estudios y análisis de los cuerpos recuperados de contextos acuáticos, es indispensable considerar todos estos factores de deterioro *postmortem*, para poder llegar a conclusiones forenses correctas en torno a las posibles causas de muerte.

Figura 4. Tabla de factores endógenos y exógenos causantes de impacto en los patrones y tasas de descomposición en restos humanos en ambientes marinos, según Ribéreau-Gayon *et al.*



Fuente: Elaboración propia con base en Ribéreau-Gayon *et al.* (2018).

Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que parte de las conclusiones del análisis forense deberían permitir la identificación de todos los procesos de tratamiento sufridos por el cuerpo antes de ser depositado en cualquier contexto bajo agua, así como discernir el hecho de que, tanto las lesiones causantes de la muerte como aquellas sucedidas posteriormente pueden ser consideradas como factores intrínsecos y determinantes de la descomposición específica del cadáver tras su abandono.

Finalmente, podemos considerar que la exposición de este modelo sistémico, basado en los principios de la arqueología procesual y la tafonomía, podrá ser de gran ayuda para predecir las posibilidades y condiciones para el hallazgo de cuerpos de víctimas de desaparición que yazcan sumergidos en distintos cuerpos acuáticos. La calidad explicativa del modelo expuesto aquí permitirá considerar, fundamentalmente, y con pertinencia, estos grandes criterios de investigación:

1. Que se trata de un sitio cuyas condiciones medioambientales permitirán la posibilidad de realizar hallazgos de restos y, por tal motivo, se podrá establecer una estrategia de búsqueda, registro y recuperación con el uso del tipo de técnicas y tecnologías adecuadas, para poder identificar con precisión y recuperar, con el menor riesgo de alteración, los posibles restos de los cuerpos de las víctimas que se están buscando.
2. Que es poco o nada probable que, en el sitio a estudiar, aún puedan existir restos que pudieran recuperarse. Por lo tanto, se debe pensar en cuántos

les serán entonces los lugares más adecuados para realizar las respectivas búsquedas y, entonces, replantear la estrategia para ubicar lugares con más potencial de hallazgo.

3. Si bien, como cualquier otro modelo de estudio científico, nuestra propuesta tiene limitaciones en el ámbito de la arqueología forense aplicada en cuerpos de agua, se considera que los aspectos del marco general son lo suficientemente robustos, como para ofrecer posibilidades de enriquecimiento teórico, y si en algún punto existe algún tipo de restricción o limitante de las posibilidades explicativas del modelo expuesto, esta se encuentre en la falta de información empírica en torno a las dinámicas de los procesos de deterioro y transformación *postmortem* que los cuerpos de desaparecidos presentan en los contextos sumergidos, ya sean de tipo léntico o lótico, así como en la diversidad de posibles situaciones de re-inserción a los contextos de tipo A-S-A o incluso A-A, donde los cuerpos han sido dispuestos para crear contextos sumergidos que, por su propia naturaleza ambiental, determinan complejas dinámicas de alteración, pudiendo iniciarse desde los mismo sitios de despojo, que cambiarán respecto de los sitios de deposición temporal, o incluso final, para, finalmente, en caso de tener éxito en su hallazgo, continuar con los procesos de alteración con acciones como su recuperación, almacenamiento, análisis forense y posible inhumación.
4. El modelo schifferiano de flujo, sobre los procesos de formación y transformación de depósitos arqueológicos aplicado a la problemática forense sobre la recuperación de cuerpos depositados en sitios sumergidos por causa de un fenómeno de desaparición y desaparición forzada, ofrece un importante potencial explicativo de comprensión sobre los periodos de continuidad, equilibrio estable, discontinuidad e inestabilidad de los restos físicos orgánicos y culturales, cuya dinámica de transformación está condicionada por factores antrópicos como detonantes y factores naturales de alteración, que fundamentalmente cuentan entre los procesos tafonómicos, cuya diversidad, multiplicidad, aparente aleatoriedad y complejidad los vuelve relativamente difíciles de medir para establecer parámetros.

Geofísica y arqueología marítima en contextos forenses

La primera dificultad para explorar un área sumergida donde se sospeche la presencia de restos de personas desaparecidas está determinada por la existencia misma de un cuerpo de agua observado desde la superficie. Sería tentador pensar que esta barrera se puede abatir plenamente mediante el mero empleo de

equipos de buceo y de buzos calificados recorriendo visualmente distintos sectores del área de interés. Esta puede ser una opción si se carece de otros recursos (metodológicos, tecnológicos, teóricos o cognitivos) pero está muy lejos de ser una solución óptima, por bien intencionado que sea el grupo de buzos en cuestión, al realizar su reconocimiento sectorial.

Dicha alternativa implica el empleo de métodos de búsqueda desarrollados en la arqueología náutica hace más de 50 o 60 años (Bass 1966; St. John Wilkes 1971 y 1975), consistentes en establecer patrones de búsqueda lineales, circulares, cuadrangulares o angulares. Estos patrones se trazan en el lecho del cuerpo de agua, mediante la colocación de cabos y boyas, permitiendo a los buzos seguir una serie de líneas guía mientras inspeccionan el fondo hasta donde su vista alcance. Aunque este método sigue siendo efectivo al ejecutarse correctamente, es un método limitado, incluso en condiciones ideales de poca profundidad y buena visibilidad.

Hay razones que se oponen a que esta sea una solución óptima. Por un lado, se depende de la visibilidad (condicionada por las características de turbidez del agua), del tiempo que pueda permanecer en el fondo (determinado por distintas variables del buceo como profundidad y temperatura). Implica, además, problemas de precisión si las condiciones de corriente y visibilidad en el fondo dificultan el trazado y el recorrido mismo y, también, supone una gran inversión de tiempo por cada metro cuadrado cubierto y la imposibilidad de asegurar un cubrimiento absoluto de dicha pequeña zona del fondo. Por otro lado, estando a seis décadas de distancia de la generación de esas estrategias, es necesario hacer uso de métodos y técnicas contemporáneas correspondientes con los conocimientos científicos desarrollados en ese lapso, y que ofrezcan soluciones acordes con la realidad actual de la ciencia y la técnica.

El principal componente de la batería de métodos y técnicas a emplearse dentro de una arqueología forense en contextos sumergidos, tiene que ver sin lugar a duda, con la posibilidad de ofrecer un trabajo sistemático, contrastable, objetivo, repetible, y que garantice una cobertura completa y realista de la superficie de prospección. Asimismo, dicha batería de métodos y técnicas debe permitir pronosticar, con un alto grado de precisión, el tiempo que será necesario para cubrir eficientemente, y por completo, una superficie sumergida de acuerdo con las condiciones de geomorfología del lecho, visibilidad, profundidad, corrientes, temperatura, turbidez y grado de contaminación.

Igualmente, un sistema confiable debe poder establecer cuál es el porcentaje de empalme en áreas de prospección contiguas, para garantizar que no queden zonas sin cubrir. Además, este sistema debe permitir manejar un grado de precisión espacial que asegure no solo la cobertura completa de las áreas de interés, sino la posibilidad de regresar a cualquier punto del lecho estudiado con una pre-

cisión submétrica; de modo que siempre sea posible inspeccionar un elemento en el fondo, ya sea de manera inmediata a la prospección o en cualquier momento en el futuro, independientemente de las dificultades impuestas por el medio (siendo, las principales, la profundidad, las corrientes, la visibilidad y el frío).

En las últimas décadas, la geofísica ha sido una disciplina de enorme utilidad para las investigaciones arqueológicas. Sus técnicas de prospección basadas en magnetismo, electromagnetismo y sismología han permitido evaluar el potencial de áreas de interés arqueológico, proyectando modelos digitales del subsuelo y determinando, de manera no invasiva, la existencia o ausencia de vestigios (Pecchi *et al.* 2021). Lo anterior permite ser más eficiente en la planificación de las excavaciones, tanto en términos científicos como administrativos y económicos. Sin embargo, aunque es cada vez más común el uso de estos métodos para la localización y recuperación de los restos materiales del pasado, aún existen áreas de aplicación poco exploradas en México, dada su complejidad y el difícil acceso a los equipos necesarios, como es el caso de los contextos arqueológicos sumergidos en cuerpos de agua.

La arqueología marítima se apoya en métodos de geofísica marina que miden el relieve y las estructuras de la corteza oceánica de la Tierra, además de algunas condiciones físicas del medio subacuático. Las aplicaciones de geofísica en arqueología marítima son múltiples tanto en temática como en técnica (Firth 2011; Herrera 2000 y 2001b; Plets *et al.* 2015; Quinn *et al.* 2002 y 2005), lo cual permite localizar y mapear restos de actividades humanas del pasado, así como sus materiales asociados, como pueden ser naufragios (Herrera *et al.* 2020), aeronaves (Scott y Gane 2015), o bien paleopaisajes (Faught y Fleming 2008), superficies que antes estuvieron sobre el nivel del mar y hoy están sumergidas, incluyendo restos de puertos y villas de la antigüedad, entre otros.

Una de las herramientas principales de la geofísica marina es el estudio del comportamiento de impulsos acústicos, resultando en la posibilidad de ubicar objetos o elaborar mapas del relieve del fondo. Por décadas, el equipo más común para prospecciones marinas ha sido el SONAR (sound navigation and ranging), del cual hay actualmente múltiples variantes (de barrido lateral, multihaz, sectorial, etc.). Los sonares emplean técnicas de acústica marina que utilizan las ondas de vibraciones mecánicas para transmitir y recibir información en el ambiente marino (Marage y Mori 2010, 14).

También se emplean métodos que miden las cualidades de alguna característica de los materiales que se encuentren en el fondo, como sus propiedades magnéticas. Por supuesto, todos los métodos aquí mencionados son aplicables en cuerpos de agua continentales, como ríos, lagos, lagunas, presas, entre otros. Estas técnicas son comúnmente utilizadas en levantamientos hidrográficos, auxiliares en la seguridad de la navegación, en la creación de cartas náuticas y en

la detección de riesgos geológicos. También se emplean en beneficio de diferentes objetivos tanto civiles (como la colocación y mantenimiento de cables o tuberías submarinas o de infraestructura; exploración sísmica, pesca, operaciones de dragado; actividades de exploración y perforación petrolera) o militares (localización de minas, obstrucciones y riesgos de navegación, etc.) (Hodges 2010).

En una prospección arqueológica en contextos sumergidos es necesario hacer uso de una combinación de equipos que brinde la escala y la resolución necesaria, para obtener una caracterización detallada del fondo marino y de rasgos relevantes de los restos que se encuentren en él, de manera que esta suma de instrumentos sea útil para la búsqueda y localización de contextos arqueológicos sumergidos, pudiendo ser estos naufragios, aeroplanos, estructuras inundadas tales como puertos, muelles, o restos de villas o pueblos, paleopaisajes, sitios prehistóricos (Faught y Flemming 2008) o, en el caso que nos ocupa, contextos forenses.

A partir de 2019, al interior del Instituto de Investigaciones Antropológicas (IIA) de la UNAM, hemos venido diseñando, armando y poniendo a punto, con distintos apoyos del Conacyt, de la Academia Británica y de la misma universidad, un sistema de prospección arqueológica basado en métodos y técnicas avanzadas de hidrografía, geofísica marina, geodesia y robótica. Este sistema ha sido planeado para tener aplicación en proyectos de arqueología marítima y con la versatilidad suficiente para ser empleado también en prospecciones y trabajos de registros forenses de muy alta definición en contextos sumergidos. Este sistema, llamado ESPADAS-UNAM, tiene sus antecedentes en uno anterior, diseñado y puesto en operación por el Dr. Jorge Herrera, con apoyo de arqueólogos del Submerged Resources Center del National Park Service de Estados Unidos, preparado y puesto en ejecución para la Subdirección de Arqueología Subacuática del INAH, durante la segunda mitad de los años 90 (Herrera 2000, 2001a y b).

Dicha plataforma fue bautizada por el Dr. Herrera como Equipos y Sistemas de la Plataforma de Adquisición de Datos Arqueológicos Sumergidos (ESPADAS). Es natural, entonces, que este segundo sistema, diseñado con influencia de los aprendizajes obtenidos durante la preparación del primer ESPADAS, e incluyendo por supuesto los avances científicos a nivel tanto teórico como técnico en arqueología marítima, hidrografía, geofísica, geodesia y robótica que han enriquecido estas disciplinas en los 25 años transcurridos desde el primer prototipo, sea ahora bautizado como ESPADAS-UNAM.

ESPADAS-UNAM no solo ha sido diseñado para dar servicio a proyectos relacionados con los aspectos marítimos de las culturas del pasado, sino, también, ha sido concebido como una herramienta completa para operaciones de búsqueda, documentación y rescate de restos de personas desaparecidas en contextos sumergidos. Naturalmente, esto ha implicado el trabajo necesario para pasar de

las escalas de búsqueda, visualización y análisis entre un objeto de dimensiones de varios o decenas de metros, como un naufragio, hasta el rasgo mucho más discreto de un cuerpo humano o, incluso, de solamente restos de él.

El sistema integra tanto los pasos necesarios a dar previamente a la operación de búsqueda (análisis espaciales y estratégicos) como los operativos, los de ejecución práctica de navegación y relevamiento geofísico, así como los posteriores, incluyendo postproceso de datos y determinación de sitios potenciales de hallazgo, ejecución de maniobras de buceo (en diversas categorías) o de robótica en los puntos de interés detectados y un registro arqueológico forense de alta definición. Además, ESPADAS-UNAM tiene la posibilidad de ser un puente de transferencia tecnológica en apoyo de instituciones gubernamentales o de la sociedad civil que puedan entrenarse y generar su propia infraestructura para cubrir las necesidades del país en materia de búsqueda de desaparecidos en estos contextos.

En su descripción más sencilla, ESPADAS-UNAM es una plataforma tanto analítica como práctica que implica el desarrollo de prospecciones de segmentos de lechos de mar, ríos, lagunas, etc., mediante equipos de posicionamiento y geofísica marina, con el fin de recopilar los datos necesarios del lecho, y analizarlos críticamente para establecer puntos donde potencialmente se encuentre evidencia relevante, arqueológica o forense, la cual es después registrada *in situ* directamente por los arqueólogos mediante operaciones de buceo especializado o mediante el despliegue de equipos sumergibles de robótica, dependiendo de las condiciones de seguridad, visibilidad y profundidad.

El ciclo completo implica el uso de una embarcación en la que se instala una batería de equipos que incluyen GPS diferencial (con precisión de 1-2 cm en tierra, la cual se degrada ligeramente sobre el agua debido a los movimientos de vaivén vertical, abatimiento, guiñada, cabeceo y escoramiento que sufre una embarcación), además de equipos de exploración acústica del lecho marino (ecsonda monohaz, sonar de barrido lateral y sonar multihaz).

Es importante señalar que otro componente de ESPADAS-UNAM es un sistema de navegación y captura de datos que se controla con la combinación del equipo de posicionamiento, de una estrategia de visión anticipada del relieve sobre el que se navega (para evitar una posible colisión de los equipos que se lleven al arrastre contra algún obstáculo que sobresalga del lecho de manera abrupta), y de una interfaz de navegación que permite seguir en el agua las líneas de rastreo con rumbos precisos. Una forma sencilla de explicar esta parte compleja del sistema es imaginar que la embarcación tiene que arar el fondo marino tal como lo haría un agricultor diligente con su tractor en su parcela. La gran diferencia es que la parcela es firme, no está en movimiento constante como la superficie del agua a la que se le suman corrientes, oleajes y vientos. Esto implica el empleo de

señales satelitales independientes del sistema regular de los GPS's, con lo cual se consigue mantener una posición geográfica en el mar de muy alta precisión. Implica también una capacitación particular del patrón de la embarcación.

Con los equipos y sistemas puestos en marcha, se peina el lecho y se recolecta una gran cantidad de datos que, con el apoyo de técnicas de generación y análisis de imágenes acústicas, se procesan y estudian a todo detalle a modo de crear gráficas tanto del relieve del fondo como de los elementos que se encuentran en él.

Lo anterior permite a los especialistas tener una colección de datos, para que dentro de los mismos, sea posible determinar cuáles rasgos pueden corresponder a la evidencia buscada. La creación de imágenes acústicas es un área disciplinar científica que estudia la generación y procesamiento de imágenes generadas por señales “en crudo” recibidas por un sistema acústico (Macovski 1979) y cuya aplicación no solo en geofísica, sino también en arqueología marítima, ha tenido un proceso de crecimiento en potencia y variabilidad de aplicaciones en las últimas décadas, además de haberse refinado de manera señalada en cuanto a su precisión y sus altos niveles de definición.

El elemento central del sistema de búsqueda es el estudio del sonido a través del agua mediante la aplicación de métodos acústicos en medios acuáticos, esencialmente a través de una combinación de diferentes tipos de sonares. El fenómeno físico principal que unifica esta tecnología es la transformación de un estrés mecánico (una onda acústica) en electricidad y viceversa (Marage y Mori 2010, 6). Una de las principales ventajas al emplear una variedad de equipos acústicos es que algunos nos permiten generar imágenes 2D del fondo (sonar de barrido lateral, por ejemplo), con niveles de definición y alcance suficientes para tener una primera idea de las características físicas del fondo, y de los objetos que yacen en él, mientras que con otros podemos crear mapas 3D a mayor detalle (equipos multihaz y sonares sectoriales), en áreas que hayan sido catalogadas como prioritarias luego de un primer barrido en 2D. La generación de modelos 3D del lecho marino y de los restos arqueológicos en él mediante métodos acústicos es un procedimiento cada vez más común en la arqueología marítima contemporánea internacional (Firth *et al.* 2019; Herrera *et al.* 2020).

La versatilidad en el uso del sonido a través del agua radica en el hecho de que una emisión acústica viaja por el medio, choca con un objeto (el fondo o un material que se encuentra en él) y regresa como eco al instrumento emisor, que lo registra de vuelta. La suma de numerosas emisiones acústicas (que nos dan miles de puntos en el espacio e interrelacionados entre ellos, reflejando la realidad de los materiales contra los que chocó el sonido) nos permite generar los mapas y modelos ya mencionados. La propagación de las ondas acústicas se ve influida por factores como la presión, temperatura y salinidad del agua, por lo

qual, para algunos de los equipos generadores de los modelos de mayor detalle y definición (como el sonar multihaz) es necesario añadir un perfilador de la velocidad del sonido, el cual permite corregir esas variaciones.

A diferencia de una inspección visual, que depende de la turbidez del agua, de la cantidad de luz presente, e incluso de la salud de la visión de la persona que la realice, una inspección acústica no se somete a estas limitaciones. Los sistemas de generación de imágenes acústicas trabajan con total eficiencia mucho más allá de los límites de visibilidad óptica. El rango de visibilidad de sistemas acústicos varía de acuerdo con las características del sensor empleado y de las frecuencias de las señales que use, lo cual puede ir desde altas (en el rango de cientos de kilohertzios), hasta muy bajas (unos pocos megahertzios), brindando la posibilidad de estudiar superficies que van desde los cientos de metros hasta unos cuantos centímetros (Trucco *et al.* 2002, 247).

ESPADAS-UNAM se compone de una serie de transductores (emisores de sonido que también pueden escuchar) e hidrófonos (receptores acústicos) que van montados directamente al casco de la embarcación, o bien se encuentran dentro del cuerpo de un torpedo que es remolcado a media agua por detrás del casco de la nave. Además, se incluyen equipos de procesamiento de las señales, manejadores de datos, equipos de posicionamiento de muy alta precisión, y un sistema de comunicación y control entre el personal que lo opera y las diferentes piezas de instrumentación. Además, el sistema incluye un vehículo de operación remota (ROV), esencialmente un robot sumergible, cuyo uso y características se discuten más adelante. El componente más importante de todo el sistema es el grupo de arqueólogos especializados no solo en arqueología marítima sino en hidrografía, geofísica, geodesia, buceo arqueológico y buceo técnico avanzado, quienes realizan tanto el trabajo de prospección como el de registro forense *in situ*. Al momento de entregar este artículo para dictamen, el sistema se encuentra en su última fase de integración y puesta a punto, en la cual se están realizando pruebas de calibración de algunos de sus componentes, así como experimentos para determinar su comportamiento en diferentes condiciones contextuales.

Registro arqueológico-forense directo

Una vez que mediante los equipos de geofísica se han determinado puntos en el lecho sumergido con potencial de representar restos humanos, debe iniciar la fase de verificación, registro e izado. Esta etapa implica también una cantidad de retos complejos que requieren tanto de un buen sistema de instrumentación como personal altamente especializado. Se mencionaron antes las dificultades implícitas en mantener una gran precisión geográfica al realizar la navegación, pero esta misma precisión debe mantenerse con respecto al fondo del lecho in-

vestigado, que puede estar a una profundidad considerable y tener varias corrientes en distintas direcciones a lo largo de la columna de agua.

El registro arqueológico-forense se realiza con la combinación de inspección directa sumada a la generación de modelos fotogramétricos 3D mediante el uso de fotografía digital y computadoras de alto desempeño. Por supuesto, el realizar una fotogrametría en un contexto sumergido implica enfrentar problemas ópticos que no se tienen en superficie, como efectos de refracción, turbidez, por mencionar algunos. Sin embargo, el sistema se beneficia de una metodología multicámara y multiangular que minimiza esos conflictos mediante la captura simultánea de numerosas imágenes a un mismo tiempo hacia un mismo objetivo, técnica desarrollada en Reino Unido por Pacheco-Ruiz y colaboradores (Pacheco-Ruiz *et al.* 2019). El resultado es un modelo digital 3D, escalado, pudiéndose analizar después a todo detalle en superficie así como alcanzar detalles de los restos a nivel submilimétrico.

De confirmarse el hallazgo, y una vez realizada la fotogrametría, se ha de proceder a las nada sencillas etapas de embalaje y etiquetado, así como del izado, el cual implica la combinación de métodos de buceo técnico de rescate y recuperación, en conjunto con metodologías de excavación e izado procedentes de la arqueología marítima. Estos pasos revisten un entramado crucial para evitar situaciones no deseadas, tales como contaminación de muestras. Ello supone un trabajo delicado de extracción de restos con posible poca solidez y estado avanzado de degradación, así que se aplican los mismos métodos de la arqueología marítima cuando se deben extraer materiales orgánicos en contextos saturados de agua, con la combinación de estructuras rígidas que protegerán los materiales en su camino a la superficie y en la posterior transición de la frontera de medio al romper el espejo del agua. Existe la posibilidad de que se dé la combinación no solo de buceo arqueológico y de rescate, sino también de profundidad y en condiciones de visibilidad limitada o nula, por lo cual la capacitación del equipo humano de trabajo ha requerido de distintas certificaciones de buceo avanzado y de mezclas de gases.

Todo ESPADAS-UNAM está vinculado con un sistema de información geográfico (SIG), dentro del cual se diseñan las estrategias de despliegue del equipo geofísico, pero también se le ha preparado para vaciar en él todos y cada uno de los registros arqueológicos realizados bajo el agua, conservando el mismo estándar de precisión a lo largo de todas las operaciones.

Extensión de las capacidades de ESPADAS-UNAM a través de un ROV

Cuando durante la fase de aproximación e inspección a los puntos de interés detectados durante la prospección marina se estime que hayan condiciones de ries-

go o de dificultad extrema para operaciones regulares de buceo, el ESPADAS está preparado para realizar exploraciones con un vehículo de operación remota (ROV, por sus siglas en inglés). Este equipo permite verificar visualmente los objetivos forenses y hacer una primera documentación fotográfica y de video, además de que en condiciones adversas ayuda a comprobar la seguridad del área antes del ingreso de un buzo para planificar de forma más eficiente las inmersiones de búsqueda, registro y recuperación.

Esta metodología ha sido aplicada exitosamente en distintos proyectos de arqueología marítima desde décadas atrás (Delgado *et al.* 2020; Gately 2013; Manders *et al.* 2021; Singh *et al.* 2000). Recientemente, también fue empleada en operaciones forenses de localización, registro y rescate como las de los accidentes aéreos de Yemenia y Air France, donde, con apoyo de un ROV, pudieron detectar y recuperar algunos restos de personas para su análisis e identificación (Commission d'Enquête 2013; Ribéreau-Gayon *et al.* 2018; SHOM 2009).

El IIA ha adquirido el modelo de ROV Revolution, fabricado por Deep Trekker. Su versatilidad permite que le sean agregadas cámaras fotográficas y de video de alta resolución, luces led, escala láser, herramientas de manipulación y toma de muestras, sonares y sensores de posicionamiento, entre otros, convirtiéndolo en una potente herramienta para explorar y coleccionar evidencia de manera rápida y precisa en cualquier contexto sumergido; incluso en aquellos con condiciones que presentan riesgos para los trabajos de buceo como grandes profundidades, corrientes, mareas, visibilidad nula, acceso limitado, etcétera.

El ROV se navega con ayuda de una línea de base ultra corta (USBL, por sus siglas en inglés) que funciona de manera similar a un GPS. El USBL es un método de posicionamiento acústico submarino que opera con un transceptor en la superficie recibiendo las señales de un transductor montado en el ROV. De esta forma, se obtiene su ubicación con un rango de error de 20 cm. Sin embargo, con el transceptor conectado a nuestro sistema DGPS y un *software* especializado, se puede hacer una corrección alcanzando una precisión de hasta 2 cm y visualizar la posición del ROV en tiempo real a través de una pantalla de interfaz. Esto brinda mayor certeza para los trayectos de un punto a otro y una alta fiabilidad en el registro.

En los medios acuáticos donde los sedimentos suspendidos provocan visibilidad nula, las imágenes que proyecta la cámara del ROV no son suficientes para desplazarse y localizar el objetivo. Se conoce la posición por medio del USBL, pero no se advierten las condiciones del entorno que lo rodea, lo cual pondría en riesgo de colisión al equipo si hubiera obstáculos, además de que los registros de video y fotografía serían poco o nada útiles. Para solventarlo, es necesario complementar la navegación con un sonar portátil de modo que se obtengan imágenes acústicas que no se verán afectadas por las partículas de los sedimen-

tos. Además, montar un sensor de este tipo en el ROV posibilita generar imágenes acústicas a corta distancia del objetivo, pudiendo desplazar y operar el ROV en cualquier sitio de interés en una operación de recuperación donde no sea recomendable que se realice una inmersión de buceo.

La combinación de los equipos fotográficos, acústicos y de posicionamiento montados en un solo dispositivo es sumamente útil para la producción de modelos 3D, que permitan reconstruir los restos de evidencias antes de cualquier alteración. Por otro lado, el uso de este equipo es igualmente una ventaja ante las limitantes temporales de las inmersiones, cuyo número de minutos, depende de las particularidades del contexto (profundidad y temperatura, principalmente), y de los protocolos de seguridad que se establezcan. El vehículo puede mantenerse sumergido hasta por seis horas continuas, lo cual posibilita abarcar áreas más extensas en menor tiempo y costo. Además, su uso disminuye la realización de buceos repetitivos (con el ahorro del tiempo que demanda la realización de los intervalos de superficie obligatorios entre buceo y buceo, lo cual se agudiza en buceos profundos). De este modo, los trabajos de buceo serán de mayor provecho para tareas específicas de registro y recuperación.

Limitaciones actuales y potenciales del sistema

ESPADAS-UNAM es, en este momento, un sistema de punta de lanza en Iberoamérica para investigaciones de arqueología marítima, con adaptabilidad y versatilidad para ser empleado en operaciones de búsqueda y recuperación en una aplicación de arqueología forense en contextos sumergidos, pues fue diseñado con este doble objetivo. Sin embargo, aún tiene limitantes, las cuales caen en dos áreas.

Por un lado, al considerar los procesos schifferianos A-A, discutidos con anterioridad (procesos de deterioro y transformación constante que sufren los contextos arqueológicos durante su tiempo de deposición), así como las circunstancias actuales del país en las que desafortunadamente los hallazgos no son de manera inmediata o cercana al tiempo de desaparición, sabemos que existe la posibilidad de que no se encuentren restos en un área (donde se esperaría que los hubiese), debido a su degradación bajo el efecto de las condiciones de tafonomía, de las corrientes que pueden arrastrar los materiales, o de las tasas de sedimentación del lugar, que pueden ocultar los restos bajo fangos, lodos o arenas. Es decir, los factores que influyen en la degradación y posible movimiento de restos humanos en un cuerpo de agua pueden hacer que los materiales deriven desde su sitio de deposición inicial hasta terminar en un sitio más adelante del caudal y/o en un área de mayor profundidad debido a las pendientes e irregularidades del lecho.

Por otro lado, existe también la posibilidad de detectar zonas de potenciales hallazgos en contextos que sean riesgosos para una revisión directa por buzos y para las cuales el ROV del ESPADAS-UNAM no sea suficiente. Esto último puede ser efecto de la profundidad, de corrientes intensas, de baja temperatura, de visibilidad óptica nula, por la presencia de tóxicos en el agua que pongan en riesgo a los buzos, por mencionar algunas variables.

No obstante, para el caso de los efectos de arrastre y de sedimentación, es posible añadir otras herramientas al sistema que nos permitan paliar esos problemas. Por un lado, se pueden sumar metodologías de generación de modelos matemáticos con apoyo de extensiones SIG que analicen batimetrías, flujos de torrente y las características sedimentarias de un contexto sumergido, como por ejemplo, el lecho de un río. Lo anterior puede, además, sumarse a la generación de modelos de simulación multiagente, cuyos resultados en diversos casos en arqueología no son solo una novedad metodológica con apoyo de ciencias de la computación, sino que son exitosos (Romanowska *et al.* 2021; Wurzer *et al.* 2015). Estos modelos (cuyo origen teórico se ancla en las ciencias y teoría de la complejidad), se generarían para realizar cálculos de potencia y variabilidad de corrientes y arrastre y dispersión de restos (lo cual implica inversión tanto en equipo como en personal y capacitación), para permitir generar modelos predictivos de movilidad de los restos de acuerdo con las condiciones y complejidad del cuerpo de agua y el relieve de su fondo. También se puede sumar nuevo instrumental, tal como perfiladores del lecho marino de muy baja frecuencia que permitan estudiar las diferentes capas de subsuelos marinos, lacustres o ribereños, ampliando la posibilidad de reforzar no solo los modelos predictivos sino el análisis de sustratos alterados por agencia humana.

Para el caso de una posible inaccesibilidad al sitio de interés, hay que considerar que ESPADAS-UNAM se ha diseñado e integrado como una herramienta modular escalable, a la que se le pueden sumar otros tipos de sensores que actuarían en conjunción con la base ya existente. En tal caso, estaríamos hablando de la suma de sonares sectoriales, de sonares multihaz portátiles (adaptables al equipo de un buzo o a la estructura de un ROV), de sensores paramétricos (para realizar análisis de química del agua y determinar la cercanía de restos orgánicos en descomposición), entre otras posibilidades, que ampliarían las expectativas de éxito en cada operación, tanto en la prospección geofísica como en la operación de registro y recuperación de los restos. También sería posible considerar la implementación de otro modelo de ROV con capacidades de maniobra, de profundidad o de manipulación de artefactos o de tomas de muestras, distintas a las que ya son parte del sistema, de modo que, al igual que con las técnicas geofísicas, se complementen de acuerdo con las complejidades de la maniobra a encarar.

Conclusiones

La arqueología procesual ofrece herramientas teóricas y metodológicas para poder hacer planteamientos sobre la existencia de posibles yacimientos con cualidades específicas que determinarán los diferentes niveles de conservación de restos humanos y, en función de ello, poder predecir escenarios que serán o no favorables para la búsqueda e identificación de restos humanos, haciendo eficientes, por tal razón, los procesos de búsqueda y registro.

Asimismo, las estrategias de la arqueología procesual permiten establecer relaciones lógicas y causales entre las formas y niveles de deterioro de los restos hallados y las maneras de tratamiento previo que determinaron su deposición final, a partir de la identificación de su yacimiento y de cualquier sitio forense que, en general, haya sido generado por el mismo tipo de acciones, independientemente de sus particularidades.

La integración de las estrategias de investigación de la arqueología procesual marítima y la tafonomía permitirá la realización de un registro exhaustivo, ordenado y pertinente de los yacimientos con restos humanos, garantizando así la conservación de los datos que, posteriormente, se analizarán en los diversos laboratorios forenses tras el proceso de hallazgo, registro y levantamiento.

Una correcta estrategia de investigación arqueológica, para el caso de restos sumergidos, garantiza un alto nivel de pertinencia en la toma de decisiones en torno al conjunto de técnicas y tecnologías de registro que deberán utilizarse en cada caso, pues sus capacidades de deducción serán las necesarias para justificar procesos adecuados de registro, de acuerdo con la naturaleza de cada escenario, revirtiendo así las prácticas que se condicionan por el uso de protocolos y técnicas estandarizadas, las cuales contribuyen, en la cotidianidad, irónicamente, más a la pérdida de información por un registro deficiente que al registro correcto de yacimientos con presencia de restos humanos.

Esta es una ventaja proporcionada por la arqueología procesual marítima, al apuntar hacia la renovación de los protocolos de registro forense convencionales, muchas veces realizados por personal con formaciones distintas a la arqueología, a la antropología física y a la antropología forense, y adscritos a esquemas de trabajo que son regulados por una estructura legislativa que, en términos de su ejercicio real, es insuficiente e ineficiente.

Las estrategias de registro y recolección de información forense, sobre la base de esta perspectiva arqueológica, garantizan un tratamiento riguroso y sistemático del cuerpo humano, de los artefactos asociados a él y de sus diferentes contextos, ofreciendo pautas para incrementar las posibilidades de identificación y registro de los restos de víctimas desaparecidas, al permitir un nivel fino de observación en campo, gracias a su capacidad técnica para diferenciar y registrar las afectaciones por causa de factores tafonómicos, brindando datos rele-

vantes para la identificación de cuerpos de víctimas como parte del proceso general que implica la investigación forense de restos humanos sumergidos.

El sistema, metodologías y ruta de pensamiento crítico expuestos aquí dan cuenta de la existencia de las posibilidades de acción real, basada en avances teóricos, científicos y técnicos que se encuentran en el país. Hemos procurado demostrar que para realizar búsquedas de personas desaparecidas en contextos sumergidos se puede seguir una metodología de trabajo basada tanto en la reflexión teórica como técnica, incorporando una ruta de pensamiento crítico acerca del problema de la deposición, dispersión y desintegración de un cuerpo, pero ofreciendo, a la vez, una estrategia y una metodología basadas en los avances científicos de punta de lanza al alcance de la arqueología marítima al servicio de la arqueología forense.

La aplicación de los procesos, análisis, métodos y técnicas aquí presentados no pueden garantizar el hallazgo y recuperación de los cuerpos buscados, dadas las características de los procesos tafonómicos discutidos, y dado el rango de azar e indeterminación que puede existir en la señalización de un cuerpo de agua como el sitio final de deposición de una persona en particular. Sin embargo, lo aquí discutido es lo que, desde nuestro mejor compromiso profesional de décadas de experiencia en la arqueología y más específicamente en la prospección sistemática de contextos arqueológicos sumergidos, consideramos como la ruta más eficiente y con mayores posibilidades de éxito.

Toda ayuda en materia de ubicación de restos de víctimas de desaparición forzada que provenga de otras geografías o instituciones internacionales debería ser bien recibida en México, pues las deudas morales, éticas y sociales que implica el problema de la desaparición forzada no se resarcirán ni fácil ni rápidamente. Pero también es importante que las instituciones nacionales miren hacia las acciones realizadas por académicos con la formación profesional y técnica necesaria para auxiliar en este problema de escala nacional, y que se encuentran aquí, entre su misma población.

Como nota final, los autores deseamos expresar nuestro apoyo y admiración hacia todas las personas, colectivos e instituciones que aportan importantes piezas para generar un recuento minucioso del dolor, y que tratan de hacerlo disminuir a través de la identificación y entrega de los restos de personas desaparecidas a sus familias. Estas personas y grupos, en su generosidad y esfuerzo, ayudan a cerrar cicatrices y a limitar la infamia que muchos otros pretenden ocultar bajo el silencio. **ID**

Referencias

Ashby, Edward. 2013. Archeological approaches to forensic casework in New Zea-

- land. Review and future directions. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 45(1): 25-35. <https://doi.org/10.1080/00450618.2012.729610>.
- Barone, Pier Matteo y W. J. Mike Groen (eds.). 2018. *Multidisciplinary approaches to forensic archaeology. Topics discussed during the European meetings on forensic archaeology (EMFA)*. Switzerland: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94397-8>.
- Bate Petersen, Luis Felipe. 1998. *El proceso de investigación en arqueología*. Barcelona: Crítica.
- Binford, Lewis R. 1962. Archaeology as anthropology. *American Antiquity*, 2(28): 217-225.
- Binford, Lewis R. 1964. A consideration of archaeological research design. *American antiquity*, 4(29): 425-441.
- Binford, Lewis R. 1972. *An archaeological perspective*. Nueva York y Londres: Seminar press.
- Binford, Lewis R. 1991. *En busca del pasado. Descifrando el registro arqueológico*. Barcelona: Crítica.
- Blondel, P. 2009. *The handbook of sidescan sonar*. Heidelberg: Springer.
- Cerejido, Marcelino. 2000. *Ciencia sin seso. Locura doble*. Ciudad de México: Siglo XXI.
- Chalmers, Alan F. 2000. *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Madrid: Siglo XXI.
- Commission d'Enquête. 2013. Rapport final sur l'accident survenu le 29 juin 2009 en Mer Aularge de Moroni (Comores) de l' Airbus A310-324, immatriculé 7O-ADJ exploité par la compagnie Yemenia Airways. www.bea.aero/docspa/2009/7o-j090629/pdf/7o-j090629.pdf. (Consultado, julio 14, 2022).
- Davis, Joseph H. 1997. Preface. En *Forensic taphonomy. The postmortem fate of human remains*. Boston, Londres, Nueva York, Washington D.C.: CRC Press, 14-15.
- Dean, Martin, Ben Ferrari, Ian Oxley, Mark Redknap y Kit Watson. 1992. *Archaeology underwater: NAS guide to principles and practice*. UK: Nautical Archaeology Society.
- Delgado, J. P., Schwemmer, R.V. y Brennan, M. L. 2020. Shipwrecks and the maritime cultural landscape of the Gulf of the Farallones. *Journal of Maritime Archeology*, 15: 131-163. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/s11457-020-09254-0>. (Consultado, julio 14, 2022).
- Duday, Henri. 1997. Antropología biológica 'de campo', tafonomía y arqueología de la muerte. En Elsa Malvido, Grégory Pereira y Vera Tiesler (coords.), *El cuerpo humano y su tratamiento mortuario*. Ciudad de México: INAH-CEMCA, 91-126.
- Faught, M. K. y Fleming, N. 2008. Submerged prehistoric sites: "Needles in haystacks for CRMs and industry". *Sea Technology*, 49(10): 37-42.

- Firth, A. 2011. Marine geophysics: integrated approaches to sensing the seabed. *Occasional Bruselas: Publication of the Aerial Archaeology Research Group*, 3:129-140.
- Firth, A., Bedford, J. y Andrews, D. 2019. HMS Falmouth: 3D visualization of a First World War shipwreck. En McCarthy, J., Benjamin, J., Winton, T. y Van Duivenvoorde, W. (eds.), *3D recording and interpretation for maritime archaeology*. Cham: Springer, 187-196. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03635-5_12.
- Flannery, Kent V. 1976. *The early mesoamerican village*. Nueva York: Academic Press.
- Gándara Vázquez, Manuel. 1992. *La arqueología oficial mexicana. Causas y efectos*. Ciudad de México: INAH.
- Gándara Vázquez, Manuel. 1993. El análisis de posiciones teóricas: aplicaciones a la arqueología social. *Boletín de Antropología Americana*, 27: 5-20.
- Gately, Iain. 2013. Exploring the potential for the archaeological application of remotely operated underwater vehicles (ROVs) in the Australian context. *The Journal of the Australasian Institute for Maritime Archaeology*, 37: 26-32. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.741538912711800>. (Consultado, julio 14, 2022).
- Gómez Goyzueta, Fernando. 2015. *La arqueología mexicana. Historia de una tradición científica y sus prácticas de investigación. El caso de Tula, Hidalgo, entre 1940 y 2000*. Tesis doctoral. Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Hanumant Singh, Jonathan Adams, David Mindell y Brendan Foley. 2000. Imaging underwater for archaeology. *Journal of Field Archaeology*, 27(3): 319-328. <https://doi.org/10.1179/jfa.2000.27.3.3>.
- Hempel, Carl. 2021. *Filosofía de la ciencia natural*. Madrid: Alianza.
- Herrera Tovar, J. M. 2000. Remote sensing surveys in underwater archaeology. *Antropología y Técnica*, 6: 31-40.
- Herrera Tovar, J. M. 2001a. Desnaufragando historias. Antropología y arqueología marítimas en tres accidentes navales en la Sonda de Campeche. *Amerística*, 4(6):67-129.
- Herrera Tovar, J. M. 2001b. El uso de sistemas de información geográfica e instrumentos de detección remota en la arqueología subacuática mexicana. Su empleo desde una perspectiva antropológica. En Roffiel R. M. y Luna, P. (eds.), *Memorias del Congreso Científico de Arqueología Subacuática ICOMOS*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, 171-179.
- Herrera Tovar, J. M. 2001c. *El navegante complejo. Antropología, complejidad, sensoramiento remoto y SIG en la arqueología marítima*. Tesis de licenciatura en arqueología. Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Herrera Tovar, J. M. 2008. *The reflexive navigator. Theory and directions in mari-*

- time archaeology*. Tesis doctoral. Universidad de Southampton.
- Herrera, J. M., Jiménez, P., Pacheco Ruiz, R., Blancas, J., Ortiz Butrón, A., Barba, L., Vega Sánchez, R., Arenas Cruz, M., Mata, D., Castillo Pérez, E., Ortiz Nieto, D. A., Rodríguez, E. S. y Martínez, G. 2020. La memoria anfibia: arqueología marítima de la guerra entre México y Estados Unidos, 1846-1848. En C. G. Landa y O. Hernández de Lara (eds.), *Arqueología en campos de batalla: América Latina en perspectiva*. Buenos Aires: Aspha Ediciones, 63-116.
- Hodges, R. P. 2010. *Underwater acoustics: analysis, design, and performance of sonar*. Chichester: Wiley.
- López Aguilar, Fernando. 1990. *Elementos para una construcción teórica en arqueología*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Macovski, A. 1979. Ultrasonic imaging using arrays. *Proceedings of the IEEE*, 4(67): 484-495. <https://doi.org/10.1109/PROC.1979.11278>.
- Manders, M. R., De Hoop, R.W., Adhityatama, S. *et al.* 2021. Battle of the Java Sea: One event, multiple sites, values and views. *Journal of Maritime Archeology*, 16: 39-56. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/s11457-020-09287-5>. (Consultado, julio 14, 2022).
- Marage J. P. y Mori, Y. 2010. *Sonar and underwater acoustics*. Londres: Wiley.
- Mendoza, Alejandro, García, Sandra, Magaña, Karla. S. f. *Bajo el Lirio*. <https://ruidoenlared.com/especiales/>. (Consultado, mayo 26, 2022).
- Pacheco-Ruiz, R., Adams, J. y Pedrotti, F. 2018. 4D modelling of low visibility underwater archaeological excavation using multi-source photogrammetry in the Bulgarian Black Sea. *Journal of Archaeological Science*, 100: 120-129.
- Pecci, Alessandra, Moragas Segura, Natalia, Barba, Luis, Ortiz, Agustín, Blancas, Jorge. 2021. Proyecto interdisciplinario para la localización de un centro de barrio en Teotihuacan, México. *Informes y Trabajos. Excavaciones en el Exterior*, s/n: 106-123. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30952.75528>.
- Plets, R., Dix, J. y Bates, R. 2015. *Marine geophysics data acquisition, processing and interpretation*. Swindon: English Heritage.
- Popper, Karl. 1972. *Conjeturas y refutaciones. El desarrollo del conocimiento científico*. Barcelona: Paidós.
- Quinn, R., Breen, C., Forsythe, W., Barton, K., Rooney, S. y O'Hara, D. 2002. Integrated geophysical surveys of the French frigate La Surveillante (1797), Bantry Bay, Co. Cork, Ireland. *Journal of Archaeological Science*, 4(29): 413-422.
- Quinn, R., Dean, M. Lawrence, M., Liscoe, S. y Boland, D. 2005. Backscatter responses and resolution considerations in archaeological side-scan sonar surveys: a control experiment. *Journal of Archaeological Science*, 8(32): 1252-1264.
- Ramón, Andrés, Barba, Luis, Ortiz, Agustín, Blancas, Jorge. 2019. Geophysical

- prospection at the formative site of altica in the Teotihuacan valley piedmont. *Ancient Mesoamerica*, 30: 267-278. DOI: 10.1017/S0956536118000378.
- Rettig Hinojosa, David. 2008. *Los planes de estudio de arqueología en la Escuela Nacional de Antropología e Historia y sus transformaciones (1964-2006): una reflexión sobre la nueva propuesta curricular*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ribéreau-Gayon, Agathe, Carolin Rando y Ruth M. Morgan. 2018. Human remains in marine environments: Challenges and future developments. En Pier Matteo Barone y W. J. Mike Groen (eds.), *Multidisciplinary approaches to forensic archaeology. Topics discussed during the European meetings on forensic archaeology (EMFA)*. Switzerland: Springer, 131-154. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94397-8>.
- Romanowska, I., Wren, C. Crabtree, S. (eds.). 2021. *Agent-based modeling for archaeology: simulating the complexity of societies*. Santa Fe: Institute Press.
- Sandoval García, Gustavo. 2012. *Evidencia y justificación en la investigación de fenómenos del pasado. Una perspectiva arqueológica*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Schiffer, Michael B. 1976. *Behavioral archaeology*. Nueva York: Academic press.
- Schiffer, Michael B. 1990. Contexto arqueológico y contexto sistémico. *Boletín de Antropología Americana*, 22: 81-93.
- Schiffer, Michael B. 1991a. *Formation processes of the archaeological record*. Albuquerque: University of New Mexico Press.
- Schiffer, Michael B. 1991b. Los procesos de formación del registro arqueológico. *Boletín de Antropología Americana*, 23: 39-45.
- Scott, G. y Gane, T. 2015. Aviation archaeology offshore: the recovery of a rare Ju88 aircraft wreck during work for the New London gateway port. *Journal of Conflict Archaeology*, 10(2): 75-95.
- SHOM. 2009. Soutien du SHOM au BEA recherche de l'A330-200 AF447. www.bea.aero/fileadmin/documents/enquetes/vol.af.447/shom.050609.pdf. (Consultado, julio 14, 2022).
- St. John Wilkes, B. 1971. *Nautical archaeology*. Nueva York: Stein and Day.
- St. John Wilkes, B. 1975. *The handbook of underwater exploration*. Nueva York: Stein and Day.
- Tiesler Blos, Vera. 1997. El esqueleto muerto y vivo. Algunas consideraciones para la evaluación de los restos humanos como parte del contexto arqueológico. En Elsa Malvido, Grégory Pereira y Vera Tiesler (coords.), *El cuerpo humano y su tratamiento mortuario*. Ciudad de México: INAH-CEMCA, 77-90.
- Tzuc, Efraín. 2020. Así obtuvimos los datos de la #CrisisForense en México. *Quinto Elemento Lab*. <https://quintoelab.org/crisisforense/como-hicimos-crisis-forense/>. (Consultado, agosto 26, 2022).

- Vázquez León, Luis. 2003. *El leviatán arqueológico. Antropología de una tradición científica en México*. Ciudad de México: Porrúa.
- Vilanova de Allende, Rodrigo. 2015. *Ética y arqueología en México*. Tesis doctoral. Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Wurzer, R., Kowarik, K., Reschreiter, H. (eds.). 2015. *Agent-based modeling and simulation in archaeology*. Nueva York: Springer.

Leyes

- Ley federal de monumentos y zonas arqueológicos, artísticos e históricos*. 1972. Ciudad de México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- Ley general en materia de desaparición forzada de personas, desaparición cometida por particulares y del sistema nacional de búsqueda de personas*. 2017. Ciudad de México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.