



Departamento de  
Geografía e Historia  
Universidad de La Laguna

AÑO ACADÉMICO 2018-2019

**ANÁLISIS  
FUNCIONAL  
DE LOS  
INSTRUMENTOS  
LÍTICOS DE  
SÍLEX**

TRABAJO REALIZADO POR

**RAINER M<sup>a</sup> DLUGAY  
GONZÁLEZ**

DIRIGIDO POR

**M<sup>a</sup> DOLORES CÁMALICH  
MASSIEU**

---

Facultad de Humanidades  
Grado en Historia  
Año académico 2018-2019  
Convocatoria de Junio

## **Análisis funcional de los instrumentos líticos de sílex**

**Resumen:** la presente obra comprende el Trabajo de Fin de Grado realizado como finalización del Grado en Historia de la Universidad de La Laguna. Supone una primera aproximación a los estudios de análisis funcional de instrumentos tallados en sílex, abordándose tres cuestiones principales dispuestas a modo de capítulos: en primer lugar una introducción y los antecedentes de la disciplina y su desarrollo historiográfico, poniendo especial atención a la transformación de la metodología analítica y experimental; a continuación se exponen las metodologías de análisis de huellas de uso y de residuos; y, por último, se han abordado los estudios funcionales realizados en contextos del Neolítico antiguo y reciente en Andalucía y su contribución al conocimiento que se tiene acerca de estas sociedades.

**Palabras clave:** herramientas de sílex, análisis funcional, arqueología experimental, Neolítico, Andalucía.

**Abstract:** The present work represents the bachelor's Thesis, concluding the Bachelor of Arts in History at the University of La Laguna. It is a first approximation to the studies on the functional analysis of chipped flint tools and is divided into three main aspects, which are arranged as chapters. First, we present an introductory chapter and then we look at the history of the discipline and its historiographic evolution, with special emphasis on the changes of the analytical and experimental methodology. Next, the basic concepts and methods of use-wear and residue analysis are presented. Finally, we approach use-wear studies in early and late Neolithic contexts in Andalusia and its contribution to the knowledge we have from those societies.

**Keywords:** flint tools, use-wear, experimental archaeology, Neolithic, Andalusia.

**Zusammenfassung:** Das vorliegende Werk stellt die Bachelor-Arbeit dar, um das Studium der Fachrichtung Geschichte an der Universität von La Laguna abzuschließen. Es ist eine erste Annäherung an die Studien über die funktionelle Analyse von aus Feuerstein geschliffenen Werkzeugen und gliedert sich in drei Hauptaspekte, die als Kapitel angeordnet sind. Zuerst beschäftigen wir uns mit der Vorgeschichte der Disziplin und ihrer historiographischen Entwicklung unter besonderer Berücksichtigung der Veränderung der analytischen und experimentellen Methodik. Als nächstes werden die grundlegenden Konzepte und Methoden einer trassologischen und chemischen Spuruntersuchung vorgestellt. Abschließend befassen wir uns mit Funktionsanalysen, die in früh- und spätneolithischen Kontexten in Andalusien durchgeführt wurden, sowie deren Beitrag, den uns diese zur Kenntnis jener Gesellschaften vermitteln.

**Schlüsselwörter:** Feuersteinwerkzeuge, Funktionsanalyse, experimentelle Archäologie, Neolithikum, Andalusien.

## Índice

1.- Introducción a la Traceología .....	1
1.1.- Evolución de la disciplina y estado actual de la cuestión .....	4
2.- Análisis y cuantificación de las huellas de uso microscópicas.....	13
2.1.- Microscopía de fuerza atómica (AFM).....	13
2.2.- Microscopía de foco variable (FVM) .....	14
2.3.- Análisis de imágenes .....	14
2.4.- Microscopía confocal láser (LSCM).....	15
2.5.- Medición de niveles de luminosidad de superficie (proyección de láser de He-Ne y análisis de las imágenes reflejadas).....	15
2.6.- Interferometría .....	16
2.7.- Perfilometría láser.....	16
3.- Análisis de residuos .....	18
3.1.- Análisis óptico de los residuos.....	18
3.1.1 Glúcidos (o carbohidratos).....	19
3.1.2.- Terpenos o terpenoides .....	20
3.1.3 Hidroxiapatita.....	22
3.1.4 Aminoácidos .....	22
3.1.5 Lípidos.....	23
3.2 Métodos analíticos para la identificación de residuos.....	24
3.2.1.- Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) .....	24
3.2.2.- Cross-over immunoelectrophoresis (CIEP).....	25
3.2.3.- Microespectroscopía infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR).....	25
4.- La traceología de herramientas líticas en el estudio del Neolítico andaluz.....	27
4.1.- Material de estudio.....	27
4.1.1.- Objeto de estudio .....	27
4.2.- Métodos y técnicas de análisis .....	33
4.3.- Resultados .....	35
4.3.1.- Neolítico antiguo.....	35
4.3.2.- Neolítico reciente.....	36
5.- Conclusiones.....	38
Anexo.....	40
Bibliografía consultada .....	50

## **1.- Introducción a la Traceología**

Cuando uno se detiene a contemplar los restos materiales que han perdurado en el tiempo, una de las primeras preguntas que de forma común vienen a la mente suele ser: ¿cómo habrían empleado las sociedades de antaño este objeto? A ello se suman otra serie de cuestiones como ¿cómo lo utilizaría uno mismo? seguido de un fugaz pensamiento del observante, imaginando que forma parte de la comunidad y que realiza alguna tarea, ya fuera vinculada a la artesanía, a las actividades culinarias, cinegéticas o, incluso, a la guerra.

En todo caso, el núcleo de la cuestión lo compone la idea de que el objeto tiene un papel en el medio social por y para el que fue creado. Exactamente aquí cobra sentido la *Traceología*, definida como “*el estudio de las huellas que se generan sobre los instrumentos debido a su utilización*” (Martín, Marín de Espinosa y Gutiérrez 2008, 304). El análisis de las huellas de uso remanentes en los útiles arqueológicos es la base del *Análisis funcional*, una disciplina cuyo fin es “*identificar y estudiar los procesos de trabajo en los que intervinieron esos instrumentos; es decir conocer qué se produce, cómo se produce y quién o quiénes lo producen*” (Clemente 2017, 29), un paso más allá de la traceología.

En el presente trabajo se tratará la aplicación del análisis funcional a la producción lítica tallada, específicamente aquella cuyo soporte es el sílex, aunque también aparecerán ciertas referencias a las innovaciones metodológicas y aplicaciones técnicas desarrolladas para el estudio de otros soportes como la obsidiana o la piedra pulimentada.

Los rastros de uso varían en naturaleza y tamaño. Así, algunos pueden ser detectados a simple vista, en tanto que otros precisan de la utilización de la microscopía, alcanzándose incluso los 10.000 aumentos a través de un microscopio electrónico de barrido (MEB). El empleo de ambas aproximaciones en el estudio traceológico, ha permitido descifrar toda una serie de datos acerca de la biografía de la materialidad lítica arqueológica, tales como la naturaleza de la materia trabajada, la dureza relativa de ésta, la cinemática del trabajo (los gestos realizados en el movimiento del instrumento) e, incluso, identificar la composición química de residuos que han podido quedar atrapados en la superficie del útil (Clemente 2017, 28).

Como se ha adelantado previamente, el análisis funcional no es un fin en sí mismo, no debería incorporarse al estudio de un conjunto arqueológico por el mero hecho de sumar un apartado más en el proceso de publicación y divulgación. Estos planteamientos han sido el estandarte de investigadores pertenecientes, fundamentalmente, al Departamento de Arqueología y Antropología del Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC-Institució Milá y Fontanals) a lo largo de las últimas dos décadas o la base de los trabajos realizados por investigadores de dilatada trayectoria como es el caso, entre otras, de Amelia Rodríguez Rodríguez de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las bases teóricas de esta visión del análisis funcional están profundamente enraizadas en el materialismo histórico, contexto en el que surgió la disciplina, como veremos en el

desarrollo de la especialidad durante los últimos ochenta años. Ignacio Clemente Conte, uno de los expertos pertenecientes al CSIC ha resumido en un excelente artículo (Clemente 2017) los seis aportes del análisis funcional al conocimiento de las sociedades pasadas, jugando un papel importante la producción lítica tallada. Así,

1.- La traceología ha permitido “*determinar realmente cuáles fueron los restos líticos arqueológicos utilizados como instrumentos*”, considerando “*como instrumento de trabajo a todo resto arqueológico que presenta en su superficie rastros de uso que demuestran su intervención en algún proceso productivo*” (Clemente 2017, 30).

2.- Posibilita indagar con bastante profundidad en “*las actividades productivas que llevaron a cabo esos instrumentos*” (Clemente 2017, 30-33) y, en el caso de la arqueología prehistórica neolítica, permite además observar y determinar momentos y actividades concretas del proceso productivo.

3.- La capacidad de desentrañar la funcionalidad de los sitios arqueológicos, dado que “*las actividades productivas desarrolladas en un sitio pueden servir para determinar el carácter de una ocupación humana*” (Vila y Argelés 1986, citado por Clemente 2017, 34).

4.- El análisis funcional asociado a la distribución microespacial del registro arqueológico ha permitido plantear hipótesis acerca de la organización del espacio social “*para la práctica de distintas actividades productivas*” (Clemente 2017, 34).

5.- Se considera una disciplina fundamental para la resolución de problemas específicos surgidos en el curso de las investigaciones.

6.- La última contribución que se propone es una de las más complejas de confeccionar, pues es esencial el aporte de otras disciplinas como la arqueotanatología o la paleopatología. A partir de análisis funcional de instrumentos hallados en necrópolis (en este caso del Neolítico medio del NE de Iberia) se ha tratado de plantear la división social del trabajo, a partir de las relaciones entre las actividades que se reflejan en las huellas de uso del instrumental asociado a determinadas personas inhumadas en esos contextos funerarios (de aquí la escala del estudio interdisciplinar mencionado). Igualmente, la identificación de algunos objetos que no presentan estigmas de uso ha permitido plantear que fueron confeccionados con el objetivo único de ser depositados en el ajuar funerario (Clemente 2017, 29-44).

La experimentación se ha convertido en una parte esencial de la arqueología y su conjunción con el análisis funcional es indispensable. Esto es así porque ha provisto a la disciplina de una base empírica mediante la que se puede probar la validez de las metodologías empleadas. De aquí su importancia en el avance y desarrollo de los métodos y técnicas que se han ido implementando en el transcurso del tiempo (Clemente 1997, citado por Clemente 2017, 28). La experimentación permite aproximarse a los procesos de trabajo y descubrir las relaciones existentes entre el útil y la materia trabajada, pero se ha planteado la urgencia de llevar a cabo “*blind tests*” (comprobaciones a ciegas) de los experimentos realizados, en las que el especialista en traceología analiza las huellas de herramientas experimentales que han sido empleadas por una tercera persona y cuyo uso

solo conoce esta; se trata por tanto de un paso más para validar el método y cumplir los estándares de rigurosidad científica (Evans 2014, 5-6).

Hay una serie de cuestiones que el análisis funcional aún está intentando resolver. Así, temas que se han abordado recientemente y que sin duda precisan de la intervención de un número mayor de especialistas en los próximos años.

Uno de los aspectos más difíciles de aclarar es el mecanismo por el cual se forman los rastros del uso de los instrumentos. Gracias a los progresos en metrología y tribología, ha sido posible establecer que se trata de un conjunto de factores que intervienen en este proceso, empezando por las propiedades materiales de ambos objetos que entran en contacto, así como otras variables, entre las que destacan añadir arena o lubricante durante el trabajo, o la cantidad de agua contenida en la materia trabajada.

Otro campo en el que está siendo fundamental la aplicación de nuevas técnicas de estudio, es la distinción entre estigmas postdeposicionales o los generados en la superficie como consecuencia del proceso de excavación (grabados en las superficies por el contacto de los instrumentos utilizados, incrustaciones o marcas de pisoteo), y las verdaderas huellas del uso. Igualmente, deben identificarse posibles contaminaciones producidas por agentes químicos exógenos que alteran los componentes que puedan haber quedado atrapados en las herramientas.

Si bien se ha subrayado la importancia de las nuevas metodologías para lograr sobrepasar los límites actuales del análisis funcional, se deben llevar a cabo rigurosos controles a cada técnica antes de empezar a aplicarla a la materialidad arqueológica. En este procedimiento una parte esencial lo constituye la arqueología experimental (teniendo un papel importante los blind-tests mencionados), aunque se deben hacer grandes avances en lo referente a la estandarización y la calibración (Evans 2014, citado por Stemp 2016, 14). Por último, es necesario destacar textualmente lo que plantea Stemp, “*el análisis de las huellas de uso de los residuos de las herramientas de piedra (...) debe emprenderse como parte del estudio holístico del pasado arqueológico (...), la investigación realizada en los laboratorios debe tener como fin la aplicación de los resultados para reconstruir con mayor fidelidad el uso humano de las herramientas (...), a pesar del potencial de estas herramientas científicas, al final deben introducirse en el mundo de las humanidades y de las ciencias sociales*” (Stemp 2016, 13-14).

### 1.1.- Evolución de la disciplina y estado actual de la cuestión

La base sobre la que se construye el campo de estudios a abordar es el hecho de que una herramienta lítica sufre alteraciones en la zona que entra en contacto con la materia trabajada (González e Ibáñez 1994, 15). Estas marcas derivadas de la actividad a la que han sido sometidas son “*documentos sumamente valiosos*” dado que permiten una aproximación al funcionamiento pretérito de este tipo de materialidad arqueológica (Semenov 1981, 10). Mediante la observación macroscópica y microscópica de las zonas activas<sup>1</sup> de las herramientas se han determinado tres tipos de rastros de uso. Así, rastros de desgaste del útil por su uso, rastros producidos durante su elaboración (Semenov 1981, 10) y rastros originados por factores antedeposicionales y postdeposicionales que pueden dañar la superficie del instrumento y, de esta manera, dificultar el reconocimiento de las otras huellas o incluso camuflarse como una de ellas (Clemente 1997, 22). Por último, una mala praxis tanto en la excavación, como en el trabajo de laboratorio y en el almacenaje de las piezas pueden deteriorar o alterar los posibles estigmas de uso (Gutiérrez Sáez *et al.* 1988, citado por Martín, Marín de Espinosa y Gutiérrez 2008, 308-309). El análisis funcional de las huellas de uso tiene así la intención de descubrir cuál fue la labor del útil y la materia sobre la que ha trabajado (González e Ibáñez 1994, 20). La inferencia funcional, aun así, no puede desligarse de un método experimental que compruebe la validez de los útiles en la actividad que se les ha atribuido (Semenov 1981, 8-10). De hecho, la experimentación es la principal herramienta metodológica que posee el especialista para asignar una determinada huella de uso a una actividad realizada, pues se reproducen los trabajos en un ambiente controlado, conformándose de esta manera un “sistema inductivo-deductivo” que consiste en la observación de los resultados del programa experimental para identificar esas huellas en el material arqueológico (González e Ibáñez 1994, 15-16).

Los precedentes de la disciplina se pueden rastrear hasta mediados del siglo XIX, pues la comunidad científica se hizo preguntas acerca del uso original de los instrumentos líticos desde los primeros momentos. De hecho, en muchas de las tipologías se asignaban términos a los diferentes grupos establecidos presuponiendo el uso al que fueron destinados, de tal manera que se partía del principio que la forma de útil determinaba su uso (Stemp, Watson y Evans 2016, 2). El carácter morfo-estilístico de buriles y raspadores, por ejemplo, era comparado con aquel de herramientas de la época y de instrumentos conocidos a través de la etnografía, atribuyéndoles una funcionalidad similar. El interés que mostraron los primeros arqueólogos por la funcionalidad (Sven Nilsson en 1840 o John Evans en 1872) debe entenderse en un contexto historiográfico marcado por dos fenómenos desarrollados aproximadamente entre 1840 y 1880. Esta orientación deriva de factores, el primero de los debates surgido a causa de la dificultad de explicar el origen de los “desconchados” de las piedras, enfrentándose el concepto

---

<sup>1</sup> Elemento descriptor elegido por Jesús Emilio González Urquijo y Juan José Ibáñez Estévez (1994, 21) para definir aquella región de la herramienta que se transforma debido a la actividad sobre la materia trabajada.

instrumental de útil, definido como “*todo objeto reconocible hipotéticamente como herramienta*” (Laborda 2010, 9), a la defensa de los eolitos, piedras con alteraciones producidas por factores no antrópicos; el segundo fenómeno al que se debe hacer referencia se relaciona con las sistematizaciones de la Prehistoria sustentadas en la evolución de las herramientas arqueológicas como base para establecer una diacronía para el pasado (Laborda 2010, 9-10). Ello es reflejo del evolucionismo lineal, que determinaba que el grado de desarrollo técnico de la materialidad era el reflejo de la superioridad evolutiva (Hernando 1992, 14-15).

Será a finales del siglo XIX y, sobre todo, en el primer tercio del siglo XX cuando se inicien los primeros trabajos experimentales con herramientas líticas, si bien es necesario puntualizar que sus protocolos eran inconsistentes. Se construyeron dos modelos de experimentación basados en preguntas diferentes: por un lado, ¿son eficientes las herramientas en la actividad que se les ha atribuido en función de sus características?; y, por otro, ¿qué tareas se pueden realizar con este útil y cuáles es imposible resolver? Las propuestas de resolución a estas dos preguntas han sido denominadas estudios de eficiencia y de verificación directa de la función, respectivamente. En el primer caso, tras la experimentación, no se analizaban las huellas de uso resultantes a nivel macroscópico ni microscópico<sup>2</sup>. En el segundo caso, sí que se compararon las alteraciones experimentales con aquellas de los artefactos arqueológicos (Stemp *et al.* 2016, 2). Las investigaciones que se produjeron en occidente hacia la mitad del siglo XX definieron las industrias prehistóricas y trataron de ordenarlas diacrónicamente, hecho que explica el exhaustivo análisis de los instrumentos de piedra y la caracterización del retoque como elemento definitorio de los útiles líticos (Laborda 2010, 11). Estos cambios han de entenderse dentro de la disolución del esquema teórico del evolucionismo clásico, siendo sustituida la idea de los estadios de progreso del hombre por la búsqueda de la etnicidad de cada pueblo. La misión de la arqueología, fuertemente influida por la visión de la escuela histórico-cultural alemana, fue definir los límites de la etnicidad de cada pueblo, a partir de unos indicadores culturales seleccionados entre la materialidad arqueológica, para así conformar diferentes áreas culturales que debieron existir desde tiempos remotos y que provinieron de un área original. “*Tipología y cronología como objetivos únicos de estudio, porque son ellos los que explican la historia*” (Hernando 1992, 15-16).

Durante toda la primera mitad del siglo XX, las líneas de investigación occidentales siguieron determinando la funcionalidad de las herramientas líticas según sus caracteres morfo-estilísticos y, a pesar de que en muchos de los estudios se emplearan microscopios de bajo aumento (10x-30x) y de que se plantearan marcos experimentales desarrollados, la falta de sistematización y generalización de la metodología impidió innovaciones significativas en el campo de estudios (Stemp *et al.* 2016, 2).

---

<sup>2</sup> W. James Stemp *et al.* (2016, 2) nos recuerda que, aunque las primeras observaciones de las marcas de uso en los incipientes trabajos sobre funcionalidad se hicieran *de visu*, algunos investigadores como el alemán Paul Quente comenzaron a usar lentes de aumento. Por esta vía y relacionando las marcas de uso del utillaje experimental con el arqueológico, Quente consiguió en una fecha tan temprana como 1914 aproximarse a la funcionalidad de hachas de la Edad de piedra (Olausson 1980, 49, citado por Stemp *et al.* 2016, 2).

Se puede considerar la tesis doctoral de Sergei Aristapovich Semenov, publicada en 1957, como la obra que, recogiendo la tradición de los estudios funcionales de los siglos XIX y XX, logró transformar la disciplina de tal manera que es considerado el fundador de la traceología moderna. Las propuestas de su *Tecnología prehistórica*, rápidamente difundida en la URSS, tardaron en llegar a occidente, fundamentalmente, debido a que hubo que esperar a 1964 para su traducción al inglés (¡y a 1981 para su versión española!). Una de las novedades metodológicas que arrojaron resultados satisfactorios al trabajo de Semenov fue el empleo de microscopía y la introducción del microscopio metalográfico, de mayor aumento, mediante el cual se observaban las huellas de desgaste en la superficie de herramientas metálicas modernas, que luego comparaba con aquellas presentes en herramientas de piedra y hueso prehistóricas (Stemp *et al.* 2016, 3). Esto le permitió reconocer que cada tipo de actividad realizada con un instrumento deja una impronta microscópica particular en su superficie y, por este motivo, puede averiguarse la materia trabajada e incluso el tipo de tarea desarrollada. Unas huellas de uso que recibieron mayor atención que otras por parte del arqueólogo soviético, fueron las estrías, abrasiones lineales producidas por el arrastre sobre la superficie del útil de partículas de arena o polvo, que permiten averiguar los vectores de la cinemática del trabajo. El acercamiento de Semenov a la funcionalidad, que prima el estriado por encima de otros rastros debido a que indican la dirección del trabajo, ha sido denominado “*arqueología del gesto*” por Hugues Plisson (1988, 147-148).

Su obra, a la par del gran impacto en la comunidad científica occidental, recibió críticas desde muy temprano, especialmente desde su traducción al inglés a mediados de los sesenta. Entre las objeciones del paleolitista François Bordes se deja ver la tendencia aún persistente de asociar la tipología de los útiles con su función: “*Semenov llama buriles a algunos útiles que podrían servir para grabar, pero que no son, tipológicamente, buriles*” (Bordes 1967, 54). Algunos puntos recuerdan incluso al debate acerca del posible origen accidental y natural de las huellas de uso discutidas anteriormente: “*algunas estriaciones (...) nos parecen demasiado fuertes (...) y nos recuerdan a las estrías de soliflucción sobre algunos sílex de depósitos de loess de Francia*” (Bordes 1967, 54). No obstante, estos argumentos perdieron peso con la consolidación de la Nueva Arqueología, que interpretaba el “*registro arqueológico como resultado de un comportamiento humano*” (González e Ibáñez 1994, 12), y con la generalización de las dataciones absolutas, que fueron sustituyendo la diacronía relativa de las tipologías. A pesar de que estos principios favorecieron el auge de la recién nacida traceología, hubo autores que criticaron que Semenov solamente infiriera la funcionalidad de un reducido número de piezas, extrapolando luego los resultados a herramientas del mismo tipo, y que su objetivo se centrara en “*la situación evolutiva de las técnicas de trabajo* (la idea de progreso tecnológico va implícito en su obra)” (Jardón 1990, 11). Otros autores señalaron las “*claras lagunas en el plano metodológico*” que no permiten “*aplicar su técnica de análisis a otros conjuntos arqueológicos*” (González e Ibáñez 1994, 12). Semenov, como es natural, no pudo escapar a un contexto historiográfico de “*explícita ideología marxista (...) durante la época estalinista*”, siendo encuadrado dentro de la “*Arqueotecnología*”,

creadora del laboratorio arqueológico moderno dedicado al estudio de los materiales con el fin de contrastar hipótesis basadas en criterios puramente objetivos, queriendo alejarse de la arqueología descriptiva clásica (Laborda 2010, 11-12).

Fueron los discípulos de Sergei Semenov los que tomaron el testigo de sus líneas de trabajo y las desarrollaron durante la segunda mitad del siglo XX, haciendo hincapié en la experimentación. El objetivo de los programas experimentales a largo plazo de la Dra. Galina F. Korobkova y del Dr. V. E. Schchelinski fue crear colecciones de referencia de útiles con huellas de uso experimentales, para después “*interpretar la evolución de la actividad productiva de unidades sociales prehistóricas*” (Phillips 1988, 350) por medio del análisis de material arqueológico. El laboratorio de traceología de Leningrado, cuyos mayores exponentes fueron Korobkova y Schchelinski, acabó creando una escuela de especialistas en la arqueología experimental que tenían la intención de estudiar la “*totalidad los artefactos y estructuras recuperados de un yacimiento determinado*” y de observar sus alteraciones a través del microscopio para probar su funcionalidad.

Hasta bien avanzada la década de los años 70, como se planteó con anterioridad, parte de la comunidad científica siguió basándose, en mayor o menor grado, en los caracteres morfo-estilísticos de las herramientas, en estudios de eficiencia y en las verificaciones directas para determinar la funcionalidad de las herramientas de piedra (Stemp *et al.* 2016, 3). Aun así, la influencia de la obra de Semenov siguió creciendo y algunos autores, aunque apegados a la tradición tipológica, reconocieron que Semenov fue el primero en intentar conocer la función de las herramientas con criterios objetivos, “*base esencial para los métodos analíticos interpretativos empleados en la arqueología prehistórica moderna*” (Rosenfeld 1971, 176) y admirando también su habilidad para comparar las huellas de materiales arqueológicos y experimentales (Ranere 2011, 83).

En 1974 se publicaron simultáneamente dos artículos (Tringham, Cooper, Odell, Voytek y Whitman 1974; Keeley 1974) que propusieron dos metodologías innovadoras de análisis funcional, difiriendo una de otra en el instrumental de observación utilizado y en las huellas de uso seleccionadas para la inferencia.

En la Universidad de Harvard, Ruth Tringham y su doctorando George Odell encabezaron la “Escuela de bajos aumentos”. Basados en la metodología de Semenov, estudiaron el macrodesgaste de herramientas experimentales utilizando únicamente lupas binoculares o estereomicroscopios (entre 40x y 80x), de tal manera que les fuera posible identificar las variables que intervinieran en la aparición de desconchados y embotamiento. Mediante este procedimiento lograron averiguar la acción realizada y discernir la materia trabajada de un gran número de piezas, pues solo se necesitaba material básico de laboratorio y las muestras podían analizarse con fluidez. Fue precisamente la elección del desconchado (reconocible a bajos aumentos), como carácter diagnóstico de la funcionalidad, el punto que más críticas atrajo, pues numerosos autores dudaron de su fiabilidad (Laborda 2010, 15-16).

En el lado opuesto, Lawrence H. Keeley desarrolló un método experimental propio y consistente en la observación a través de microscopio metalográfico (100x-400x) de copias de herramientas paleolíticas empleadas en el trabajo de materias orgánicas. El

“*método de los altos aumentos*” permitió descubrir que cada tipo de elemento biológico (hueso, piel, madera etc.) deja una impronta determinada en la superficie del útil en forma de pulido microscópico. Keeley identificó el movimiento del útil en base a estos micropulidos, al estriado y al embotamiento del filo, mientras que el “*Low Power Approach*” lo hacía únicamente con el desconchado. A pesar de que el autor recibiera críticas con respecto a la relación que establecía entre micropulido y materia, el “*método Keeley*” guio “*la práctica totalidad de la investigación en este campo hasta finales del siglo XX*” (Laborda 2010, 16-17).

La disputa entre ambas aproximaciones al análisis funcional de herramientas líticas se prolongó casi hasta finales de la década de los 80, pero innovaciones metodológicas como el empleo de microscopios electrónicos de barrido (M.E.B.), de hasta 10.000 aumentos, abrieron las puertas a nuevas preguntas (Stemp *et al.* 2016, 3). Patricia C. Anderson (1980, 182-191) fue una de las pioneras en estudiar herramientas experimentales empleadas en el trabajo de materia orgánica (maderas, gramíneas, materia animal dura y blanda), mediante la utilización del M.E.B., observando que este tipo de actividad provoca una disolución microscópica en la zona activa del útil, cuya extensión e intensidad depende, entre otras variables, de la duración de la tarea, de la estructura y composición del utensilio y del contenido en agua de la materia vegetal o animal. En estas áreas “*disueltas*” se hallan residuos minerales de los elementos que han entrado en contacto con el útil. Ello permite la identificación de las especies trabajadas, aportando datos paleoecológicos y del comportamiento de las sociedades con respecto a su entorno natural, información fundamental para dar respuesta a cuestiones como los inicios de la producción de alimentos o la domesticación.

En las décadas de 1970 y 1980 los programas experimentales se construían con el objetivo de entender la función de las herramientas, someténdolas a tareas determinadas y luego realizando estudios comparativos con piezas arqueológicas. Este procedimiento fue haciendo evidente la discrepancia de resultados entre las inferencias funcionales basadas en atributos formales (la tipología lítica) y aquellas basadas en huellas macro- y microscópicas (Yerkes y Kardulias 1993, 103). Por otro lado, el creciente conocimiento aportado por la etnografía mostró que sus clasificaciones tipológicas muchas veces no tenían sentido entre las comunidades indígenas y que la forma del útil no siempre determinaba su función. La labor experimental se centró, también, en definir con precisión cada una de las características de las huellas de uso y en dilucidar las variables que intervienen en su formación. Para ello, se realizaron trabajos específicos acerca del descarnado de animales, del uso de proyectiles, de perforación y de raspado, junto a estudios de la labor sobre materia prima (Stemp *et al.* 2016, 4-5). La explosión durante los años 80 de los trabajos de análisis funcional y de experimentación aplicados a la materialidad arqueológica, ampliaron el abanico de funciones conocidas de los tipos de herramientas y otorgaron información acerca de la función o especialización en una actividad de los diferentes espacios en un yacimiento arqueológico (Laborda 2010, 17-18).

El primer congreso internacional de análisis funcional de herramientas líticas, celebrado en Vancouver en 1977, impulsó la consolidación de esta disciplina como ciencia y puso de manifiesto tres cuestiones que serían debatidas en la década siguiente:

1.- Si los mecanismos de formación de las huellas (especialmente los residuos minerales que aclaramos en el párrafo anterior) estaban producidos por un proceso abrasivo, un proceso aditivo, una reacción química entre la piedra y la planta o por una combinación de estos factores.

2.- Autores como H. Plisson y M. Mauger (1984-1986, citado por Stemp *et al.* 2016, 6) advirtieron desde temprano del peligro de “*fuerzas postdeposicionales*” que puedan haber dañado los filos y erosionado la superficie de los utensilios de tal manera que las evidencias del uso hayan desaparecido, sufrieran modificaciones o incluso alteraciones postdeposicionales que pudieran confundirse con huellas funcionales.

3.- El último punto del debate giró en torno a la fiabilidad del análisis funcional como método, razón por la que se realizaron numerosos test “*a ciegas*”, que ponían a prueba la habilidad de la persona especialista en traceología para determinar función y cinemática en piezas experimentales, cuyo uso real solo conocía una tercera (Stemp *et al.* 2016, 5-6).

Los resultados de dos test ciegos (Owen y Unrath 1984/85/86, citado por Laborda 2010, 18; Newcomer, Grace y Hunger-Hamilton 1986, citado por Laborda 2010, 18), ideados para probar la validez del “*método Keeley*”, llevó a sus autores a dudar de la “*excesiva confianza depositada en el pulimento como huella determinante de la materia trabajada*” (Laborda 2010, 18-19), y a exponer que aún se debía profundizar más en: la explicación de la aparición de huellas, la definición concreta de categorías descriptivas y la cuantificación de los microrastros. Los ásperos debates que siguieron a esta publicación “*socavaron el análisis funcional como técnica analítica a ojos de muchos arqueólogos*”, cada vez más escépticos en cuanto a sus resultados (Stemp *et al.* 2016, 6). Una reciente revisión (Evans 2014) de los test ciegos de análisis funcional de herramientas líticas apunta a que muchas de estas pruebas no estuvieron exentas de errores tales como emplear el útil en un trabajo durante un tiempo demasiado breve que permitiera la formación de pulidos diagnósticos o la falta de experiencia de quien efectuara el análisis.

Por último, en los años 80 se produce el desarrollo de la cuantificación del microdesgaste y del análisis de residuos. Con respecto a los métodos cuantitativos Semenov (1970, citado por Keeley 1974, 325-326) había propuesto que se puede medir la intensidad del pulido calculando el reflejo de su lustre y que, además, comparando la transformación del microrelieve de las superficies de herramientas usadas y no usadas era posible calcular con precisión el grado de desgaste resultante de cada trabajo.

Durante la década posterior muchas técnicas puestas a prueba (interferometría, perfilometría, tribología) no siempre tuvieron resultados favorables y escasearon en aplicabilidad, a excepción del procesado de imágenes en escala de grises (Stemp *et al.* 2016, 6). Esta técnica consiste en escanear la zona del útil que se desea analizar y sustituir la gama de colores a escala de grises. Así, un ordenador programado podía medir el más

mínimo cambio de tono (que implicaría un cambio en la textura), reconocer y calcular el tamaño de las huellas de uso (Grace, Graham y Newcomer 1985, 112-114).

En relación con el análisis de residuos en herramientas líticas se llevan a cabo algunos primeros ensayos en la década de los setenta, siendo empleados métodos de bajos aumentos para observar restos vegetales, fitolitos, fibras de plantas y almidón. La introducción de la microscopía durante los 80 llevó a formular las primeras hipótesis acerca de la formación de huellas de uso a causa de la intervención de residuos orgánicos en la actividad y, poco después, ya se investigaban restos animales tales como pelo, tejido, o sangre, realizándose a su vez análisis químicos (Stemp *et al.* 2016, 6-7).

Las “*desmesuradas perspectivas*” sobre el análisis funcional que tuvieron lugar durante el decenio de los ochenta y los intensos debates que suscitaron, provocaron que en los noventa se pasara por un verdadero período de autocrítica, centrada principalmente en definir los límites metodológicos de la disciplina (Laborda 2010, 19-20). Asistimos en esta década a la diversificación de los objetos de estudio, examinándose herramientas elaboradas a partir de materias primas menos conocidas como la obsidiana, la calcedonia o el ágata, y al reconocimiento de rastros de uso provocados por tareas que no habían recibido la atención de los estudios traceológicos como el procesado de cuerno, raíces, tubérculos o incluso la elaboración de cerámica (Gassin y Garidel 1993, 189), actividad que deja tras de sí una variedad de huellas debido al uso del sílex en diferentes fases de la cadena operativa y siendo determinante factores tales como el gesto y la composición de la pasta.

También se profundizó en el análisis de imágenes, desarrollándose inteligencias artificiales para identificar las microhuellas, si bien estos métodos de cuantificación de rastros presentaban ciertos inconvenientes como el hecho de tener que “aprender” en base a la inferencia funcional de quienes hacían los trabajos de programación. Se mostró gran interés por el daño infligido a las superficies de los útiles, causados por factores externos al uso, y se puntualizó la necesidad de mejorar el preparado de las muestras, comenzando por su extracción durante las labores de campo y posterior limpieza. Siguiendo el curso que tuvo durante los ochenta, el análisis de residuos dio grandes pasos gracias al perfeccionamiento de las técnicas conocidas y a la aparición de otras nuevas, como la aplicación de reacción en cadena de polimerasa (PCR) dirigida a recuperar secuencias de ADN (Hardy, Raff y Raman 1997, citado por Stemp *et al.* 2016, 8). Nuevos trabajos propusieron integrar además huellas de uso macro y microscópicas en un mismo análisis (empleando bajos y altos aumentos), así como diseñar programas experimentales complementarios de gran rigurosidad. Esta aproximación abría la posibilidad de inferir la especialización de un yacimiento o de “*ocupaciones con diversas funcionalidades*”, aportando información acerca de las estrategias económicas que las sociedades prehistóricas adoptaron en relación con los productos alimenticios o las manufacturas (Laborda 2010, 20).

W. James Stemp ha señalado que uno de los puntos débiles del análisis funcional en el cambio de siglo fue el escaso avance en la estandarización metodológica y, sobre todo, en la cuantificación de microhuellas (Stemp *et al.* 2016, 9). Esto tiene su origen en una

cierta endogamia de cada escuela de traceología (adoptando y desarrollando únicamente los procedimientos de quienes les precedieron) y en el enfrentamiento de dos hipótesis opuestas, formuladas desde los años 70 y 80, acerca de los mecanismos de formación de las huellas (modelo de formación por desgaste y modelo de formación por adhesión/absorción). Durante esta década de los años 90 se combinaron cada vez más métodos que se habían puesto en práctica aisladamente, mezclando altos y bajos aumentos con el uso de microscopios electrónicos (M.E.B.), con técnicas de cuantificación de la estructura superficial y con análisis de microhuellas y de residuos.

Desde los 2000 asistimos a un verdadero auge de la arqueometría en los análisis funcionales, dando resultados muy positivos la implementación de procedimientos de ramas secundarias de la ingeniería, como es el caso de la medición óptica de la rugosidad de superficies, el microscopio de fuerza atómica, perfilometría láser y la microscopía confocal óptica. Se espera que la aplicación de nuevas técnicas, como el escaneado 3D, arrojen algo de luz a campos que siguen bajo intenso debate desde hace décadas: la formación de las huellas, los test a ciegas, los daños postdeposicionales o el desgaste del filo y la superficie producido por el uso. (Stemp *et al.* 2016, 9-11). Precisamente la revisión del análisis funcional del pasado y sus perspectivas de futuro constituyen los puntos esenciales abordados en congresos celebrados recientemente en Faro (2012), Burgos (2014) y Leiden (2015), organizado este último por la Association of Archaeological Wear & Residue Analysts (AWRANA). Esta asociación, teniendo en cuenta la aceptación de la reunión de Leiden, programó su segunda conferencia entre mayo y junio de 2018, centrada en integrar los nuevos avances de la disciplina en cuestiones históricas de gran calibre, como la dinámica entre las sociedades y su utillaje (Macdonald 2017).

Las últimas dos décadas han dejado patente la relevancia de los nuevos métodos y técnicas aplicadas al análisis funcional, pues están permitiendo la obtención de resultados cada vez más precisos y refinados, así como, ayudar a comprender las propias limitaciones de las metodologías utilizadas. Actualmente los esfuerzos se concentran en intentar definir la manera exacta en la que el uso transforma la herramienta, estableciendo con precisión los efectos de cada una de las variables que intervienen en el trabajo. Igualmente, se están realizando experimentos en secuencia y estudiando la variabilidad de duración de la actividad y, así, atender a la complejidad de la formación de las huellas. Para evaluar el grado de maestría de las personas especializadas en esta disciplina es urgente acompañar la labor experimental de manera sistemática con test ciegos (pues ayuda a reforzar el método y a resolver paulatinamente las críticas recibidas). Resulta también esencial someter las técnicas que se vayan introduciendo a una fase de verificación que muestre sus ventajas y puntos débiles, siendo crucial que se exija cada vez más una mayor cantidad de datos acerca de la estandarización y calibración de las metodologías (Stemp *et al.* 2016, 13-14).

El análisis funcional sobre herramientas líticas ha evolucionado de tal manera que ha dejado de ser una disciplina aislada, en búsqueda de nuevas perspectivas desde la que abordar la materialidad arqueológica, para convertirse en componente fundamental de la

investigación acerca de las sociedades prehistóricas. Así, es capaz de proporcionar nuevas respuestas a algunas de las grandes preguntas formuladas sobre el pasado humano: la determinación de estrategias de subsistencia de cazadores-recolectores, el papel de las herramientas entre las primeras comunidades agro-pastoriles del Neolítico, los procesos de trabajo, las relaciones entre ser humano y medio ambiente o la organización social en la Prehistoria.

## 2.- Análisis y cuantificación de las huellas de uso microscópicas

Sin duda alguna, la tradición del empleo de microscopía para el análisis funcional de las herramientas líticas que comenzó a extenderse por todo el mundo en los años 60 se ha mantenido en vigor hasta hoy día. Sin embargo, la cantidad de investigaciones y publicaciones ha variado según el tiempo y el espacio. A excepción de algunos casos innovadores específicos, como el estudio de los empuñados y los elementos de presión (que veremos en el apartado de análisis de residuos), el número total de aportaciones sobre análisis funcional ha decrecido levemente. Un factor que podría explicar este fenómeno podría ser la diversidad de “escuelas” de traceología que han ido surgiendo a escala mundial (por ejemplo, la escuela rusa heredera de los trabajos de Sergei Semenov y Galina Korobkova, o la australiana, pionera en la integración de traceología con análisis de residuos; o el grupo de analistas funcionales de la Institució Milá y Fontanals del CSIC en Barcelona). Esta circunstancia, unida al hecho de que en ellas prevalezcan los métodos usados por quienes les precedieron o que se orienten a recopilar y modificar las técnicas que se han creado en el pasado, explicarían la situación (Stemp *et al.* 2016, 9).

Como se comprobará en las páginas que siguen, las últimas dos décadas han presenciado la conjunción de métodos, combinando microscopías con análisis de superficies o de residuos. Como sostienen James Stemp, Adam Watson y Adrian Evans (2016, 9-11) se ha producido un estallido de la tecnología desarrollada para las ingenierías (especialmente la ingeniería industrial), en la que las computadoras juegan un gran papel en el desarrollo de la metrología y la tribología (estudio del desgaste producido por acciones mecánicas). Las metodologías tan diversas que analizaremos a continuación tienen todas como objetivo dejar atrás la descripción puramente cualitativa de las huellas de uso (ya sean pulidos, estrías, desconchados...), una práctica que caracterizó a la traceología de las décadas anteriores, y, en cambio, pretende buscar formas de medir con mucha precisión a nivel microscópico los rastros de uso con la intención de construir unos cimientos sólidos en una disciplina científica basada en el empirismo.

### 2.1.- Microscopía de fuerza atómica (AFM)

El empleo de la microscopía de fuerza atómica (AFM, “atomic force microscopy”) (Kimball, Kimball y Allen 1995; Faulks, Kimball, Hidjrati, N. y Coffey 2011) se debe a la necesidad de cuantificar datos y características a pequeña escala de los micropulidos formados por el contacto de la superficie del instrumento con carne, piel fresca y seca y hueso, madera y el empuñado.

Previo al análisis de las piezas se han de limpiar en un baño de HCl (5-10%) durante 15-20 minutos con la finalidad de eliminar las costras que puedan cubrir la herramienta, para posteriormente realizar un baño ultrasónico en amoníaco. Por último, se documentan los pulidos mediante un microscopio de luz incidente (Faulks *et al.* 2011, 306).

Para llevar a cabo la AFM los objetos se ponen sobre una pequeña masa de arcilla, de modo que se puedan colocar en diferentes posiciones para ser fotografiadas con precisión. Se toman imágenes (**Figura 2**) de las zonas deseadas en las que se detecten micropulidos y se inicia el “tapping mode”, que consiste en una punta microscópica que oscila a una

alta frecuencia, en amplitud constante, y se acerca a la superficie del útil hasta que la amplitud de oscilación se reduce por el contacto de la punta con la piedra en la zona del micropulido. Ésta recorre la superficie respondiendo a su topografía y calculando con precisión su tamaño, y profundidad. Se emplea este “*tapping mode*” en vez de el “*contact mode*” (que mantiene la punta presionada constantemente) para reducir su desgaste, pues esto reduciría su precisión, dando mediciones incorrectas (Faulks *et al.* 2011, 306-308).

## **2.2.- Microscopía de foco variable (FVM)**

La “*Focus variation microscopy*” (FVM) (microscopía de foco variable), está diseñada para la metrología de superficies microscópicas y crear representaciones tridimensionales de éstas. Los microscopios con FVM integrada tienen la capacidad de generar mediciones de la rugosidad de la materia analizada. Se calcula, para cada huella de uso analizada (especialmente los pulimentos), la raíz cuadrada media de la altura de la zona ( $Sq$ ) y se trata de averiguar si los diferentes estigmas de cada actividad realizada con las herramientas tienen una rugosidad media característica (Macdonald 2014, 27-29).

La microscopía de foco variable da como resultado una imagen tridimensional, debido a que el microscopio busca el mejor enfoque posible con respecto a la muestra, cuya distancia a la lente es calculada y se conoce. La representación 3D se crea moviendo verticalmente los objetivos con respecto al objeto, enfocando y desenfocándolo. El sensor del microscopio identifica y mide en qué momentos estuvo mejor enfocada y repite este proceso de manera lateral secuencialmente. Así, el sensor evalúa la región que rodea cada píxel para estimar la desviación estándar de los niveles grises de cada píxel de la región local, midiendo así el enfoque idóneo. Si el enfoque es demasiado alto o bajo, los niveles de gris son casi idénticos a una baja desviación. La topografía se calcula a través de la profundidad del enfoque de cada plano, generando una imagen compuesta de cada una de las diminutas porciones enfocadas (Macdonald 2014, 29-30).

Se ha indicado que la microscopía de foco variable tiene ciertas limitaciones con respecto a otras técnicas de caracterización y cuantificación de las huellas de uso. Los materiales translúcidos causan problemas de medición; en casos de análisis dentales y de hueso, el hecho de dejar pasar parte de la luz produce una superficie reflejante que no permite al microscopio tomar las imágenes correctamente. En caso de las herramientas de piedra, como el microscopio mide un rango de enfoques, una superficie muy pulimentada o demasiado suave, complejiza la toma de medida (Macdonald 2014, 30-32).

## **2.3.- Análisis de imágenes**

Mediante la digitalización de una imagen se quiere estudiar las microhuellas de uso y definir los criterios válidos para su identificación, con el objetivo de poder establecer un marco empírico con el que analizar los rastros de uso. Una imagen de la superficie de la piedra se digitaliza y se divide en 262.144 píxeles (resolución de 512x512) y cada uno de ellos muestra una cantidad de luz determinada. El sistema distingue 256 niveles de intensidad de luz, donde 0 = negro y 255 = blanco. De esta manera, la imagen se

transforma en una matriz numérica que muestra la posición de cada píxel y su grado de luz. Este método se ha utilizado para delimitar cuáles son las superficies pulidas del área alterada por el uso de la herramienta. La intensidad de luz de cada píxel fue usada para definir el pulido, estableciendo el nivel de gris, por ejemplo, a 160, como límite, entre lo que se consideraba pulido y lo que no (Pijoan, Barceló, Clemente y Vila 2002, 55-58; González e Ibáñez 2003, 482-485).

#### **2.4.- Microscopía confocal láser (LSCM)**

El principio básico por el cual funciona la microscopía confocal “*laser scanning confocal microscopy*” (LSCM,) (Evans y Donahue 2008; Ibáñez, González-Urquijo y Gibaja 2013) es que por medio de luz reflejada desde un plano focal determinado se crean imágenes. Toda luz que se refleje desde superficies ajenas al plano focal (que no sea nítida en cercanía como en lejanía), se descartan de la imagen mediante el ajuste de una abertura conectada ópticamente con el plano focal. Se envía un haz de luz, en este caso un láser, para que escanee la zona del útil cuyas medidas deseamos conocer. Cuando la lente recoge y analiza mediante una función cada uno de los puntos de luz que ha dado el láser, los datos se procesan, proporcionando una imagen tridimensional, que puede ser de hasta 2000 aumentos.

Las ventajas de la microscopía confocal de láser es que la creación de imágenes 3D (**Figura 1**) apenas tarda unos minutos y para enfocar la zona activa de la herramienta puede moverse tanto la pieza, como la plataforma sobre la que se coloca, pudiendo estudiar cualquier parte de la superficie. El LSCM produce imágenes coloreadas de alta profundidad focal y combina microfotografías con información topográfica de la superficie de cada escaneo, datos que pueden estudiarse de diversas maneras en un análisis metrológico (Ibáñez, González-Urquijo y Gibaja 2013, 97-99). Con respecto al microscopio electrónico de barrido (MEB), presenta un problema. Para adquirir la mejor calidad de contraste es necesario recubrir con oro la superficie y fijar la pieza al soporte de la muestra, algo que no es posible realizar con la gran mayoría de los materiales arqueológicos. Además, el tamaño de la cámara en la que se colocan las muestras para el MEB llega a ser restrictivo. Por otro lado, el aumento mínimo es de 100x, demorando mucho en colocarse el área con huellas de uso bajo el rayo de electrones.

#### **2.5.- Medición de niveles de luminosidad de superficie (proyección de láser de He-Ne y análisis de las imágenes reflejadas)**

Esta metodología propone un modelo de cuantificación (medición sistemática de las propiedades) para el estudio específico del “*lustre del cereal*”, presente en la superficie de las zonas activas de algunos elementos de hoz, un rasgo que incluso puede observarse a simple vista, colocando la herramienta lítica hasta que veamos cómo se refleja la luz. Vardi, Golan, Levy y Gilead (2010) defienden que el lustre en las zonas activas de los elementos de hoz se debe a un suavizado del micro-relieve de la superficie de la piedra,

pues análisis de MEB no han hallado acumulación de sustancias foráneas en las zonas activas de las hoces con lustre.

El sistema de medición del láser de Helio-Neón funciona en el orden siguiente: láser-> iris -> lente -> elemento de hoz fijado a un soporte -> pantalla-> cámara-> ordenador). El láser se apunta a la zona más brillante del lustre de la superficie y la herramienta se coloca con precisión para que esta quede situada perpendicularmente al eje del láser. La zona analizada se pone en un ángulo de 45° con respecto al rayo para maximizar la reflexión de luz. Una cámara digital fotografía los reflejos con una apertura de 2.7mm durante 1 segundo. Cada una de las imágenes obtenidas es analizada con un software, para facilitar la comparación entre los reflejos capturados de herramientas diferentes y así poseer unos fundamentos empíricos a la hora de crear estadísticas (Vardi *et al.* 2010, 1718-1719).

## **2.6.- Interferometría**

El empleo de la interferometría en el análisis funcional de herramientas líticas tiene como objetivo tomar medidas tridimensionales (x, y, z) de los micropulidos y otros rastros, obteniendo un modelo 3D de la zona analizada. El trabajo liderado por María Bofill (Bofill, Procopiou, Vargiolu y Zahouani 2013, 223-224) propone un modelo de análisis traceológico consistente en cuatro estadios: 1° - análisis macroscópico en el que describa el estado de las superficies y la distribución de los rastros de uso de forma general; 2° - descripción de los rastros a nivel microtopográfico usando un estereomicroscopio; 3° - examen cualitativo de los micropulidos mediante un microscopio metalográfico y, posteriormente, la medición de esas huellas con un rugosímetro confocal y un interferómetro; 4° - la utilización del interferómetro para caracterizar los pulidos de la superficie (triangula la distancia al objetivo y detecta su topografía). La luz reflejada por la superficie se compara con los datos de superficies almacenadas en una base de datos y el fenómeno resultante de interferencia se recoge con una cámara digital para crear un mapa tridimensional de la herramienta. Al mismo tiempo, se contrasta con una superficie de referencia y el resultado se recoge con una cámara digital para crear un mapa tridimensional de la superficie medida de la herramienta.

## **2.7.- Perfilometría láser**

El fin de la introducción de la perfilometría láser en el estudio de las herramientas líticas es prácticamente el mismo que el de las metodologías que se han descrito anteriormente, buscar métodos que aporten datos empíricos y precisos para comparar la efectividad de unas técnicas con otras y, además, testarlas por medio de la arqueología experimental, la creación de bases de datos y colecciones de referencia. La perfilometría láser, sistema no destructivo y que no requiere de contacto directo con el útil para la medición, calcula la textura o aspereza de la superficie pétreo y le aplica algoritmos matemáticos (Stemp 2014, 15).

En un primer paso, el perfilómetro enfoca un láser a un punto concreto mediante una lente de objetivo, cuya apertura numérica determina el diámetro de este punto proyectado y la

distancia a la que se encuentra (a mayor apertura de lente, menor diámetro y distancia). El objeto analizado refleja el haz de luz y lo dirige a un prisma. La luz aparece como un par de puntos sobre una pantalla de fotodiodos. Si el útil está fuera del foco, ambos puntos fotografiados en los diodos tendrán niveles de iluminación diferentes y, para asegurar la medición exacta, el diámetro del punto de luz y la división de la luz debe permanecer constante (Stemp 2014, 16).

En segundo lugar, se emplea la geometría fractal y la medición de la aspereza. La geometría fractal es útil por la necesidad de desarrollar categorías descriptivas para la microtopografía, que es muy irregular en forma. Los fractales son una familia de formas irregulares y complejas que existen en la naturaleza. Demuestran características importantes tales como la similitud propia (un objeto tiene la capacidad de descomponerse en copias de sí mismo de escala decreciente) y el escalado (la irregularidad de la forma puede ser matemática y visualmente idéntica a cualquier escala). La introducción de la geometría fractal ha permitido documentar la rugosidad de las superficies y así, distinguir entre las zonas de la herramienta que poseen huellas de uso y las que no (Stemp 2014, 16).

Con la perfilometría se ha conseguido confirmar, con datos numéricos y comparables, que el contacto de la herramienta con distintos materiales produce diferentes huellas de uso, una afirmación que ya se propuso y se ha admitido desde la década de los ochenta, pero que ahora se ha demostrado cuantitativa y no solo cualitativamente. La perfilometría, si aplicada en un contexto de arqueología experimental, puede ayudarnos a comprender mejor cómo se van desarrollando las huellas de uso a medida que aumenta el trabajo realizado con las herramientas, comprendiendo mejor los mecanismos de formación de los rastros. Otra ventaja de esta técnica es que los escaneos duran menos de un minuto para cada huella de uso, acelerando el ritmo de trabajo de laboratorio y permitiendo estudiar mayor cantidad de piezas (Stemp 2014, 23).

### 3.- Análisis de residuos

El análisis de residuos constituye en la actualidad una parte fundamental del estudio funcional de las herramientas líticas y se tiene como objetivo “*identificar los residuos orgánicos e inorgánicos presentes en el útil. (...) Se originan debido a (1) el aumento de temperaturas causado por la fricción entre el artefacto y la materia trabajada; (2) la presencia de agua en la material trabajado; (3) altos porcentajes de sílice en herramientas de esquisto; y (4) la acidez y partículas abrasivas que contienen algunos materiales orgánicos*” (Hardy y Garufi 1998; Hardy 2004; Levi-Sala 1986; Lombard 2008; Loy 1983 y 1993; Thomas 1993; Shanks *et al.* 2001, citado por Marreiros, Mazzucco, Gibaja y Bicho 2015, 16). “*Es posible estudiar estos residuos gracias a que han quedado incrustados en fracturas, grietas y estrías microscópicas o adheridas a la superficie*” (Haslam 2006; Langejans 2010; Longo, Skakun, Anderson y Plisson 2005; Wadley, Lombard y Williamson 2004; Wadley y Lombard 2007, citado por Marreiros *et al.* 2015, 17)<sup>3</sup>. Los mayores problemas que surgen en este tipo de estudios son “*los agentes contaminantes postdeposicionales presentes en el sedimento en el que se encuentra el útil, restos orgánicos no relacionados con la función de la herramienta y la mala praxis durante la excavación y después de ella*” (Evans y Donahue 2005; Grace 1989 y 1996, citado por Marreiros *et al.* 2015, 17).

En el apartado metodológico del análisis de residuos se describirán, por un lado, las técnicas basadas en el análisis óptico de los residuos y, por otro, los métodos de análisis bioquímicos y de utilización de infrarrojos.

#### 3.1.- Análisis óptico de los residuos

El objetivo de este método es identificar los residuos rescatados de las herramientas líticas mediante la combinación de microscopios ópticos, fundamentalmente el estereomicroscopio y el microscopio metalúrgico, y técnicas de iluminación como la luz reflejada y la luz transmitida (Cnuts y Rots 2018, 1717).

La forma en la que se extraigan los residuos del instrumento de piedra condiciona el éxito de los resultados del análisis. El estudio microscópico requiere que las técnicas de extracción recuperen el mayor espectro posible de residuos que puedan estar presentes en el útil, realizando la extracción con la utilización de una pipeta, el baño ultrasónico, y la extracción mecánica con escalpelo o pinzas (Cnuts y Rots 2018, 1720, 1733) (**Figura 3**). La pipeta funciona presionando su extremo distal con respecto a la muestra, creando un vacío que se llena con agua destilada al quitar la presión ejercida. Aplicando el agua en la zona deseada de la herramienta y agitando la superficie con cuidado durante 1 minuto, será posible separar parte de los residuos y succionarlos al haberse mezclado con el agua (se recomienda hacerlo en intervalos de 2 a cinco minutos). Realizar este movimiento es crucial para conseguir un resultado lo más completo y fiable posible, ya que solo así se rompen los enlaces entre residuo y superficie de la piedra. Las ventajas de este *modus*

---

<sup>3</sup> “Wadley”, escrito “Wedley” (sic) en el capítulo de J. Marreiros *et al.* (2015, 17).

*operandi* son la posibilidad de obtener los residuos de un área específica de la piedra, reduciendo el peligro de que las muestras se contaminen (Cnuts y Rots 2018, 1720, 1733). La extracción por ultrasonidos se basa en que las vibraciones de un tanque ultrasónico desprenden los residuos de su refugio. Esta técnica funciona gracias a la intensa vibración que se produce en la superficie de las herramientas, debido a la implosión de burbujas de cavitación, originadas cuando se envían ondas sonoras a través de un líquido (a menor la frecuencia, mayor agitación). Este método también permite retirar residuos de áreas concretas, colocando un pequeño tanque de nylon o poliestireno en la máquina de ultrasonidos y bañando en ellos la herramienta. Se recomienda usar esta técnica para liberar aquellos residuos menos fijados a la piedra, pues carece de fuerza para arrancar las más fuertemente unidas a no ser que se usen disolventes (que a su vez ponen en peligro la integridad de otros compuestos). En este sentido, se desaconseja la aplicación de ultrasonidos por más de 5 minutos ante el peligro de destruir las muestras (Cnuts y Rots 2018, 1720, 1733).

Por último, se descarta completamente cualquier empleo de herramientas de plástico y metal en la retirada de residuos porque provocan estigmas confundibles con huellas de uso en el posterior análisis traceológico (Cnuts y Rots 2018, 1720).

Dries Cnuts y Veerle Rots (2018) han presentado una metodología cuatripartita para la extracción de residuos de las herramientas líticas talladas con el fin de estudiarlos por vía microscópica. El primer paso consiste en reducir la presencia de residuos contaminantes externos con un cuidadoso enjuague con agua destilada; para proceder entonces a una documentación microscópica de todas las zonas de las herramientas en las que se hallan residuos, identificándolos y “atribuir a cada uno una causa probable de deposición”. En tercer lugar, se emplea una de las técnicas descritas anteriormente, pero es necesario recalcar que el baño ultrasónico es incapaz de liberar aquellos residuos mejor fijados al útil (aminoácidos, lípidos o terpenos), mientras que la disrupción mecánica de la pipeta puede soltar parte de estos últimos y, además, extraer residuos de baja densidad o aislados. Finalmente, una vez que se hayan retirado la mayoría de componentes con el agua destilada, se podrán desenlazar las proteínas y lípidos mediante solventes específicos para cada cada contexto. Se pueden estudiar cinco tipos de residuos mediante microscopía: glúcidos, terpenos, hidroxiapatita, aminoácidos y lípidos (Cnuts y Rots 2018, 1718, 1733).

### **3.1.1 Glúcidos (o carbohidratos)**

Los glúcidos son la molécula dominante en la mayoría de los residuos de plantas como el almidón, un polisacárido, es decir una molécula compleja formada por azúcares simples (Cnuts y Rots 2018, 1718).

#### ***Almidón***

El almidón se encuentra presente en la gran mayoría de especies vegetales y se forma durante la fotosíntesis para almacenar la glucosa. Están compuestos por una estructura de moléculas de glucosa y adoptan formas elípticas y esféricas, teniendo cada especie de

planta un almidón característico, lo que los convierte en un hallazgo muy valioso para la investigación (Price y Burton 2011, 131-132).

El almidón es uno de los compuestos orgánicos que más información nos aportan acerca de las estrategias subsistenciales de las sociedades prehistóricas (Lu 2003, 119). Los gránulos de almidón son capaces de sobrevivir durante miles de años si se encuentran en condiciones deposicionales de desecación o congelamiento. El almidón queda atrapado en las microfracturas que se hallan en la superficie de las herramientas de piedra y su presencia puede responder al uso al que fueron destinados. Lo que no se ha podido explicar plenamente es la supervivencia de grandes cantidades de almidón en la superficie de herramientas de sílex u obsidiana sin estar dentro de las fracturas microscópicas. El almidón requiere de aumentos medios-altos para su identificación taxonómica (100-500x) y la tarea se facilita cuando se tiñe el residuo con yodo, que colorea de azul el almidón. Además, se pueden emplear tintes como el azul de tripano, que colorea gránulos que puedan estar deformados o dañados, dejando intactos a los que estén íntegros. Por último, la tinción también puede ayudar a detectar productos alimenticios con almidón que hayan sido cocinados (Barton 2007, 1752-1760).

La preservación de la estructura es el objetivo principal al extraer los residuos que se encuentran en superficie de la piedra (o incluso en los sedimentos que han quedado encostrados sobre ella y que la rodean). Dentro del abanico de residuos que pueden analizarse en las herramientas de piedra, el procedimiento estándar de recuperación de fitolitos para su análisis químico pone en peligro los almidones, pues la muestra, extraída a partir de la sonicación de las herramientas en agua destilada, tiene que secarse en un horno, rehidratarse y ser tratada con ácidos y agentes oxidantes, lo que obliga al profesional a adaptar la metodología para reducir al mínimo el riesgo de perder pruebas que nos acerquen a la vida pasada de los instrumentos. La gran mayoría del almidón puede separarse de los fitolitos sin perjudicarlos siempre y cuando se proceda primero a una flotación de la muestra, en una disolución de cloruro de cesio (CsCl), y, posteriormente, se realizan de manera intermitente centrifugados a 2000 rpm durante cinco minutos, decantado el flotante tras cada repetición (Pearsall, Chandler-Ezell y Zeidler 2004, 427-430).

### **3.1.2.- Terpenos o terpenoides**

Se trata de compuestos de hidrocarburo (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>) que se encuentran en todos los organismos vivos, pero su presencia es dominante en las resinas de las plantas. Hasta ahora, han sido identificados unos 30.000 terpenos y se les atribuye un papel importante en la supervivencia de las plantas por su interacción con el medio ambiente (Langenheim 2003, 26, 30).

#### ***Resinas***

El empleo de resinas por parte de comunidades prehistóricas para fijar láminas, laminillas o puntas, entre otros, a un vástago de materia orgánica, es una práctica que se ha constatado a partir del análisis de residuos. Este apartado de la investigación se ha topado

con algunos problemas en la literatura, pues se ha tendido a asumir que cualquier presencia de residuos en una zona lejana a la zona activa del útil (área que presenta huellas funcionales), sea considerada como una evidencia de enmangue mediante productos naturales. Solo cuando se conozcan las causas de la presencia de los distintos residuos que pueden aparecer en la superficie de los útiles, será posible efectuar un análisis de residuos fiable, pues hay otras causas ajenas al uso por las que la piedra pueda adquirir compuestos orgánicos e inorgánicos (por ejemplo, al colocar la herramienta en el suelo). La detección de adhesivos se ha probado mayoritariamente por medios microscópicos, siendo escasos los análisis químicos. Sin embargo, se recomienda llevar a cabo ambos procedimientos para corroborar los resultados de la microscopía; de haberse realizado más estudios experimentales y test a ciegas en el pasado, el conocimiento acerca de los enmangues sería mucho más amplio y profundo en la actualidad (Rots 2014, 36).

En ocasiones, las resinas pueden detectarse a simple vista y su estudio ha posibilitado identificar el tipo de enmangue. Sin embargo, encontrar adhesivos no tiene por qué significar que el objeto estuviera enmangado, pues puede obedecer a que se creara una aglutinación de resinas que actuó como vástago. Para delimitar la extensión del enmangue hay que tener en cuenta no solo la distribución de adhesivo por la superficie, sino también buscar aquellos sitios donde empiezan a aparecer pequeñas trazas en la superficie del útil (indicando que no tenían una capa de resina que protegiera la superficie). Tampoco se puede asumir una zona de enmangue a partir de unas pocas evidencias de resina, pues se ha documentado que la resina, al aplicarse caliente y líquida, podría gotear sobre áreas distales al enmangue. Además de lo anterior, es difícil averiguar la cantidad de resina usada, si bien se untaba en abundancia o se aplicaba con precisión en la parte deseada. Parece ser más prudente inferir únicamente los límites del enmangue y la orientación de la herramienta por la presencia de adhesivos (Rots 2014, 36-37).

En un estudio de Alfred Pawlik y Jürgen Thissen (2011, 1702-1706) se hallaron y analizaron resinas en herramientas de piedra. Para ello, utilizaron un microscopio de bajos y altos aumentos (estereomicroscopio de 6-57x/ microscopio de luz reflejada de 100-500x), que les permitió identificar residuos de color negro, similares a resinas de abedul, que habían sido halladas en otros contextos temporales y espaciales. Para comprobarlo analizaron los residuos con un microscopio electrónico de barrido (sin recubrir la muestra con un material conductor de carbono u oro-paladio, sacrificando calidad de la imagen a cambio de proteger los componentes de los residuos de contaminación), que mostró que era de origen vegetal al observarse fibras de tejido de plantas y restos de células. Por último, se llevó a cabo una prueba de fluorescencia de rayos X, por energía dispersiva (EDX), que emplea radiación electromagnética, para hallar la composición elemental de los residuos identificados. Se interpretó que mientras que el hierro, manganeso, aluminio, sodio y magnesio detectados son elementos contaminantes procedentes del sedimento en el que se encontraban las herramientas, el potasio, calcio y azufre coincidía con los elementos que otros análisis de EDX habían encontrado en herramientas experimentales y arqueológicas enmangadas con resina de abedul, confirmándose así la hipótesis de los autores.

### 3.1.3 Hidroxiapatita

La hidroxiapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) es un compuesto inorgánico de calcio que asume el 70% de la masa de la materia dura animal (hueso y cuerna). Los tejidos de hidroxiapatita tienen menor capacidad de adherirse a las superficies de las herramientas líticas. Esto puede estar relacionado con el hecho de que los residuos biominerales como éste contienen menos porcentaje de aminoácidos que otros compuestos como los terpenos, que se adhieren con más fuerza. Realizando experimentos con útiles replicados se ha podido comprobar que la materia compuesta parcialmente por hidroxiapatita (junto con carbohidratos) queda mejor fijada a la superficie de la herramienta, si ésta ha realizado actividades de presión intensa (como el lanzamiento de lanzas o disparo de flechas), mientras que trabajos de baja presión no consiguieron una adhesión efectiva de estos residuos (Cnuts y Rots 2018, 1718, 1728, 1734).

Recientemente se han conseguido identificar residuos óseos preservados en la zona activa de herramientas paleolíticas mediante la espectroscopía Micro-FTIR, que mide la cantidad de radiación infrarroja que absorben materiales orgánicos (y algunos inorgánicos) cuando son atravesados por estas partículas. Posteriormente, se compara la absorción calculada con una base de datos de referencia. Esta evidencia fue corroborada por un MEB, encontrándose fibras blanquecinas en el filo de la herramienta y manchas opacas de color blanco en depresiones microscópicas de la superficie. Un último análisis mediante un EDX (descrito en el análisis de resinas) permitió identificar la presencia del compuesto mineral y que se habían preservado fibras de colágeno (Zupancich, Nunziante-Cesaro, Blasco, Rosell, Cristiani, Venditti, Lemorini, Barkai y Gopher 2016, 3).

### 3.1.4 Aminoácidos

Se trata de moléculas orgánicas formadas por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, que reaccionan y se conectan entre sí pudiendo formar complejísimas macromoléculas, como las proteínas (Price y Burton 2011, 7, 105). Son las moléculas dominantes en los análisis de residuos de las herramientas líticas debido a estar precisamente formadas por aminoácidos. Sin embargo, se ha podido demostrar experimentalmente que el trabajo de materiales en estado fresco (por ejemplo, la piel) une con mucha más fuerza las proteínas a la superficie pétreo que si se trabajaran materias ya secas. Si después de su uso, los útiles son depositadas y se dejan secar, la deshidratación provocará que se formen lazos hidrofóbicos entre los aminoácidos y el soporte lítico, quedando mayor cantidad de residuos de proteínas en la herramienta que, además, repelen el agua, algo que ayuda a su preservación (Cnuts y Rots 2018, 1728, 1733).

La extracción de aminoácidos es una de las tareas más complicadas a raíz de lo que se ha descrito en el párrafo anterior. Así, liberar las proteínas de la superficie pétreo es complicado con la utilización de la pipeta con agua destilada y, más aún, con la cubeta ultrasónica. Por ello se ha probado el uso de disolventes como el dodecilsulfato sódico (SDS) al 2% o el hidróxido de amonio al 5%. Eso sí, después de procurar extraer el resto

de los residuos por las vías mencionadas, ya que estos productos dañarían los compuestos (Cnuts y Rots 2018, 1733).

Se han documentado proteínas y ADN atrapados en microfracturas de la superficie de las herramientas talladas de obsidiana y sílex (con una profundidad media de 44 $\mu$ m). Antes de proceder a su estudio debe retirarse la muestra del sitio en el que ha quedado refugiada. Este paso previo es de vital importancia pues marca la posibilidad y el grado de éxito de los análisis químicos. Se ha demostrado que los dos mejores métodos para extraer ADN de piezas líticas son: (1) colocar las piezas en un agitador a 900 rpm durante 18 horas, bañándolas en cloruro de guanidinio; y (2) sumergir las piezas en hidróxido de amonio al 5% y realizar una limpieza de ultrasonido durante 3 minutos y colocarlas en un agitador a 900 rpm durante media hora. Utilizando cualquiera de estas técnicas se ha podido extraer entre un 60 a un 80% de residuos de ADN, incluso en herramientas que hayan sido lavadas con agua corriente como suele ocurrir en la mayoría de los procedimientos de laboratorio de cualquier investigación arqueológica. Esto demuestra dos puntos fundamentales: que pueden revisarse estudios de residuos previos que no hayan utilizado estas técnicas y que hayan reportado resultados pesimistas en cuanto a la recuperación de moléculas y que parte de la materialidad arqueológica lítica depositada en fondos de museos y colecciones puede y merece ser estudiada de nuevo (Shanks, Bonnichsen, Vella y Ream 2001, 967, 969, 971).

### **3.1.5 Lípidos**

Son moléculas formadas por carbono, hidrógeno y oxígeno (en ocasiones también por fósforo, nitrógeno o azufre), cuya función principal es acumular energía para las células. Constituyen uno de los componentes más frecuentemente identificados entre los residuos orgánicos, como es el caso de la cera de abeja o de tejido adiposo. Se han definido por su insolubilidad en agua debido a sus propiedades hidrofóbicas, por su capacidad de disolverse en solventes orgánicos (cloroformo, metanol), y por estar contruidos a partir de grupos de largas cadenas de hidrocarburos. Los más relevantes para las investigaciones arqueológicas han sido los ácidos grasos y los esteroides, que son algunos de los subgrupos y que ayudan a distinguir la naturaleza de la materia prima trabajada. Los ácidos grasos son cadenas de hidrocarburos que acaban en un grupo ácido (-COOH) y cuando se encuentran sueltos aparecen en pequeñas cantidades y, la mayoría, combinados con alcoholes. Los ácidos grasos pueden dar pistas acerca de si el material trabajado es animal (mayor presencia de ácidos grasos saturados) o vegetal (mayoría de ácidos grasos poliinsaturados). Los esteroides aportan más información, pues se distinguen zoosteroides y fitoesteroides, lo que posibilita identificar la clase e incluso la especie. Además, plantas y animales comparten una reducida serie de esteroides (Price y Burton 2011, 103-105). Al igual que ocurre con los aminoácidos y terpenos, la extracción de residuos lípidos de las herramientas de piedra es difícil, por no decir imposible, por procedimientos que no dañan otros compuestos químicos (pipeta y ultrasonidos), con lo cual ha de situarse al final de la lista de tareas y realizarse con una mezcla de etanol, agua y acetoneitrilo (EWA),

tras lo cual, los lípidos pueden ser analizados mediante métodos bioquímicos (Cnuts y Rots 2018, 1728, 1733).

### **3.2 Métodos analíticos para la identificación de residuos**

#### **3.2.1.- Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)**

El “*ensayo por inmuoabsorción ligado a enzimas*” (ELISA) es un inmunoanálisis cuyo objetivo es detectar la existencia y la cantidad de una determinada sustancia en una muestra orgánica, a través de una reacción inmunológica entre anticuerpos y antígenos. Se basa en el principio de que un antígeno es una sustancia que provoca la creación de anticuerpos en contra de esta. Si al anticuerpo o antígeno se le enlaza molecularmente una enzima se manifestará una coloración en la muestra analizada al producirse la reacción inmunológica. Es decir, en caso positivo, una muestra tomará una intensidad de color determinada que, en condiciones controladas, puede medirse con un espectrofotómetro. Esto permite detectar y cuantificar, por ejemplo, la presencia de una sustancia orgánica en un extracto de las proteínas atrapadas en la superficie de una herramienta lítica. ELISA ha sustituido al “*Radioimmunoassay*”, “*Radioinmunoanálisis*” (RIA) debido a que evita los peligros de trabajar con radiación, reduciendo también el coste de los estudios (Tuross, Barnes y Potts 1996, 289-290).

En la técnica ELISA se inducen tres experimentos por cada caso: 1) se coloca en un pocillo (pequeño recipiente de plástico que atrapa a las proteínas) la sustancia extraída del útil lítico en la que suponemos que aún quedan antígenos; 2) en otro pocillo se coloca una muestra que sí que contenga antígenos determinados; 3) en un tercer pocillo se incubaba una muestra que no contenga el antígeno. Ahora se procede a colocar en cada caso una cantidad idéntica de anticuerpos enlazados a la enzima y se analiza cuantitativamente el color que ha adoptado cada una. Esto también funciona al contrario, es decir, colocando en los pocillos el anticuerpo y añadiendo la molécula de antígeno-enzima (Tuross, Barnes y Potts 1996, 291).

Con la técnica de ELISA se ha conseguido identificar la presencia de proteínas de sangre de cabra en herramientas experimentales usadas para descuartizar este animal, realizando experimentos separados con anticuerpos de cabra, cerdo, pavo, vaca y caballo, provocando mayor reactividad que el resto, los anticuerpos de cabra. Para asegurar la eficacia de esta técnica es importante conocer la concentración de proteínas en el extracto analizado, porque demasiada concentración puede llevar a falsos positivos. Tuross y Barnes ya advierten de la poca sangre que queda en sus herramientas experimentales, con lo que entre el material arqueológico será más difícil aún hallar la presencia de proteínas, más aún cuando se sabe que las piezas puedan haber estado expuestas a radiación ultravioleta solar, que destruye los residuos de sangre (Tuross, Barnes y Potts 1996, 293-295).

### **3.2.2.- Cross-over immunoelectrophoresis (CIEP)**

La *inmunoelectroforesis cruzada*”, como inmunoanálisis, se sustenta en los mismos principios de reactividad que ELISA o RIA. Sin embargo, antes de inducir la reacción de los anticuerpos, trata de separar las diferentes proteínas entre sí, en caso de que la muestra contenga varias sustancias desconocidas. La electroforesis se refiere al movimiento de las moléculas cuando se las coloca en un campo eléctrico. Se separan las proteínas colocando una fuente de energía que tenga un polo positivo y negativo y, dado que las proteínas están cargadas eléctricamente, aquellas positivas se verán atraídas hacia el negativo, y viceversa. Además, dado que la masa de estas moléculas varía, las velocidades son diferentes, tras un tiempo se individualizan. En el caso de la inmunoelectroforesis cruzada, se producen dos electroforesis, pero en la segunda, el sustrato sobre el que se trasladan las moléculas se prepara mezclándolo con el antígeno, de manera que la reacción se produce a la misma vez que el traslado hacia los polos de carga opuesta (Högberg, Puseman y Yost 2009, 1729-1731).

Esta técnica se ha desarrollado hasta convertirse en una de las más sensibles a la hora de detectar antígenos (“proteínas desconocidas adheridas a un artefacto tras su uso”) que han estado asociadas a las piezas líticas. Es relevante señalar que tras el CIEP “*la identificación de animales representados por resultados positivos se suele hacer a nivel familiar. Todas las especies de mamíferos tienen determinaciones de suero proteico antigénico en común; por lo que se producen reacciones cruzadas entre animales relacionados (...), por ejemplo, el suero inmunológico bovino reacciona con sangre de bisonte, o antisuero de ciervo (...) con alce o reno*” (Högberg, Puseman y Yost 2009, 1731). De aquí que sea necesaria la integración de los estudios de residuos con análisis traceológicos de las herramientas, para identificar con más certeza los procesos de trabajo en los que participaron estos materiales (Högberg, Puseman y Yost 1729, 1731, 1736).

### **3.2.3.- Microespectroscopía infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR)**

“*La espectrofotometría de transformada de Fourier*” (FTIR) se ha empleado para identificar los residuos presentes en las zonas activas de las herramientas líticas, tratando de comparar sus resultados con los del análisis funcional.

En primer lugar, se limpian los útiles para retirar concreciones o deposiciones del sedimento, después de lo que se colocan en un baño ultrasónico en agua desionizada durante cinco minutos. Se sigue el procedimiento con un análisis óptico traceológico, documentando todas las huellas de uso. Por último, se procede a integrar la microespectroscopía infrarroja, que analizó todas las regiones de las herramientas que no tuvieran huellas de uso, creando una colección de referencia con mediciones de la superficie “natural” de las piedras. Después se analizaron algunos puntos en las áreas con huellas de uso para individualizar los microresiduos presentes en ellas (Nunziante y Lemorini 2012, 300).

Este procedimiento se utilizó por primera vez en herramientas líticas en el estudio de Stella Nunziante y Cristina Lemorini (2012), demostrando que se trataba de una técnica

que no altera la superficie del instrumento, ni destruye o altera los residuos. En la gran mayoría de casos, la FTIR corroboró las inferencias funcionales de los rastros de uso y fue capaz de individualizar residuos orgánicos e inorgánicos, confirmando la presencia de tejidos duros y blandos de origen animal. El alto porcentaje de residuos en las herramientas arqueológicas analizadas, indica la existencia de condiciones favorables para su conservación por: 1º - que las herramientas líticas son empleadas en trabajos de materias en estado crudo, 2º - su largo tiempo de uso; y 3º - procesos postdeposicionales favorables.

La microespectroscopía se enfrentó a algunas dificultades de tipo metodológico, fundamentalmente, con la aplicación de la FTIR sobre residuos que siguieran presentes en la superficie de las herramientas. Es decir, que no se hubieran extraído, pues en este caso la FTIR produce reflejos que alteran los datos obtenidos. Además, si el residuo es tan fino que deja pasar la luz, las mediciones serán imprecisas porque el soporte pétreo absorberá parte de la luz (Monnier, Frahm, Luo y Missal 2017, 159).

Trabajos recientes (Monnier *et al.* 2017, 176; Monnier, Frahm, Luo y Missal 2018) han seguido investigando y experimentando, solucionando parte de los problemas que la técnica mostraba al principio. Con respecto al análisis de residuos vegetales, ha podido demostrarse que es válido emplear este método en “substratos reflectantes” y que las mediciones no se ven alteradas. Por otro lado, los resultados obtenidos de la FTIR de residuos de herramientas experimentales pueden compararse con librerías de espectros de infrarrojos ajenas a la investigación arqueológica. Por último, se ha comprobado la gran sensibilidad de la FTIR en la detección de la composición de los residuos, convirtiéndose en una herramienta de gran precisión. El mismo equipo ha desarrollado un trabajo experimental similar, pero esta vez aplicado a residuos de origen animal (Monnier *et al.* 2018, 41), confeccionando una colección de referencia de los espectros obtenidos por el análisis FTIR de los tipos de residuos más comunes en las herramientas prehistóricas (piel, carne, grasa, sangre, plumas, pelo de mamíferos, hueso y escamas de pez). De la misma manera que en el artículo anterior, se ha investigado hasta qué punto la estructura silíceo de las herramientas de piedra altera o distorsiona los resultados de la técnica.

#### **4.- La traceología de herramientas líticas en el estudio del Neolítico andaluz**

La labor investigadora de las últimas décadas sobre la Prehistoria del sur de la Península ibérica ha puesto de manifiesto la complejidad de algunos procesos históricos, que se han convertido en importantes focos de debate, como lo son el proceso de neolitización o el desarrollo y consolidación de la economía de producción de alimentos. Desde hace más de treinta años el análisis funcional lleva aportando novedades que se abordan en este apartado, y ha demostrado la consolidación de la traceología como integrante fundamental del elenco interdisciplinar del que requiere la Arqueología prehistórica. Además, como se verá, en la Iberia meridional se ha conseguido estudiar los conjuntos líticos de determinados yacimientos en su totalidad, hecho que no es habitual en la investigación de la traceología peninsular.

##### **4.1.- Material de estudio**

###### **4.1.1.- Objeto de estudio**

El Neolítico antiguo de Andalucía oriental ha sido estudiado en mayor profundidad debido a que, desde hace décadas, el proceso de neolitización de esta región ha despertado el interés de gran número de grupos de investigación (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 37-41). Los yacimientos en los que se han llevado a cabo estudios traceológicos son, la cueva de Los Murciélagos de Zuheros (Zuheros, Córdoba) (González *et al.* 2000 ; Carvalho *et al.* 2012), la cueva de El Toro (Antequera, Málaga) (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 1996; Rodríguez-Rodríguez 2004) la cueva de Nerja (Nerja, Málaga) (Gibaja *et al.* 2010) y los poblados al aire libre de Cabecicos Negros (Vera, Almería) (Rodríguez-Rodríguez 1999), La Loma<sup>4</sup> (Íllora, Granada) (Aranda *et al.* 2012) y los Castillejos (Montefrío, Granada) (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013; Perales *et al.* 2015). En todos los casos, su desarrollo tiene lugar entre el 5500 cal. ANE y el 4700 cal. ANE, aproximadamente (Martín-Socas *et al.* 2018, 464) (**Figura 4**).

La cueva de los Murciélagos de Zuheros (Zuheros, Córdoba) se localiza en los terrenos terciarios de la Subbética cordobesa, dominados por calizas y margas. Los estudios que nos competen son aquellos derivados de las campañas realizadas entre 1990 y 2002, por un equipo liderado por Beatriz Gavilán, pues constituyen los conjuntos líticos que fueron objeto de análisis funcional. Los Murciélagos de Zuheros está constituida por tres sectores que podrían haber formado parte de una sala común que habría colapsado. Las excavaciones de la “*Cueva Grande*” han aportado información novedosa “*relativa a la economía, al clima y a la vegetación, a las estructuras antrópicas (...), acerca de dataciones de C<sup>14</sup> y un volumen considerable de vestigios materiales*” (Carvalho *et al.* 2012, 151). Este conjunto de datos ha llevado a la división del Neolítico de Murciélagos en tres fases de ocupación: A – 2ª mitad del VI milenio (5300-5010 cal ANE), B – 2º

---

<sup>4</sup> Aunque en este yacimiento existan fosas con dataciones correspondientes al Neolítico antiguo, “*parece que la mayoría del material (analizado y analizable) procedería del Neolítico reciente*” (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013), razón por la que describiremos su contexto junto a los otros sitios de la etapa más tardía del Neolítico.

tercio del V milenio (5010-4850 cal ANE), ambas consideradas Neolítico antiguo; y C – finales del V-inicios del IV milenio (4450-3600 cal ANE), correspondiente al Neolítico reciente (González *et al.* 2000, 172-173; Carvalho *et al.* 2012, 150-155).

En la Sierra de El Torcal, sistema montañoso que separa la Andalucía mediterránea del Surco Intrabético, se localiza la cueva de El Toro (Antequera, Málaga). Su configuración actual debe relacionarse con los hundimientos y desplomes que se han documentado a lo largo del tiempo y, en especial, uno datado en el 4045-3713 cal. ANE en el primer tercio del IV milenio<sup>5</sup>. El espacio interior ha sido objeto de cinco excavaciones sistemáticas, realizadas entre 1977 y 1988, bajo la dirección de Dimas Martín Socas y M<sup>a</sup> Dolores Camalich Massieu. En el marco del Proyecto General de Investigación, se realizaron, también, una serie de cortes de control al exterior y una serie de estudios edáficos del entorno de la sierra. Así mismo, se activó un programa de prospecciones arqueológicas superficiales que se ejecutaron en el Torcal y en todo el sector del piedemonte sur de la misma.

Las claves para entender el papel de Toro comienzan en la complejidad de la secuencia estratigráfica de los sectores E3/E4 y en su dilatada diacronía que, en términos de la Prehistoria reciente, abarca desde el Neolítico Antiguo hasta el Bronce Antiguo (hallazgos superficiales constatan también la presencia romana y medieval). El Neolítico está comprendido por dos fases, que han sido individualizadas en base a criterios estratigráficos, cronológicos, de las características de los conjuntos materiales y de los contextos. Así, - Fase IV – 5320-4950 cal ANE, correspondiente al Neolítico antiguo (Camalich y Martín-Socas 2013, 106-107); y Fase III, subdividida, como veremos, en las subfases IIIB y IIIA, que comprenden el Neolítico reciente.

El Toro ha servido para explicar las dinámicas de las sociedades del área central de Andalucía, y los resultados de las investigaciones realizadas las relacionan con los obtenidos en otros yacimientos de esta zona, caso de la cueva de los Murciélagos de Zuheros. Estos grupos humanos desarrollaron estrategias de adaptación a su entorno más inmediato, activando una economía agropecuaria que se consolidará con el paso del tiempo, así como se irá produciendo el avance de las técnicas de producción y el creciente control del territorio de explotación. Toro, en concreto, albergó a una comunidad preeminentemente ganadera, que aportaba productos cárnicos y pieles, que se implementaba con actividades cinegéticas y de recolección de frutos silvestres. En lo que respecta a los protocolos de estudio, el análisis funcional del instrumental lítico tallado ha sido un ejemplo a seguir en la historia de la traceología ibérica, pues se trata de uno de los pocos yacimientos en los que este conjunto material ha sido analizado en su totalidad (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 1996, 161-162; Martín-Socas *et al.* 2004, 205-211).

Otro yacimiento en cueva de amplitud cronológica en su ocupación es la cueva de Nerja (Nerja, Málaga), situada en el contexto de la costa mediterránea malagueña. En las áreas excavadas, se han identificado registros materiales que abarcan desde el Pleistoceno

---

<sup>5</sup> La entrada original a la cueva quedó bloqueada por un desplome provocado por un episodio sísmico que “se sabe puede haber afectado a toda la cordillera Penibética” y que “ha sido datado recientemente en el yacimiento de El Aguadero, Periana Málaga” en la fecha indicada (Égüez *et al.* 2016, 110-111).

superior final hasta el Holoceno. Seis salas (Vestíbulo, Torca, Belén, Cascada, Cataclismo y Mina) son las que contenían el material neolítico (Simón 2003, citado por Gibaja *et al.* 2010). La secuencia estratigráfica de la Sala del Vestíbulo se divide en Unidades litoestratigráficas (Unidades 1-7), y la de Mina en Etapas litoestratigráficas (Nerja 1-12) (división en función de criterios sedimentológicos). Se ha correlacionado la estratigrafía arqueológica en este esquema, disponiendo de dos dataciones de Vestíbulo del Neolítico Antiguo (5630-5470 cal ANE y 5520-5280 cal ANE) (Aura *et al.* 2010, 224-225, 227). Sin embargo, estas fechas tienen que tratarse con cuidado en el caso que nos concierne, pues solo se ha podido datar la sala de Vestíbulo y el único utillaje lítico que se ha estudiado por medio del análisis funcional en Nerja es aquel procedente de las campañas de 1965 a 1967, dirigidas por Antonio Arribas Palau y Francisco Jordá Cerdá documentadas en la Sala de la Mina. El Neolítico de la Mina ha sido subdividido en tres fases sin calibrar: Etapas Nerja 9-10 – Medios del VI milenio ANE, 2ª mitad V milenio ANE, conforman el Neolítico antiguo; Etapa Nerja 11 – entre el 4950 y el 3110 cal ANE, el Neolítico reciente (Gibaja *et al.* 2010, 98-100; Aura *et al.* 2010, 221-222; Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 39).

El primer poblado al aire libre que aquí se presenta es el de Los Castillejos de Montefrío, yacimiento que forma parte del paraje de Las Peñas de los Gitanos (Montefrío, Granada). Así, se realizó un primer sondeo en 1953, pero los trabajos arqueológicos en profundidad se efectuaron en 1971 y 1974, a cargo de A. Arribas y F. Molina, actividad que reanudaron en 1991 y 1994 (Arribas y Molina 1979, citado por Martínez *et al.* 2009, 16. Afonso *et al.* 1996; Ramos *et al.* 1997; Cámara *et al.* 2005, citados por Martínez *et al.* 2009). Las intervenciones más recientes han permitido replantear el carácter de la ocupación humana de los Castillejos y defender una mayor estabilidad en la ocupación de estos grupos humanos en su territorio. Tras un primer período de estabilización se producen transformaciones en unos pocos decenios, con una duración aproximada de medio siglo. La funcionalidad espacial del yacimiento ha revelado la práctica de almacenamiento de cereal en torno a hogares/hornos, la mayor importancia de bóvidos desde el V milenio ANE y, posteriormente, de suidos. Lo anterior, unido a la aparición común de fauna expuesta al fuego y de sílex termoalterado, sustenta el planteamiento de una mayor estabilidad de las sociedades neolíticas de Los Castillejos. La cronología de este poblado es la siguiente: Neolítico antiguo – 5300-4800 cal ANE; Neolítico medio – 5000-4900 cal ANE; y Neolítico reciente – 4200-3300 ANE (Martínez *et al.* 2009, 15-17; Martínez *et al.* 2010, 163-164).

Los primeros resultados del análisis funcional de este yacimiento se adelantaron en 2013 (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 39, 41) y se publicaron de manera independiente en 2015 (Perales *et al.* 2015). Se ha de precisar que en Los Castillejos solo se ha estudiado un muestreo de la totalidad de piezas identificadas, fundamentalmente soportes laminares y sin retoque, correspondientes al Neolítico Antiguo.

El segundo ejemplo de poblado que se trata aquí es el de los Cabecicos Negros (Vera, Almería), situado actualmente próximo a la desembocadura del río Antas, a 20 msnm. Sin embargo, durante la ocupación neolítica se trataba de un emplazamiento localizado

en la zona costera y caracterizado por “*pequeñas estructuras de paredes de piedra y barro con cubierta vegetal*” (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 41). Bajo la dirección de M.<sup>a</sup> Dolores Camalich Massieu y Dimas Martín Socas, en el marco del Proyecto General de Investigación “*Los inicios de la Metalurgia en la cuenca del río Almanzora*”, en 1991 se realiza una primera campaña de excavación. Las cuatro dataciones radiocarbónicas sobre muestras de vida corta (todas *Cerastoderma edule*) publicadas (Camalich y Martín-Socas 2013, 106-107), sitúan la ocupación durante el Neolítico antiguo, entre el 5910/ 5700 cal ANE y el 4990/ 4760 cal ANE. Este poblado destaca principalmente por la fabricación de una artesanía particular, como lo demuestra las evidencias de distintas fases de la *cadena operativa* en la fabricación de brazaletes de pizarra, caliza o mármol. Además de estos elementos (que ascienden a 132 piezas), se documentan cuentas discoidales, colgantes elipsoidales y conchas perforadas de manera natural (Goñi *et al.* 1999, 163-164). La representación cuantitativa de estos elementos de adorno personal conduce a plantear una producción excedentaria, que superaría la demanda de la comunidad que los fabrica (Goñi *et al.* 1999, 169), generándose “*excedentes artesanales orientados al intercambio regional e interregional*” (Camalich y Martín-Socas 1999 y Goñi *et al.* 2002, citados por Camalich-Massieu *et al.* 2010, 132). El desarrollo de los estudios funcionales efectuados por Rodríguez-Rodríguez (analizando, una vez más, el utillaje lítico en su totalidad) ha sido clave en la comprensión del papel del Cabecicos Negros en el Neolítico antiguo, como ejemplo de sociedad cuyas dinámicas están determinadas por factores económicos distintos a las estrategias económicas de carácter subsistencial (Cámlich-Massieu *et al.* 2010, 132-133).

El número de publicaciones acerca del Neolítico reciente de esta zona es menor al de la fase antigua, teniendo como resultado un menor número de yacimientos estudiados y, en consecuencia, menos conocimiento acerca del uso dado al utillaje lítico de estas comunidades. De hecho, entre los yacimientos presentados, únicamente los conjuntos de Cueva de El Toro y de Nerja son suficientemente extensos como para que la inferencia funcional pueda considerarse representativa de las actividades productivas del yacimiento, quedando descartado por esta razón el Neolítico reciente de Los Murciélagos de Zuheros. Otro factor ha determinado las posibilidades de estudio del material lítico durante este periodo: los conjuntos procedentes de yacimientos al aire libre o próximos a costas o ríos han sufrido mayores afecciones postdeposicionales, como ocurre en La Esparragosa (Cádiz) (Ramos *et al.* 2008, 389) y La Loma de Íllora (Granada) (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 36, 44). Las piezas de la subfase IIIB de Cueva de El Toro también presentan estigmas que dificultan la inferencia funcional, relacionados con el uso como redil del espacio en el que se hallaron (Rodríguez-Rodríguez 2004, 144).

Como se ha señalado, además de cueva de El Toro y Nerja, dos asentamientos al aire libre han sido objeto de estudios funcionales: La Esparragosa (Chiclana de La Frontera, Cádiz) (Clemente Conte *et al.* 2010; Vijande-Vila *et al.* 2018) y La Loma (Íllora, Granada) (Aranda Jiménez *et al.* 2012) (**Figura 4**). En base a dataciones sobre muestras de vida corta, y con una desviación de 68 y 152 años respectivamente, se ha calculado que el

Neolítico reciente de Andalucía tuvo que extenderse entre el último tercio del V milenio y el último cuarto del IV milenio cal ANE aproximadamente (Martín-Socas *et al.* 2018, 457-459).

El Neolítico reciente de Cueva de El Toro ha sido separado en dos subfases en base a las diferencias encontradas en la intensidad de la ocupación y en las actividades domésticas. Así, se diferencia entre subfase IIIB (4250-4040 al 4040-3950 cal ANE) y subfase IIIA (desde final de la 1ª mitad del IV hasta finales del IV milenio ANE) (Martín-Socas *et al.* 2004, 55; Égüez *et al.* 2016, 114, 117, 119-122). La fase III, en su conjunto, posee el volumen instrumental mejor estudiado de este marco cronológico, siendo el que más información aporta entre todos (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 44). La subfase IIIB comienza con un *“reacondicionamiento del espacio de la habitación (...) (y) la subfase IIIA viene individualizada (...) por un nuevo acondicionamiento del espacio de ocupación”* (Martín-Socas *et al.* 2004, 50-51). Para la subfase IIIB, de ocupación intensa, el espacio fue preparado para la estabulación del ganado, reservándose la entrada de la cueva para la disposición de las estructuras de combustión, en torno a las cuales se concentran las actividades artesanales documentadas. La subfase IIIA está caracterizada por un decrecimiento de la intensidad de ocupación y del impacto humano en la cueva, hechos que pueden ser consecuencia del episodio sísmico descrito con anterioridad (Martín-Socas *et al.* 2004, 50-51; Martín-Socas y Camalich 2014, citado por Égüez *et al.* 2016, 117; Égüez *et al.* 2016, 117, 119-122).

La Etapa Nerja 11 de la Sala de la Mina (entre el 4950 y el 3110 cal ANE) se corresponde al Neolítico reciente, tiempo en el que la materialidad arqueológica sufre una serie de cambios. Así, se produce una transformación en la tecnología cerámica que incide en las formas y en una mayor relevancia cuantitativa de recipientes sin decoración. Igualmente, se evidencia un cambio en el uso de los molinos, ahora orientados a la molturación intensa de granos, coincidiendo con *“la construcción de silos para cereales, frutos del acebuche, piñones o bellotas”* (Simón 2003, 265-266; Gibaja *et al.* 2010, 99).

Entre el 4450 y el 3600 cal ANE (Carvalho *et al.* 2012, 155) se desarrolla el Neolítico reciente en la cueva de los Murciélagos de Zuheros. A causa de la escasez y fragmentación de la materialidad arqueológica, el Conjunto C ha sido el más difícil de estudiar y está caracterizado principalmente por cerámicas sin decoración y *“almagras aguadas”*, mientras que las *“industrias lítica, ósea y ornamental”* están pobremente representadas. Se defiende la idea de que ya desde comienzos del V milenio ANE (Gavilán *et al.* 1996, 326) el contexto de la cueva de Los Murciélagos es el de una sociedad neolítica bien establecida que ocupará este hábitat y explotará sus recursos circundantes de manera *“relativamente continuada, debido a la inexistencia de periodos de recuperación de la cobertura vegetal”*, durante casi un milenio. Desarrolla una economía preeminentemente agrícola y ganadera, acompañada de la recolección de bellotas y aceitunas, y asociada al uso de estructuras de almacenamiento, que son un argumento para sostener *“un tipo de ocupación diferente de la simple ocupación en un breve lapso de tiempo”* (Gavilán *et al.* 1996, 324, 326-327).

Localizado en una meseta saliente junto al río Iro se encuentra el yacimiento de La Esparragosa (Chiclana de la Frontera, Cádiz), en el entorno de la Banda Atlántica de Cádiz. Se contextualiza en lo que se conoce como los “campos de silos”, una forma ocupacional desarrollada a lo largo del IV milenio ANE en la Andalucía occidental. El poblado del Neolítico reciente de La Esparragosa está datado por termoluminiscencia (cerámica) en el  $3305\pm 433$  ANE y  $3179\pm 476$  ANE (Ramos *et al.* 2008, 385-386), y por  $^{14}\text{C}$  AMS (*Ruditapes decussatus*, muestra de vida corta) en el 3006-2854 cal ANE (Vijande-Vila *et al.* 2018, 44). En el año 2002, bajo la dirección de Manuela Pérez García, José Ramos Muñoz y Vicente Castañeda Fernández, se excavaron “*un total de nueve estructuras siliformes y una estructura de enterramiento*” (Pérez *et al.* 2002, citado por Vijande-Vila *et al.* 2018, 41). La consolidación del modelo de silos asociados a lugares de habitación y destinados al almacenamiento de excedentes, debe entenderse en período de despunte de la agricultura y la ganadería. Sin embargo, las investigaciones de la cultura material de este poblado han resaltado la suma importancia que mantiene el aprovechamiento de recursos marinos “*en la esfera económica e ideológica de estas comunidades litorales*” (Vijande-Vila *et al.* 2018, 44-45). El enterramiento de una mujer adulta, cuyo cuerpo fue cubierto con 477 almejas, el amplio abanico de especies marinas que se convierten en parte del aprovisionamiento de la sociedad y son usados como soporte para elementos de ornamentación personal, así como el gran número de útiles empleados en el fileteado de pescado, son evidencias que manifiestan la estrecha vinculación de estos grupos humanos con el medio marino. Es de destacar el análisis funcional del utillaje lítico de La Esparragosa, pues se desarrolló un programa experimental exclusivamente dedicado a descubrir cómo se transforman los útiles líticos de diferentes maneras cuando procesan algunos de los recursos marinos evidenciados en el registro arqueológico (al filetear, descamar, destripar y decapitar), analizándose el conjunto lítico al completo para determinar su función. Cabe destacar el máximo rendimiento que se obtiene de la industria lítica, ya que se hallan algunas herramientas con residuos de empuñadura en sus zonas activas, indicando que la lámina se inserta de diversas maneras cuando los filos se van redondeando (Clemente *et al.* 2010, 275-276, 279-281; Vijande-Vila *et al.* 2018, 40-41 y 44-45).

El último yacimiento que presentamos aquí es La Loma (Íllora, Granada), situado a una media de 600 msnm, en la depresión de la Vega granadina, al pie de la subbética, y rodeado en su entorno inmediato por terrenos aptos para el cultivo. Este sitio ha sido abordado en tres campañas efectuadas entre 2010 y 2011 dirigidas por María Isabel Mancilla Cabello y Julio Miguel Román Punzón. Se documentaron diez estructuras negativas homogéneas en cuanto a sus características formales. Las dataciones absolutas establecen tres momentos concretos de ocupación: fosa E03 – 5450-5260 cal ANE, fosas E02 – 4290-4030 cal ANE y E09 – 4250-4000 cal ANE (Neolítico antiguo) y finalmente fosas E03 – 3600-3340 cal ANE y E08 – 3470-3190 cal ANE (Neolítico reciente). La Loma, situada en plena vega, es un ejemplo que se contrapone a la visión tradicional del Neolítico como un momento en el que la ocupación es de carácter serrano. Sin embargo, las diez fosas no están asociadas a vestigios arqueológicos de otra índole y además han

arrojado una diacronía muy extensa. Estas claves han llevado a interpretar a La Loma como una evidencia para plantear un Neolítico reciente con unas poblaciones de gran movilidad regional, que podrían converger en lugares como este con fines “*de diversa naturaleza, económica, social y ritual, aunque probablemente todos estos aspectos formen parte de un todo difícilmente separable*” (Aranda *et al.* 2012, 106). Por lo referente al análisis funcional, Rodríguez Rodríguez estudió en su totalidad el reducido conjunto de piezas líticas talladas (Aranda *et al.* 2012, 7-11, 96-99, 100, 106-107; Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 46).

#### **4.2.- Métodos y técnicas de análisis**

Los estudios funcionales de los conjuntos líticos que hemos presentado se han realizado siguiendo los postulados principales de la traceología del siglo XX, una tradición heredada de la obra de Sergei Semenov, que ya hemos presentado en este trabajo. La obra de este autor fue dada a conocer en el mundo occidental, durante la segunda mitad de los setenta y los ochenta, principalmente, por los trabajos de Ruth Tringham, su discípulo George Odell, Lawrence Keeley y Johan Kamminga (Tringham *et al.* 1974; Odell 1977 y 1979; Keeley 1980; Kamminga 1982, citados por Stemp *et al.* 2016, 3). Parte de la formación temprana de los analistas funcionales españoles estuvo bajo la coordinación de Bernard Gassin, de la Universidad de Toulouse, uno de los primeros en aplicar la traceología al Neolítico europeo. En el grupo de Gassin también participaron autoras de gran renombre a nivel internacional en lo que al análisis funcional se refiere, como Patricia Anderson, Sylvie Beyries o Annelou van Gijn, por citar a algunas (González *et al.* 1994, 339).

Como se ha podido comprobar, la traceología es una disciplina en la que tiene gran influencia la “escuela” en la que uno se ha formado y este caso no es una excepción. Los grandes maestros del análisis funcional de nuestro país, que actualmente se encargan de dar formación a las nuevas generaciones, son principalmente Ignacio Clemente Conte, Juan José Ibáñez Estévez, Juan Francisco Gibaja Bao, Amelia del Carmen Rodríguez Rodríguez y Jesús Emilio González Urquijo. Estos dos últimos autores fueron, a su vez, los primeros que publicaron acerca del Neolítico en Andalucía (González *et al.* 1994 y Rodríguez-Rodríguez 1994).

En relación con el análisis funcional del utillaje neolítico del sur de Iberia todas las aportaciones usan como método base una primera inspección *de visu*, a lo que sigue una observación mediante lupa binocular y después un análisis pormenorizado con un microscopio metalográfico. Esto es lo que se ha descrito en apartados anteriores como el método de bajos y altos aumentos, en el que tuvieron gran influencia las aportaciones de L. Keeley, pues es el punto de partida para conocer los trabajos que realizaron las herramientas del pasado. Esta aproximación al análisis funcional es aquella que vemos reflejada en todos los trabajos traceológicos mencionados (por ejemplo, Rodríguez-Rodríguez 2004 o Gibaja *et al.* 2010), testigo que toman las nuevas generaciones de traceólogos (Perales *et al.* 2015).

El Neolítico del sur de Iberia también ha recibido la aplicación de una serie de marcos experimentales particulares. Mediante estos se trata de inferir la función de herramientas arqueológicas comparando sus huellas de uso con aquellas presentes en útiles experimentales, creadas por la reproducción de trabajos y tareas supuestamente realizadas por las comunidades prehistóricas (González *et al.* 1994, 324-325). En el contexto del Neolítico andaluz se ha aplicado la experimentación para resolver cuestiones específicas y, por tanto, se han abordado solo parte del utillaje lítico como los elementos de hoz o cuestiones socioeconómicas como los inicios de la producción de alimentos, la cosecha de cereales (González *et al.* 1994 realizaron dos campañas de cosecha usando herramientas experimentales en Asturias y Andalucía), el aprovechamiento de recursos vegetales (González *et al.*, 2000 recolectaron materias vegetales y trataron de reproducir trabajos relacionados con la elaboración de cestería, cordelería y tejido) o “*la reproducción de la cadena operativa asociada a la fabricación de los llamados brazaletes estrechos de pizarra*” (Goñi *et al.* 1999, 163-164). Amelia Rodríguez realizó una experimentación con láminas de sílex para tratar de identificar el origen de “*un desgaste o redondeamiento tan espectacular*” que presentaban los filos de cuatro láminas de la subfase IIIA de Cueva del Toro. Así, las herramientas experimentales trabajaron cuero con ayuda de abrasivos, manipularon la arcilla para elaborar cerámica y rasparon mármol, caliza y pizarra. La autora valoró que la actividad en la que con mayor probabilidad estuvieran involucradas esas cuatro láminas del Neolítico reciente se relacionaron con el trabajo de la piel con abrasivos (Rodríguez-Rodríguez 2004, 146). Igualmente, es bajo esta premisa en la que se inscribe el programa experimental diseñado para conocer el aprovechamiento de recursos marinos del utillaje de La Esparragosa (Clemente *et al.* 2010). Constituye, sin duda, uno de los ejemplos más representativos (Figura 12).

Por último, ya hemos indicado que en la gran mayoría de casos el material lítico ha pasado por una selección previa al análisis funcional, no habiéndose estudiado el utillaje al completo, como sí ha ocurrido en El Toro (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2004), Cabecicos Negros (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 1999), La Esparragosa (González *et al.* 2010) y La Loma (Aranda *et al.* 2012). Sin embargo, de entre este utillaje, debemos destacar que uno de los morfotipos del Neolítico que más atención ha recibido han sido los elementos de hoz, encontrados en los yacimientos de El Toro, Nerja y Bajondillo (Málaga), de Murciélagos de Zuheros y Castillo de Doña Mencía (Córdoba), de Cabecicos Negros y La Esparragosa y La Mesa (Cádiz) (Gibaja *et al.* 2012, 88). Destaca la similitud morfológica (láminas o fragmentos de sílex de entre 25 y 40 mm engarzados ligeramente en posición diagonal en hoces rectas o curvas) y funcional (pulido compacto y topografía lisa con la presencia de estrías que demuestran el movimiento longitudinal del corte) de las láminas que lleva a pensar que fueron empleadas en “*siega en la que el corte de los tallos no se realiza cerca del suelo*” (Gibaja *et al.* 2012, 90). Los elementos de hoz hallados en Andalucía han sido encuadrados en un grupo morfológico junto con aquellos útiles de siega del sur de Portugal y de Valencia (Gibaja *et al.* 2012, 88-90), pero se ha descartado por ahora su llegada a la península a través del norte de África por la ausencia

de tales elementos en esta región, cuya explicación sea quizá la predominancia de la explotación de plantas silvestres por encima de la agricultura cerealística (Lucarini *et al.* 2016 y Morales *et al.* 2016, citados por Mazzucco *et al.* 2018, 512).

### 4.3.- Resultados

#### 4.3.1.- Neolítico antiguo

El utillaje lítico analizado de Los Murciélagos de Zuheros (Córdoba) se comprende de 138 herramientas procedentes de los dos conjuntos del Neolítico antiguo (Conjunto A: 5300-5010 cal ANE; Conjunto B: 5010-4850 cal ANE). Entre las piezas seleccionadas para el análisis, 66 fueron usadas, destacando láminas y laminillas con tratamiento térmico, todas sin retocar, y empleadas, principalmente, para labores de carnicería. Para el corte de pieles se utilizaron herramientas con y sin retoque, mientras que el raspado solo se hizo con lascas retocadas. El trabajo de hueso y el uso de proyectiles están escasamente representados. En el caso de las materias vegetales, aparece el corte y raspado de vegetales no leñosos, mientras que no se detectan actividades sobre madera. Por último, también se hallaron 3 laminillas de hoz (Carvalho *et al.* 2012, 155-164) (**Figuras 6 y 7**).

De cueva de El Toro solo presentaron huellas de uso 55 piezas (sectores E3 y E4: 5320-4950 cal ANE). Se trata mayoritariamente de laminillas con tratamiento térmico y sin retocar, que fueron usadas en su gran mayoría en el trabajo carnicero, corte de piel fresca y fileteado de carne y un número notable de ellas, en el corte de materias no determinables. Los filos “naturales” de las laminillas se usaron para el cortado, mientras que los retocados sirvieron para el raspado. Se infirió también el raspado y serrado de materias duras animales y el uso como proyectil de 4 geométricos. Muy pocos filos de láminas y lascas fueron usados para el trabajo de vegetales, aunque sí que se halló el serrado y raspado de madera, así como una laminilla usada como elemento de hoz. Finalmente aparece el trabajo de arcilla en seis filos (Rodríguez-Rodríguez 2004, 136-141) (**Figura 5**).

En las secuencias holocénicas de Cueva de Nerja (la fase Neolítica está datada a mediados del VI milenio ANE sin calibración) se estudió un conjunto lítico de 82 piezas procedente de la Sala de la Mina, 43 de las cuales presentaban filos con huellas de uso interpretables. La labor predominante es la carnicería, realizada con laminillas, a la que siguen el trabajo de pieles y de hueso (detectado en apenas un fragmento laminar) y el uso de proyectiles. Destacan las actividades realizadas sobre vegetales no leñosos, con 5 elementos de hoz de inserción oblicua y otras 5 piezas líticas. Al igual que en Toro, aparece una única lámina utilizada para el trabajo de minerales (Gibaja *et al.* 2010, 99-106).

La única fase del poblado de los Castillejos de Montefrío que ha sido objeto de un estudio funcional es la del Neolítico antiguo (5400-5000 cal ANE). De entre más de mil quinientos útiles, se analizó una selección de 256 piezas que “*atendiera a la diversidad y densidad de los morfotipos existentes*” (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 41), 134 de las

cuales presentaron huellas de uso. Láminas y laminillas sin retocar se usaron en trabajo de carne y pieles, mientras que las materias duras animales solo fueron tratadas con piezas retocadas. El trabajo de vegetales tiene menor presencia, pero se hallaron más evidencias de vegetales indeterminados o leñosos que piezas usadas en siega o en transformación de madera. Los elementos de proyectil están completamente ausentes (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 39, 41) (Figura 8).

Una investigación reciente abordó un estudio funcional de sólo 164 soportes laminares debido a que se consideran “*útiles polivalentes que suelen presentar huellas de uso vinculadas con una amplia gama de materias trabajadas*” (Perales *et al.* 2015, 21). Las láminas fueron ampliamente aprovechadas, usándose ambos laterales y muchos filos naturales. Aquellas sin retoque participaron en las primeras fases de procesado de animales (carnicería y trabajo de piel fresca), y las retocadas fueron parte de las fases de acabado o mantenimiento de los procesos de fabricación de materias no leñosas. También se detectó la obtención y fabricación de instrumental óseo con láminas. Así mismo, la aparición de ocre en algunas superficies parece indicar acciones de curtido o impermeabilización de pieles secas. En el caso de materias vegetales, también aparecen láminas con huellas de madera y vegetales no leñosos desconocidos (posible fabricación y/o reparación de objetos), pero destaca la escasísima presencia de elementos de hoz (Perales *et al.* 2015, 27-29).

En el yacimiento al aire libre de Cabecicos Negros (5910-5700 al 4990-4760 cal ANE) (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 41), 89 artefactos líticos pudieron ser objeto de análisis funcional, un reducido porcentaje con respecto al total debido a la alteración postdeposicional de la superficie de los útiles, de los que solo 50 piezas conservaban huellas de uso. Por encima del tratamiento de piel (con todo tipo de útiles, aprovechando cualquier filo, ya sea natural o no) y carnicería (con escasísima representación), Cabecicos Negros destaca por el trabajo de materias minerales con todo tipo de instrumental: perforadores para horadar, núcleos, laminillas y lascas, retocadas y sin retoque para raspar, laminillas para ranurar y lascas para serrar (Figura 9). Por lo demás, se halló una lasca que raspó hueso, 3 geométricos utilizados como proyectiles y un único elemento de hoz relacionado con la siega (Rodríguez-Rodríguez 1999, 229-233).

#### **4.3.2.- Neolítico reciente**

El utillaje lítico del Conjunto C de los Murciélagos de Zuheros (4450-3600 cal ANE) es extremadamente escaso y no puede considerarse que su funcionalidad sea representativa de la mayoría de los procesos productivos del yacimiento durante el Neolítico reciente. Las 9 piezas usadas realizaron trabajos sobre materias indeterminadas con la mayoría de sus filos, aunque se hallaron 4 filos para carnicería y 2 con estigmas de ser usados como proyectil (Carvalho *et al.* 2012, 164-165).

Las herramientas de las dos subfases del Neolítico reciente de Cueva de Toro (IIIB y IIIA: 4250-3366 cal ANE) son el conjunto de piezas mejor estudiado en términos funcionales de todo el período en esta región. A pesar de alteraciones postdeposicionales de las superficies, 87 piezas (casi la mitad del total) pudieron analizarse, presentando 43 de ellas

huellas de uso. Ahora las materias cárnicas parecen tener menor importancia que en el período precedente, pues solo 2 laminillas intervinieron en el corte de carne. Láminas con y sin retoque serraron hueso, cortaron y rasparon piel con la adición de abrasivos, que produjeron tal desgaste en las piezas que es detectable macroscópicamente. No hay estigmas de proyectil detectados en los 3 geométricos hallados. Láminas retocadas o no se usaron para serrar, raspar y cortar vegetales no leñosos. También se evidencia el raspado de arcilla con 2 láminas. Un soporte laminar tiene desgastes asociados al ocre, usado en la transformación del propio mineral o aplicándolo en el tratamiento peletero. Aparecen ahora nuevos usos de las herramientas: taladros que perforaron materias duras no determinadas, serrado de mineral con 1 lasca; 1 soporte usado como mechero y finalmente 2 láminas que tuvieron múltiples usos en sus filos (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 1996, 162-164; Rodríguez-Rodríguez 2004, 144-153) (Figura 10).

La Cueva de Nerja tiene asimismo una fase del Neolítico reciente datada entre mediados del V milenio y mediados del IV milenio (sin calibración), en la que se encontraron 19 piezas usadas. Con respecto a los trabajos sobre materias animales, 4 láminas se dedicaron a la carnicería, 2 a raspar piel seca, 1 a raspar hueso y 1 geométrico proyectil. Acerca de las materias vegetales, 4 elementos laminares fueron usados como hoz. 1 laminita serró una materia mineral. Finalmente, en Nerja también se han hallado soportes que participaron en multiplicidad de tareas con los diferentes filos (Gibaja *et al.* 2010, 98, 103-106) (Figura 11).

En lo que respecta al poblado del Neolítico reciente de La Esparragosa, la gran mayoría de las 79 piezas con huellas de uso fueron empleadas por sus dos filos, pero el soporte con mayor cantidad y variedad de usos son láminas que se fracturaron intencionalmente. La Esparragosa aporta un conocimiento específico acerca de la manipulación del pescado, que comprende 57 de los 68 filos que trataron materias blandas animales, estando el resto de ellos involucrados en trabajo de carne o piel fresca. Se hallaron además 2 geométricos y 3 puntas con retoque plano bifacial usados como proyectil. 15 piezas fueron elementos de hoz y 4 trabajaron la madera. Finalmente, el trabajo de minerales también está representado (Clemente *et al.* 2010, 279-281).

El último yacimiento del Neolítico reciente cuyo utillaje lítico ha sido objeto de un análisis traceológico es el poblado al aire libre de La Loma (Fosas E03, E04 y E08 datadas entre el 3600 y el 3200 cal ANE). Una vez más las alteraciones postdeposicionales en yacimientos al aire libre pasa elevada factura para el análisis funcional, pues muchas piezas estaban afectadas. Así, solo 9 de las 37 herramientas documentadas poseían estigmas de uso y algunas proceden de fosas que no han sido datadas. Se evidencia el raspado (1 lasca) y serrado (2 láminas) de madera; corte de materia indeterminada (4 fragmentos laminares) y serrado de mineral (1 lámina). También aparece una lámina con variedad de usos, cortar piel, serrar madera y raspar materia abrasiva (Aranda *et al.* 2012, 96-99) (Figura 13).

## 5.- Conclusiones

Quizá se pudiera concluir este apartado asociando Neolítico antiguo con homogeneidad y Neolítico reciente con heterogeneidad, en cuanto a los resultados que ha aportado el análisis funcional. Esta premisa debe entenderse, eso sí, únicamente en términos relativos, pues en ambos casos hay yacimientos que muestran pautas divergentes de sus coetáneos. Sin duda alguna, la traceología de los procesos de trabajo y su aplicación a este período en el sur de Iberia han logrado confirmar que, junto al cambio en la tecnología lítica, vino un cambio en las actividades realizadas con las herramientas (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 47).

El Neolítico antiguo es un ámbito en el que los trabajos sobre materias animales son las principales actividades realizadas con esta categoría de útiles. En primer lugar, figura la carnicería, que es seguida por corte y raspado de piel. La cinegética está pobremente representada y, a su vez, las evidencias de la activación de estrategias agrícolas son mínimas debido a la escasez de elementos de hoz. Estos dos datos son fundamentales, pues indican el funcionamiento de una potente ganadería propia que proporciona recursos cárnicos, carcasas y pieles. Como se había adelantado, hay una excepción, Cabecicos Negros, que, a pesar de tener evidencias de abundante trabajo de pieles, el que domina por completo las zonas activas de diversos morfotipos es la elaboración de elementos de ornamentación personal. Deben estar orientados al intercambio, regional e interregional, lo que indica los patrones de movilidad de estas poblaciones ibéricas (Cámlich-Massieu *et al.* 2010, 132; Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 47).

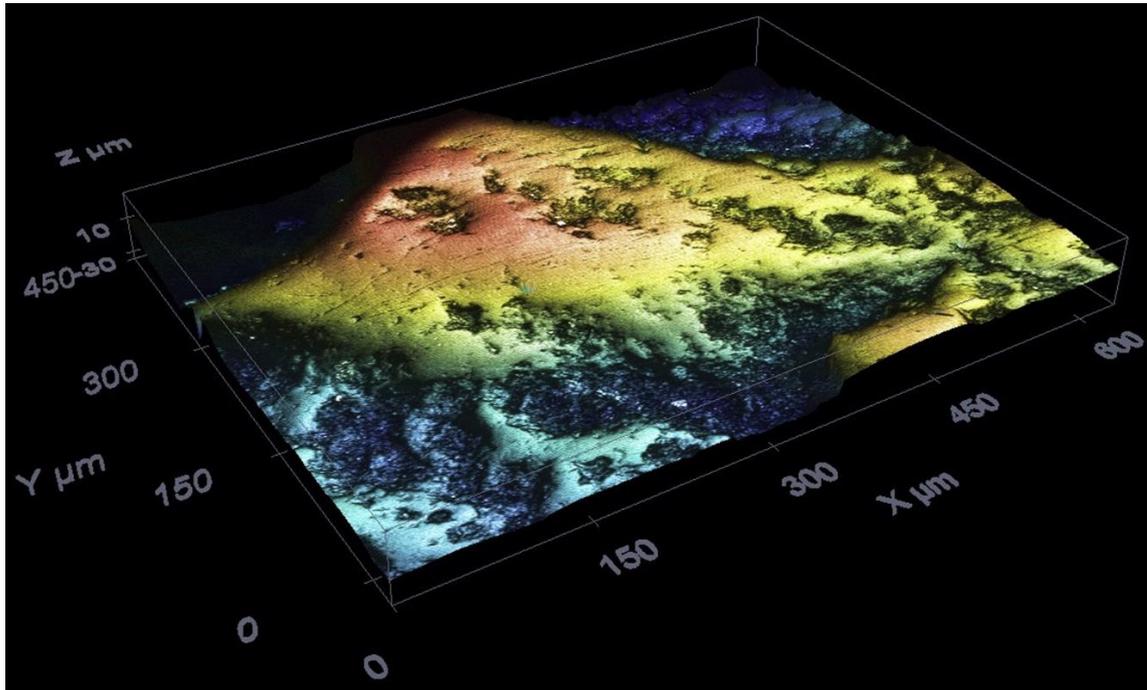
Menor labor investigadora se ha dedicado al estudio del Neolítico reciente andaluz y el número de útiles identificados es menor (un ejemplo drástico es el de Los Murciélagos de Zuheros). Puede que con un espectro más amplio de hallazgos (y la consecuente realización de más análisis traceológicos) se modifique la heterogeneidad que es atribuida a los yacimientos de este período.

Para explicar estas diferencias entre sociedades se ha planteado que, al tratarse de un período de consolidación de las estrategias económicas, las comunidades podrían haber ido desarrollando actividades artesanales más diversificadas asociadas a las de la subsistencia. Lo que sí se puede constatar hoy en día mediante el análisis funcional, es el cambio producido en algunos lugares con ocupaciones que abarcan una larga diacronía, como cueva de Nerja, que vuelve el trabajo sobre vegetales no leñosos y la siega de cereales en su actividad primaria, o El Toro, donde la carnicera decae drásticamente y aumenta el trabajo sobre otras materias (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 47-48). La Esparragosa corrobora en parte este planteamiento de una especialización local en estos momentos, porque el aprovechamiento de recursos marinos es tan intenso que se ha advertido que puede exceder su fin como alimento para el grupo que los consigue, pudiendo convertirse en un elemento de intercambio en redes de larga distancia, si son conservados mediante el ahumado o el salado (Clemente y García 2008, citado por Clemente *et al.* 2010).

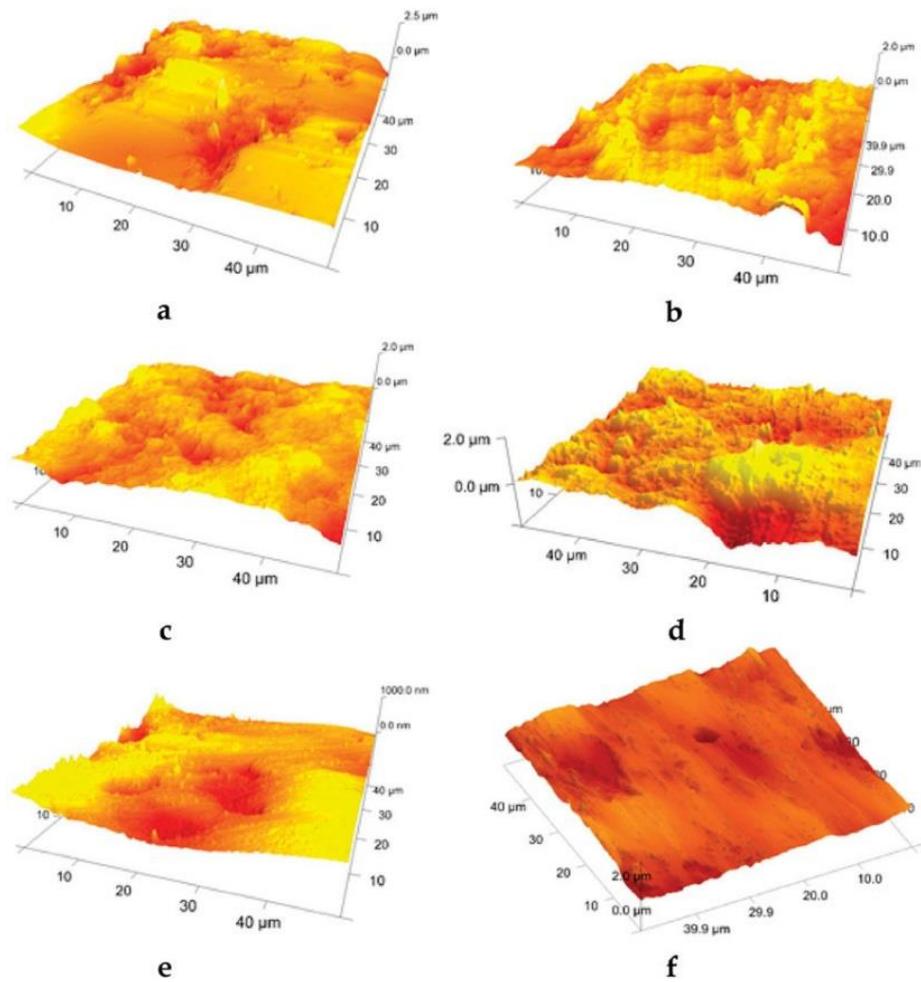
Como perspectiva de futuro, debería plantearse la posibilidad de reestudiar parte del utillaje lítico recogido en campañas arqueológicas de antaño y que esté almacenado,

siempre cuidando de buscar aquel cuya distribución espacial en el yacimiento esté coordinada y su unidad estratigráfica asociada a una datación. Igual de necesario es emprender el análisis funcional de aquellos útiles que no han sido tratados en los estudios que hemos presentado aquí, porque como se ha podido advertir, en buena parte de los yacimientos se ha seleccionado una tipología o bien se ha hecho un muestreo del total de piezas, analizando un porcentaje del total (e.g. Gibaja *et al.* 2012 o Perales *et al.* 2015). En conclusión, la traceología de los instrumentos líticos no ha revelado diferencias significativas entre el uso de conjuntos de útiles del llamado *Neolítico medio* y el de aquellos del período anterior y, por tanto, puede ser una evidencia a favor de las revisiones y críticas recientes a la división tripartita del Neolítico andaluz (Antiguo, Medio y Reciente), presentándose en su detrimento un modelo bipartito (Antiguo, Reciente) con una “*fase inicial de establecimiento, crecimiento y consolidación de las primeras estructuras organizativas ligadas a la producción de alimentos*” y una fase tardía, “*de desarrollo y configuración de la sociedad sustento de las transformaciones vinculadas a las primeras formas aldeanas y a la construcción de los primeros monumentos megalíticos*” (Camalich y Martín-Socas 2013, 112). La traceología ha ayudado a comprender mejor los modos de vida de las sociedades de la Prehistoria reciente que habitaban en el sur de la Península ibérica, demostrando ser una parte fundamental de la investigación arqueológica de vanguardia.

## Anexo



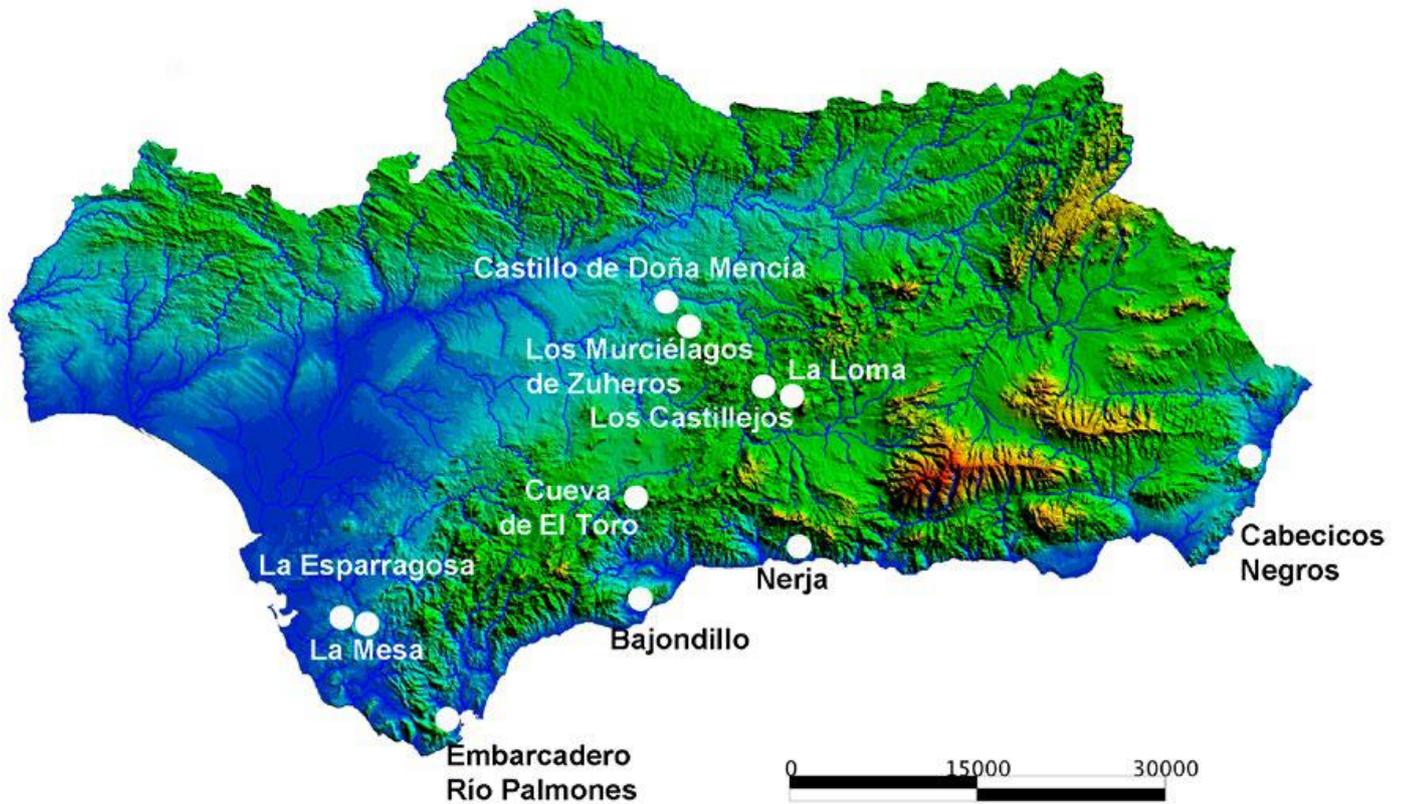
**Figura 1.** Imagen 3D creada por microscopía confocal láser (LSCM) de un micropulido originado por la siega de cereales domésticos con herramientas experimentales (Ibáñez *et al.* 2014, 98).



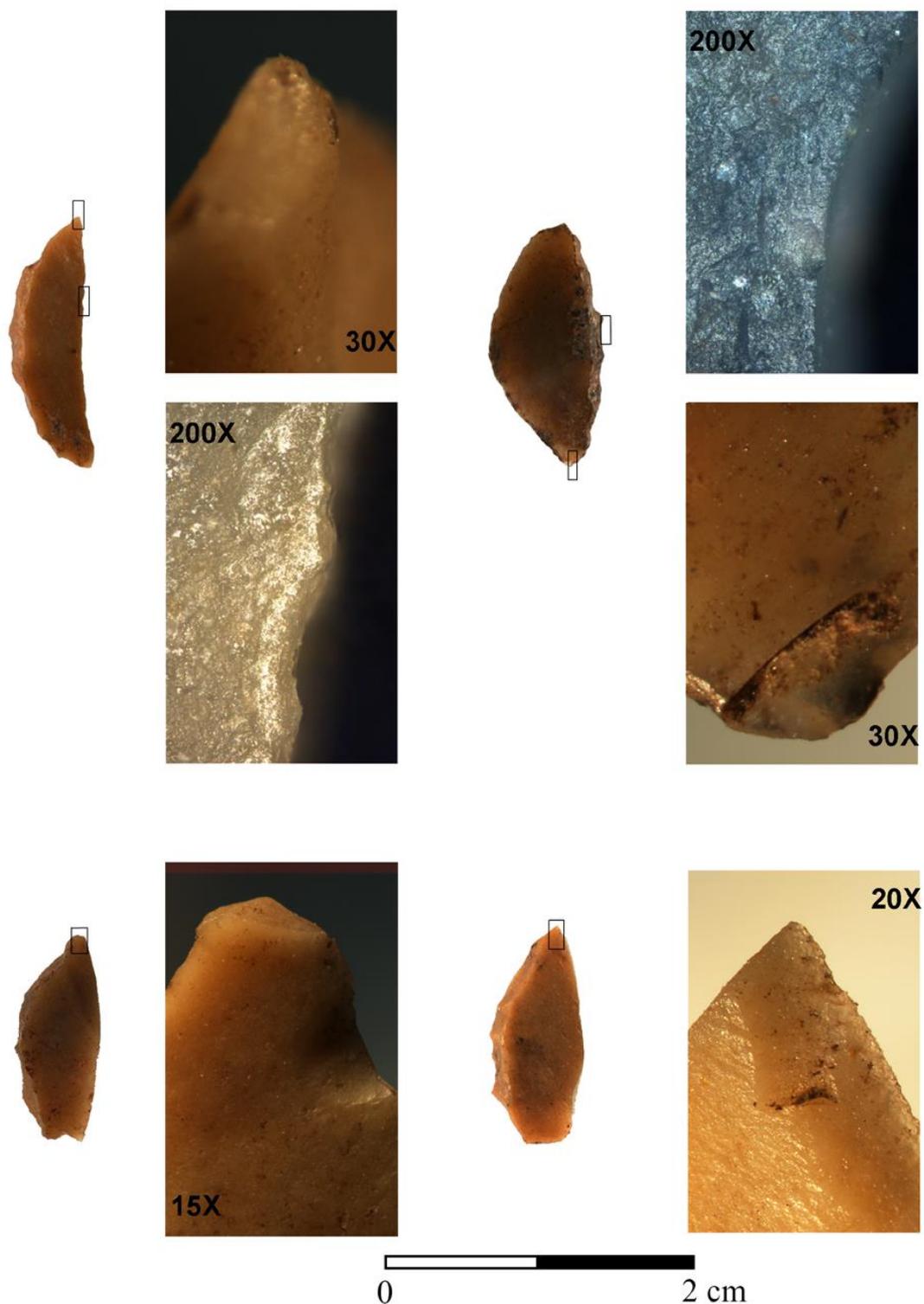
**Figura 2.** Imágenes 3D creadas por microscopía de fuerza atómica (AFM) de diferentes huellas de uso de herramientas arqueológicas del Paleolítico medio (Musteriense) procedentes de Myshtulagty Lagat, Rusia.



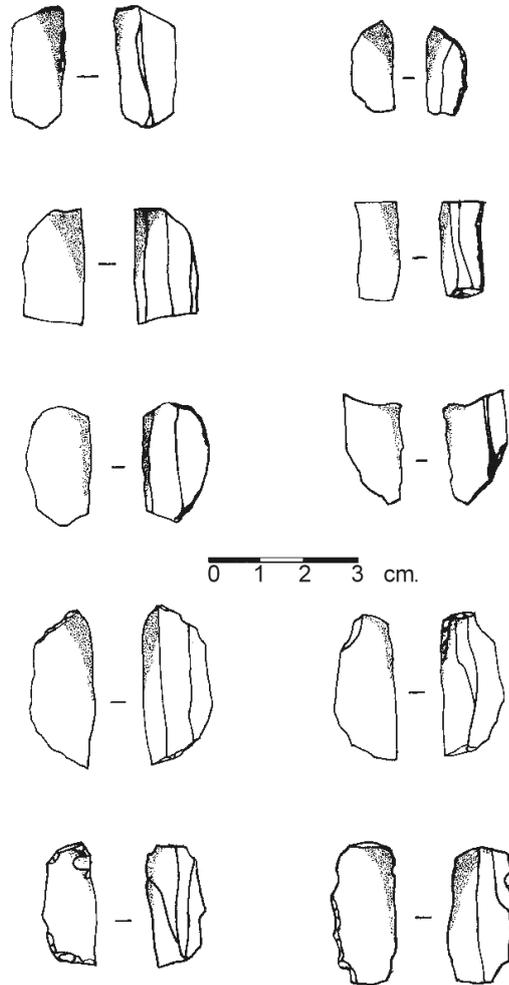
**Figura 3.** Métodos probados por Dries Cnuts y Veerle Rots para la extracción de residuos atrapados en las superficies de herramientas líticas: extracción mediante pipeta (a); baño ultrasónico (b); daños a la superficie de herramientas provocados por el empleo de un escarificador sónico (c) (Cnuts y Rots 2018, 1720).



**Figura 4.** Localización de los yacimientos en cueva y al aire libre del Neolítico antiguo y reciente recogidos en el trabajo liderado por Amelia del Carmen Rodríguez Rodríguez. (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 37).



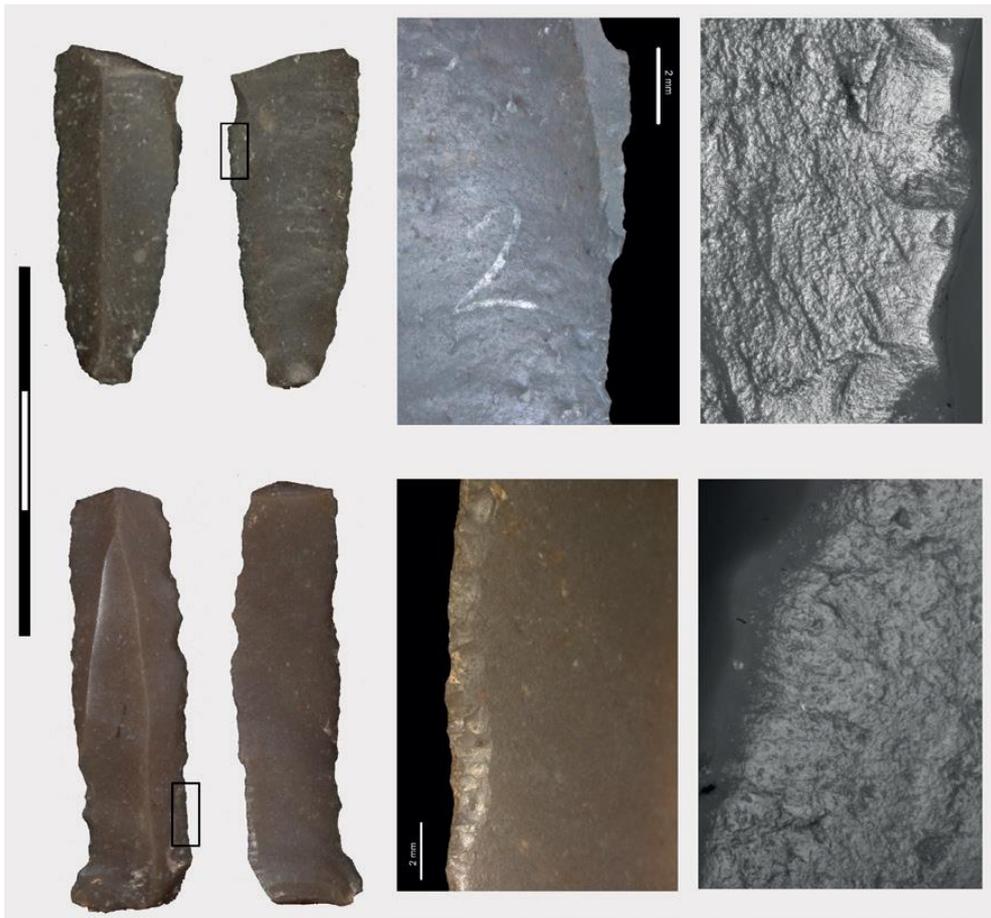
**Figura 5.** Geométricos de la fase IV (Neolítico Antiguo) de cueva de El Toro (Antequera, Málaga) con huellas de uso que evidencian su empleo como proyectil. Dos de ellos (arriba, izquierda y arriba, derecha) también cortaron carne (Rodríguez *et al.* 2013, 40).



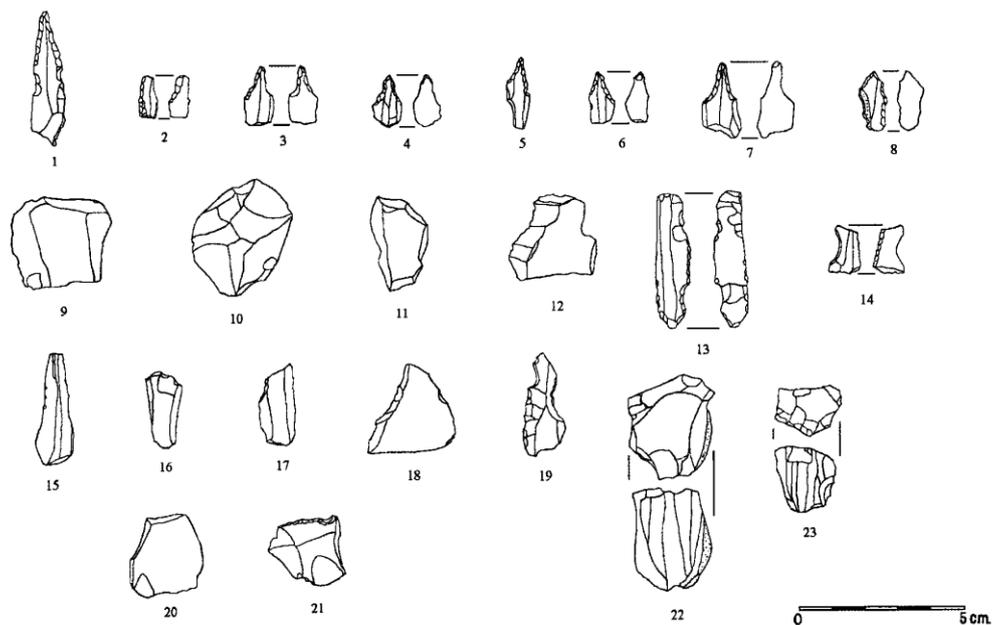
**Figura 6.** Elementos de hoz de los conjuntos neolíticos de los Murciélagos de Zuheros (Zuheros, Córdoba). El sombreado indica las zonas de pulido de uso (González *et al.* 2000, 183).



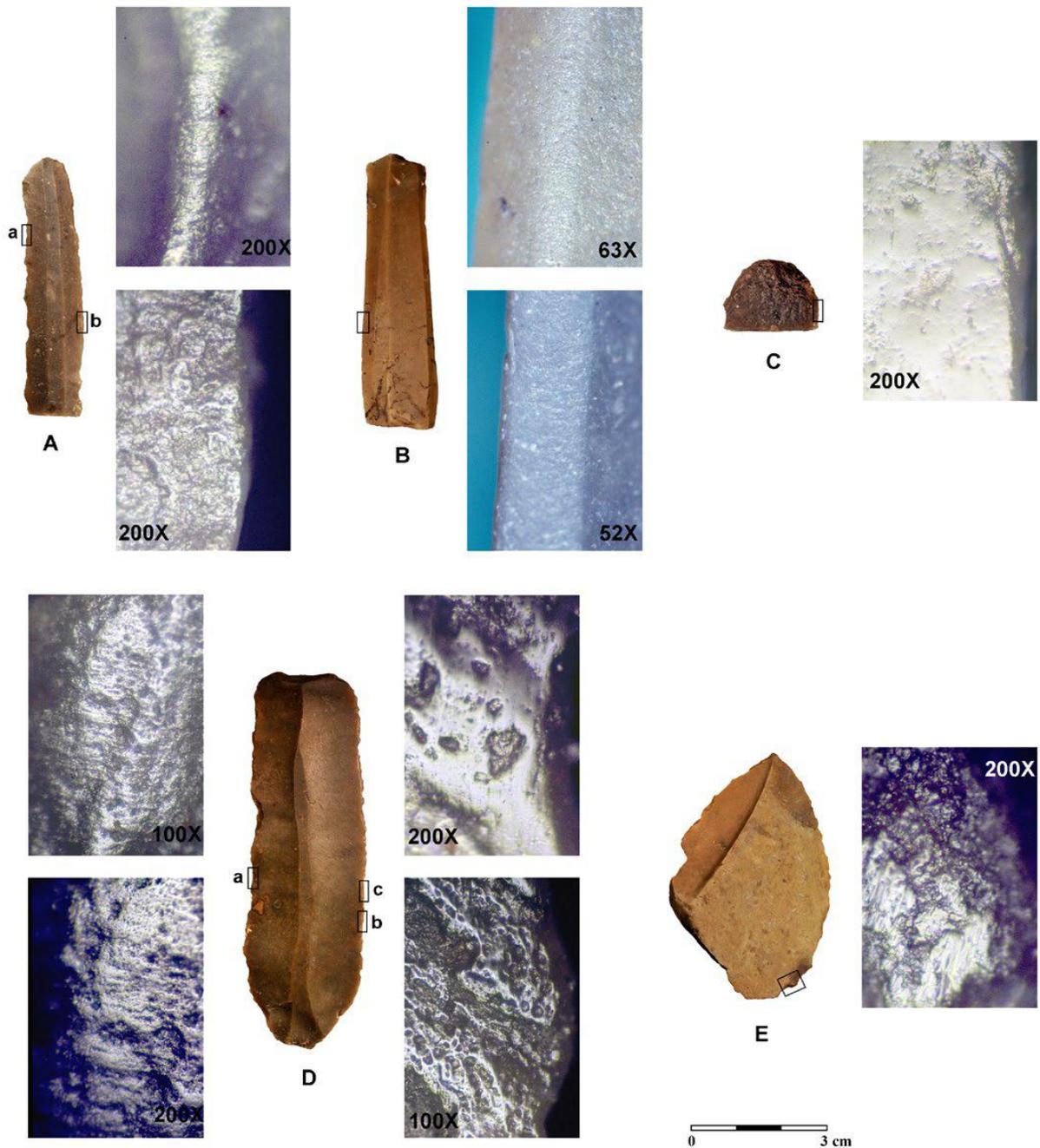
**Figura 7.** Lasca del conjunto A (Neolítico antiguo) de los Murciélagos de Zuheros (Zuheros, Córdoba) en la que se evidencia el raspado de piel seca (1) y el raspado de vegetales (2) (Carvalho *et al.* 2012, 163).



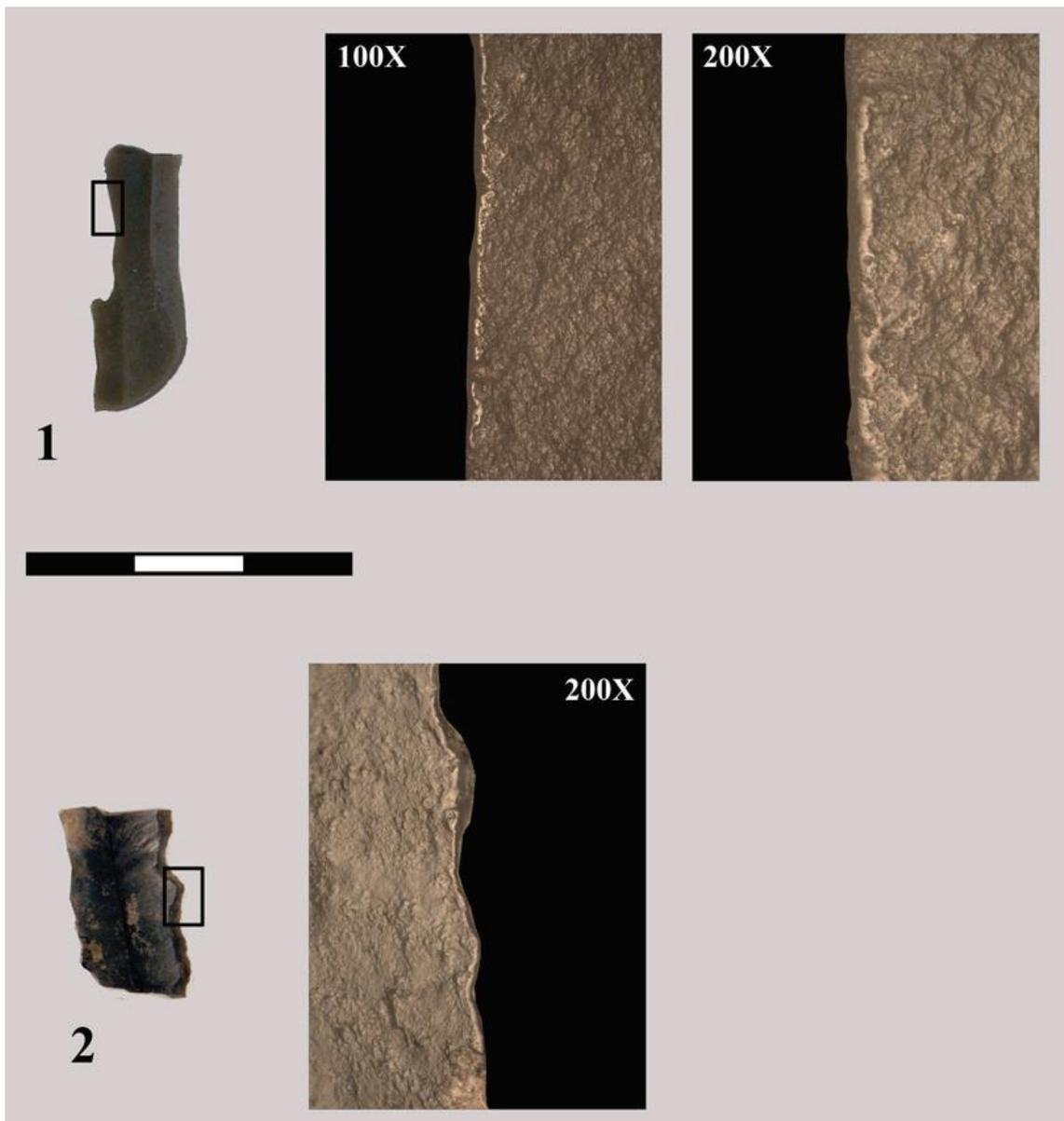
**Figura 8.** Láminas del Neolítico antiguo de los Castillejos (Montefrío, Granada) usadas para el raspado de piel seca (Perales *et al.* 2015, 25).



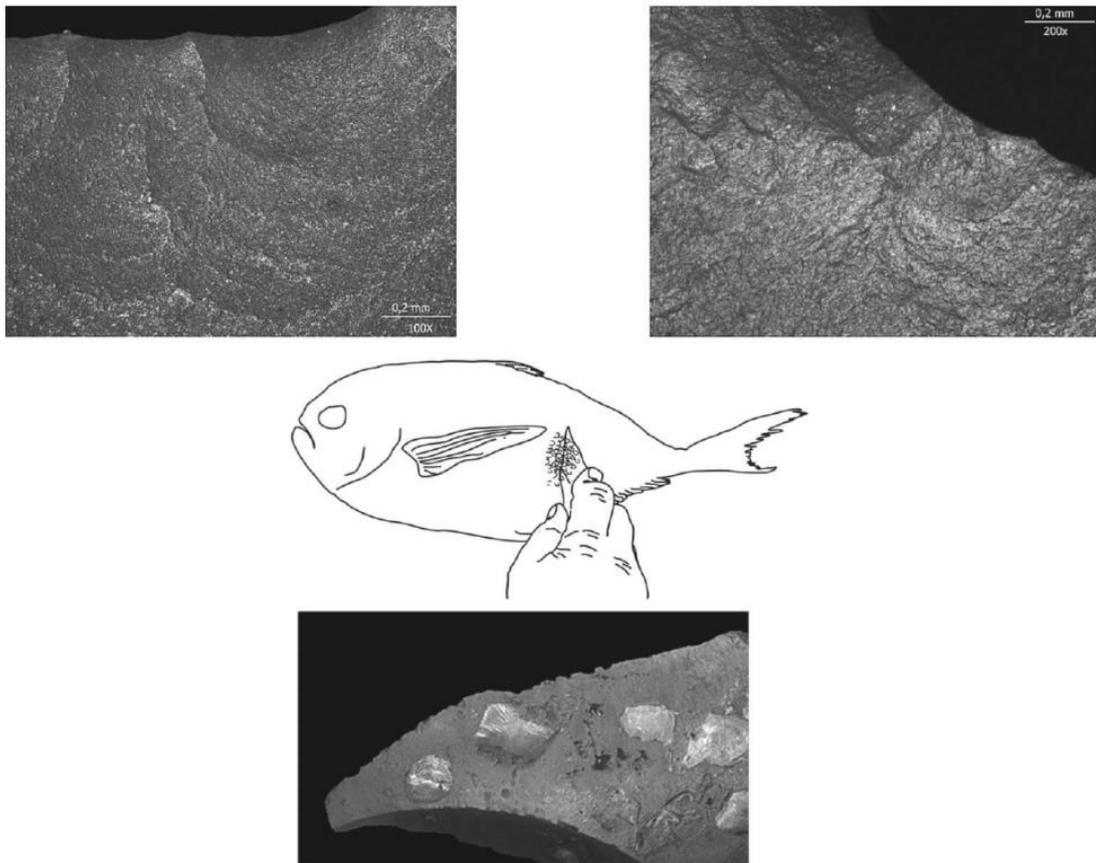
**Figura 9.** Herramientas líticas del Neolítico antiguo del poblado de Cabecicos Negros (Vera, Almería) que han intervenido en la fabricación de elementos de adorno personal (Goñi *et al.* 1999, 168).



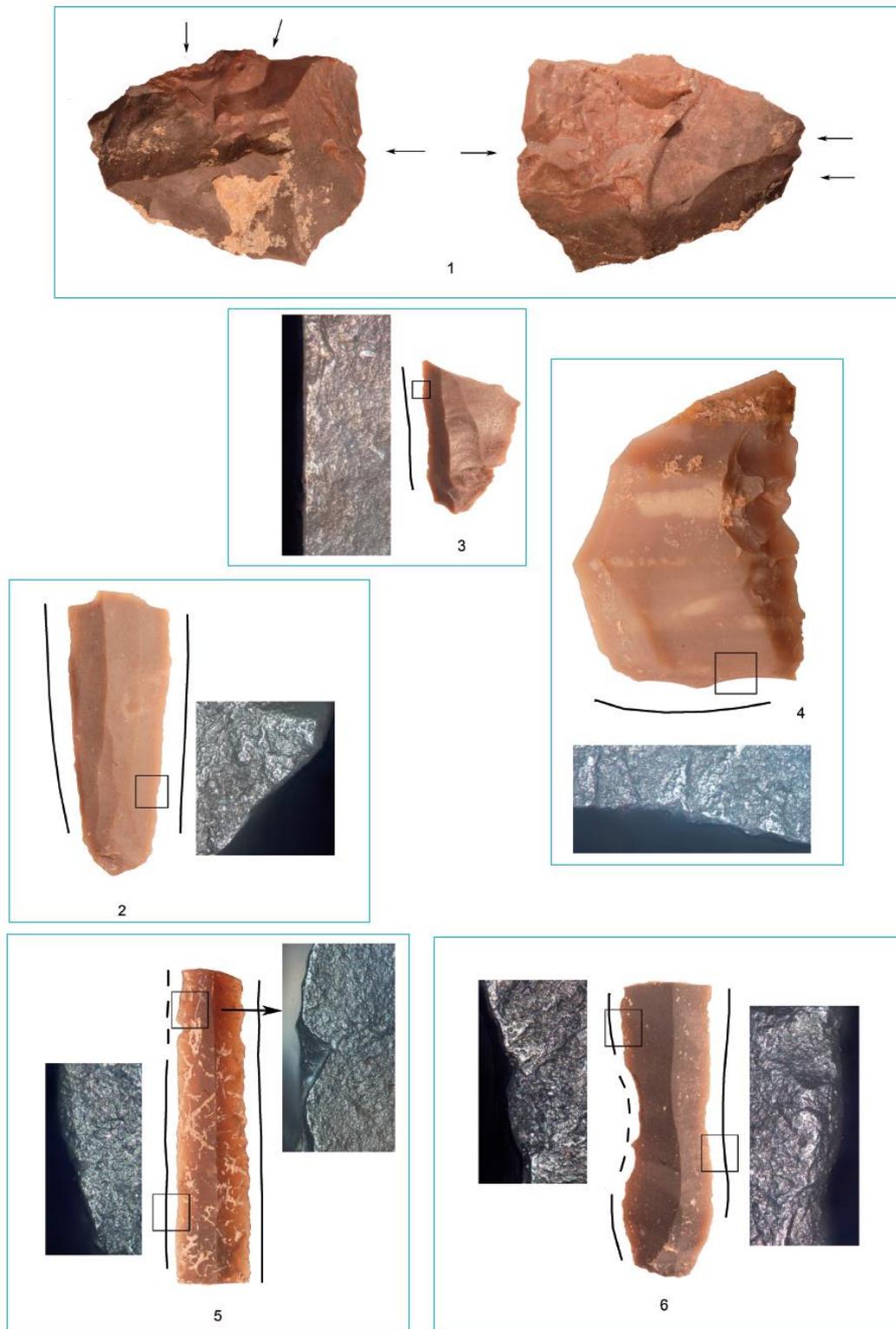
**Figura 10.** Soportes líticos de la fase III (Neolítico reciente) procedentes de la cueva de El Toro (Antequera, Málaga). “Aa: Raspado de piel, Ab Trabajo complejo de madera; B: Raspado de materia blanda muy abrasiva, posiblemente piel; C: Corte de vegetal; Da: Raspado de materia animal remojada, posiblemente asta, Db y Dc: Corte de materia vegetal no leñosa, posiblemente cereal; E: Serrado de materia mineral” (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013, 45).



**Figura 11.** Fragmentos de lámina del nivel 1-2 (Neolítico reciente) de la cueva de Nerja (Nerja, Málaga). En sus laterales presentan huellas de uso que apuntan hacia el raspado de hueso o asta (1) y hacia el raspado de hueso (2). Sus bordes han sido retocados para generar filos abruptos de 80°, pero en el segundo caso esta modificación fue indispensable para que la pieza pudiera realizar los trabajos mencionados sin fragmentarse (Gibaja *et al.* 2010, 105).



**Figura 12.** Huellas de uso de las herramientas experimentales usadas en el programa diseñado por Ignacio Clemente para el poblado del Neolítico reciente de La Esparragosa (Chiclana de la Frontera, Cádiz). Se observan los estigmas funcionales y el pulido (arriba) y los residuos (abajo), junto a una ilustración del descamado (centro) (Clemente *et al.* 2010, 280).



**Figura 13.** Láminas y lascas con huellas de uso procedentes del yacimiento de La Loma (Íllora, Granada). Es de destacar su variedad tanto en tipos de actividad como en materias trabajadas, tales como hendido (1), cortado (2) y serrado (3) de madera, el serrado sobre materia mineral (4), movimiento longitudinal sobre materia no determinable (5) y corte de materia blanda abrasiva (6) (Aranda *et al.* 2010, 98).

## **Bibliografía consultada**

Anderson, Patricia C. 1980. A testimony of prehistoric tasks: diagnostic residues on stone tool working edges. *World Archaeology*, 12 (2): 181-194.

Aranda, G., Camalich, M., Martín-Socas, D., Morgado, A., Martínez, F., Lozano, J., Rodríguez-Rodríguez, A., Mancilla, M. y Román, J. 2012. *La Loma (Íllora, Granada). Un yacimiento de fosas del VI-IV milenios cal BC*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Cultura.

Aura, E., Pérez, M., Jordá, J., García, P., Morales, J., García, O., Avezuela, B., Pascual, J., Pérez, G., Tiffagom, M. y Adán, G. 2010. "Sobre La Transición Al Neolítico. Las Excavaciones Jordá De La Cueva De Nerja (Málaga, España)." En *Os Últimos Caçadores-Recolectores e as Primeiras Comunidades Produtoras do Sul Da Península Ibérica e do Norte De Marrocos*, eds. Juan Francisco Gibaja y Antonio Faustino Carvalho, 221-228. Faro: Promontoria Monografica 15, Universidade do Algarve.

Barton, H. 2007. Starch residues on museum artefacts: implications for determining tool use. *Journal of Archaeological Science*, 34: 1752-1762.

Bofill, M., Procopiou, H., Vargiolu, R. y Zahouani, H. 2013. "Use-wear analysis of Near Eastern prehistoric Grinding stones". En *Regards croisés sur les outils liés au travail des végétaux. An interdisciplinary focus on plant-working tools*, dirs. Patricia C. Anderson, Carole Cheval y Aline Durand, 219-236. Antibes: APDCA.

Bordes, F. 1967. Considerations sur la typologie et les techniques dans le Paléolithique. *Quartär*, 18: 25-55.

Camalich, M. y Martín, D. 2013. Los inicios del Neolítico en Andalucía. Entre la tradición y la innovación. *Menga. Revista de Prehistoria de Andalucía*, 4: 103-129.

Camalich-Massieu, M., Martín-Socas, D., González, P., Rodríguez-Rodríguez, A., Marrero, M. y Mejías, J. 2010. "Los inicios de la Prehistoria reciente en Almería. Estado de la cuestión." En *Os Últimos Caçadores-Recolectores e as Primeiras Comunidades Produtoras do Sul Da Península Ibérica e do Norte De Marrocos*, eds. Juan Francisco Gibaja y Antonio Faustino Carvalho, 131-135. Faro: Promontoria Monografica 15, Universidade do Algarve.

Carvalho, A., Gibaja, J. y Gavilán, B. 2012. Technologie, typologie et analyses fonctionnelles de l'outillage lithique durant le néolithique ancien dans la Cueva de Murciélagos de Zuheros (Córdoba, Espagne): réflexions sur la néolithisation du sud de la Péninsule Ibérique. *L'anthropologie*, 116: 148-170.

Clemente Conte, I. 1997. *Los instrumentos líticos de Túnel VII: una aproximación etnoarqueológica*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Clemente Conte, I. 2017. El por qué y para qué de la “traceología” en Arqueología prehistórica. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 27: 27-53.

Clemente, I., García, V., Ramos, J., Domínguez, S., Pérez, M., Vijande, E., Cantillo, J., Soriguer, M., Zabala, C., Hernando, J. 2010. “The lithic tools of the La Esparragosa Site (Chiclana de la Frontera, Cádiz, Spain, fourth Millenium BC): A methodological contribution to the study of lithic tools for the consumption of fish.” En *Ancient nets and fishing gear. Proceedings of the international workshop on “Nets and sifhing gear in classical antiquity: a first approach”*, eds. Tønnes Bekker-Nielsen y Darío Bernal Casasola, 275-285. Cádiz: Universidad de Cádiz, Servicio de Publicaciones, Aarhus University Press.

Cnuts, D. y Rots, V. 2018. Extracting residues from stone tools for optical analysis: towards an experiment-based protocol. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 10: 1717-1736.

Égüez, N., Mallol, C., Martín-Socas, D. y Camalich, M. 2016. Radiometric dates and micromorphological evidence for synchronous domestic activity and sheep penning in a Neolithic cave: Cueva de El Toro (Málaga, Antequera, Spain). *Archaeological and Anthropological Sciences*, 8: 107-123.

Evans, A. A. 2014. On the importance of blind testing in archaeological science: the example from lithic functional studies. *Journal of Archaeological Science*, 48: 5-14.

Evans, A. y Donahue, R. 2008. Laser scanning confocal microscopy: a potential technique for the study of lithic microwear. *Journal of Archaeological Science*, 35: 2223-2230.

Faulks, N., Kimball, L., Hidjrati, N. y Coffey, T. 2011. Atomic Force Microscopy of microwear traces on mousterian tools from Myshtylagty Lagat (Weasel Cave), Russia. *Scanning*, 33: 304-315.

Gassin, B. y Garidel, Y. 1993. “Des outils de silex pour la fabrication de la poterie”. En *Traces et fonction: Les Gestes Retrouvés. Actes du colloque international de Liège*, ed. Patricia C. Anderson, 189-203. Liège: Centre de Recherches Archéologiques du CNRS, Études et Recherches Archéologiques de l’Université de Liège.

Gavilán, B., Vera, J., Peña, L. y Mas, M. 1996. El Vº y IVº milenios en Andalucía central: la Cueva de Los Murciélagos de Zuheros (Córdoba). Recientes aportaciones. En *I Congrès de Neolític a la Península Ibèrica, Formació i implantació de les comunitats agrícoles (Gavà-Bellaterra 1995)*, *Rubricatum*, 1: 323-327.

Gibaja, J., Cortés, M. y Simón, M. 2010. La función del utillaje neolítico: el ejemplo de la Cueva de Nerja (Málaga). *Spal*, 19: 97-110.

- Gibaja, J., Peña, L., Ibáñez, J., Zapata, L., Rodríguez, A., Linstädter, J., Pérez, G., Morales, J., Gassin, B., Carvalho, A., González, J. y Clemente, I. 2012. A los dos lados del estrecho: las primeras hoces líticas y evidencias de agricultura en el sur de la Península ibérica y el norte de Marruecos. Una perspectiva de futuro. *Rubricatum*, 5: 87-93.
- González Urquijo, J. E. e Ibáñez Estévez, J. J. 1994. *Metodología de análisis funcional de instrumentos tallados en sílex*. Bilbao: Universidad de Deusto.
- González, J., Ibáñez, J., Peña, L., Gavilán, B. y Vera, J. 1994. Cereal harvesting during the neolithic of the Murcielagos site in Zuheros (Cordoba, Spain). *Helinium*, 34 (2): 322-341.
- González, J., Ibáñez, J., Peña, L., Gavilán, B. y Vera, J. 2000. El aprovechamiento de recursos vegetales en los niveles neolíticos del yacimiento de Los Murciélagos (Zuheros, Córdoba). Estudio arqueobotánico y de la función del utillaje. *Complutum*, 11: 171-189.
- González-Urquijo, J. e Ibáñez-Estévez, J. 2003. The quantification of use wear polish using image analysis. First results. *Journal of Archaeological Science*, 30: 481-489.
- Goñi, A., Rodríguez-Rodríguez, A., Camalich, M., Martín-Socas, D. y Francisco, M. 1999. "La tecnología de los elementos de adorno personal en materias minerales durante el Neolítico Medio. El ejemplo del poblado de Cabeicos Negros (Almería)". En *II Congreso del Neolítico a la Península Ibérica (Valencia, 1999)*, *Saguntum (PLAV) Extra 2*: 163-170.
- Grace, R., Graham, I. D. G. y Newcomer, M. H. 1985. The Quantification of Microwear Polishes. *World Archaeology*, 17 (1): 112-120.
- Gutiérrez Sáez, C., Martín Lerma, I., Marín de Espinosa Sánchez, J. A. y Márquez Mora, B. 2008. Industria lítica tallada del ajuar funerario del abrigo I de Cueva Maturras (Argamasilla de Alba, Ciudad Real). Análisis tecnológico y funcional. *Espacio, Tiempo y Forma. Serie I, Nueva época. Prehistoria y Arqueología*, 1: 257-274.
- Hernando Gonzalo, A. 1992. Enfoques teóricos en Arqueología. *Spal. Revista de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla*, 1: 11-35.
- Högberg, A., Puseman, K. y Yost, C. 2009. Integration of use-wear with protein residue analysis - a study of tool and function in the south Scandinavian Early Neolithic. *Journal of Archaeological Science*, 36: 1725-1737.
- Ibáñez, J., González-Urquijo, J. y Gibaja, J. 2014. Discriminating wild vs domestic cereal harvesting micropolish through laser confocal microscopy. *Journal of Archaeological Science*, 48: 96-103.
- Jardón Giner, P. 1990. La metodología del análisis traceológico y su aplicación a conjuntos líticos prehistóricos. *Saguntum*, 23: 9-37.

Keeley, L. H. 1974. Technique and methodology in Microwear Studies: A Critical Review. *World Archaeology*, 5 (3): 323-336.

Kimball, L., Kimball, J.y Allen, P. 1995. Microwear polishes as viewed through the atomic force microscope. *Lithic Technology*, 20 (1): 6-28.

Laborda Martínez, M. A. 2010. *Análisis de huellas de uso. Su aplicación al estudio de la funcionalidad del instrumental lítico de la Cueva de Zatoya (Navarra)*. Pamplona: Universidad de Navarra.

Langenheim, J. 2003. *Plant Resins: Chemistry, Evolution, Ecology, and Ethnobotany*. Portland: Timber Press.

Lu, T. 2003. "The survival of starch residue in a subtropical environment". En *Phytolith and starch research in the Australian-Pacific-Asian regions: the state of the art*, Diane Hart y Lynley Wallis, 119-126. Canberra: National Library of Australia.

Macdonald, D. 2014. The application of focus variation microscopy for lithic use-wear quantification. *Journal of Archaeological Science*, 48: 26-33.

Macdonald, D. 2017. Meeting. Nice 2018. Consultado el 4 de septiembre de 2018, de AWRANA, Association of Archaeological Wear & Residue Analysts: <http://awrana.com/2017/08/03/awrana-conference-nice-2018-2/>

Marreiros, J., Mazzucco, N., Gibaja, J. F. y Bicho, N. 2015. "Macro and Micro Evidences from the Past: The State of the Art of Archaeological Use-Wear Studies". En *Use-Wear and Residue Analysis in Archaeology*, eds. João Manuel Marreiros, Juan F. Gibaja Bao y Nuno Ferreira Bicho, 5-26. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer Cham.

Martín Lerma, I., Marín de Espinosa Sánchez, J. y Gutiérrez Sáez, C. 2008. Estudios funcionales en Prehistoria: ¿qué información nos aportan los útiles líticos? *Verdolay. Revista del Museo Arqueológico de Murcia*, 11: 303-316.

Martínez, G., Afonso, J., Cámara, J. y Molina, F. 2009. "Desarrollo histórico de la producción de hojas de sílex en Andalucía Oriental". En *Les grans fulles de sílex. Europa al final de la Prehistòria*. Actes, coords. Juan Francisco Gibaja, Xavier Terradas, Antoni Palomo y Xavier Clop, 15-24. Barcelona: Monografies 13.

Martínez, G., Afonso, J., Cámara, J. y Molina, F. 2010. "Contextualización cronológica y análisis tecno-tipológico de los artefactos tallados del Neolítico antiguo de los Castillejos (Montefrío, Granada)." En *Os Últimos Caçadores-Recolectores e as Primeiras Comunidades Produtoras do Sul Da Península Ibérica e do Norte De Marrocos*, eds. Juan Francisco Gibaja y Antonio Faustino Carvalho, 163-172. Faro: Promontoria Monografica 15, Universidade do Algarve.

Martín-Socas, D., Camalich, M., Buxó, R., Chávez, E., Echallier, J., González, P., Goñi, A., Hernández, J., Mañosa, M., Orozco, T., De Paz, M., Rodríguez, M., Rodríguez-Rodríguez, A., Tusell, M. y Watson, J. 2004. “La Cueva de El Toro (Antequera, Málaga). Una comunidad ganadera en Andalucía, entre el VI y el III Milenio A.N.E.” En *Sociedades recolectoras y primeros productores: actas de las Jornadas Temáticas Andaluzas de Arqueología (Ronda, 28 al 30 de octubre de 2003)*, coord. Carlos Sánchez de las Heras, 205-228. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Cultura.

Martín-Socas, D., Camalich, M., Caro, J. y Rodríguez, F. 2018. The beginning of the neolithic in Andalusia. *Quaternary international*, 470: 451-471.

Martín-Socas, D., Camalich, M., González, P. y Chávez, E. 2004. “Descripción de la cueva y de los trabajos.” En *La Cueva de El Toro (Sierra de El Torcal-Antequera-Málaga). Un modelo de ocupación ganadera en el territorio andaluz entre el VI y II milenios A.N.E.*, eds. Dimas Martín Socas, M<sup>a</sup> Dolores Camalich Massieu y Pedro González Quintero, 27-60. Sevilla: Arqueología Monografías 21, Junta de Andalucía.

Mazzucco, N., Capuzzo, G., Petrinelli, C., Ibáñez, J. y Gibaja, J. 2018. Harvesting tools and the spread of Neolithic into the Central-Western Mediterranean area. *Quaternary international*, 470: 511-528.

Monnier, G., Frahm, E., Luo, B. y Missal, K. 2017. Developing FTIR microspectroscopy for analysis of plant residues on stone tools. *Journal of Archaeological Science*, 78: 158-178.

Monnier, G., Frahm, E., Luo, B. y Missal, K. 2018. Developing FTIR microspectroscopy for the Analysis of Animal-Tissue Residues on Stone Tools. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 25: 1-44.

Nunziante, S. y Lemorini, C. 2012. The function of prehistoric lithic tools: A combined study of use-wear analysis and FTIR microspectroscopy. *Spectrochimica Acta, Part A* 86: 299-304.

Pawlik, A. y Thissen, J. 2011. Hafted armatures and multi-component tool design at the Micoquian of Inden-Altendorf, Germany. *Journal of Archaeological Science*, 38: 1699-1708.

Pearsall, D., Chandler-Ezell, K. y Zeidler, J. 2004. Maize in ancient Ecuador: results of residue analysis of stone tools from the Real Alto site. *Journal of Archaeological Science*, 31: 423-442.

Perales, U., Gibaja, J., Afonso, J., Martínez, G., Cámara, J. y Molina, F. 2015. Análisis funcional del utillaje laminar del Neolítico antiguo de Castillejos de Montefrío (Granada). *Spal*, 24: 11-33.

Phillips, P. 1988. Traceology (Microwear) Studies in the USSR. *World Archaeology*, 19 (3): 349-356.

Pijoan, J., Barceló, J., Clemente, I. y Vila, A. 2002. “Variabilidad estadística en imágenes digitalizadas de rastros de uso: resultados preliminares”. En *Análisis Funcional. Su aplicación al estudio de sociedades prehistóricas (BAR International Series 1073)*, eds. Ignacio Clemente Conte, Robert Risch y Juan F. Gibaja Bao, 55-64. Oxford: Archaeopress.

Price, T. y Burton, J. 2011. *An Introduction to Archaeological Chemistry*. New York: Springer.

Ramos, J., Pérez, M., Clemente, I., García, V., Ruiz, B., Gil, M., Vijande, E., Soriguer, M., Hernando, J. y Zabala C. “La Esparragosa (Chiclana de La Frontera). 2008. Un asentamiento con campo de silos en la campiña de Cádiz, del IVº Milenio A.N.E.” En *IV Congreso del Neolítico Peninsular (tomo I)*, eds. Mauro Hernández Pérez, Jorge Soler Díaz y Juan López Padillo, 385-392. Alicante: MARQ. Museo Arqueológico de Alicante, Diputación de Alicante.

Ranere, A. J. 2011. Toolmaking and Tool Use Among the Preceramic Peoples of Panama. En *Advances in Andean Archaeology*, ed. David L. Browman, 41-84. Berlin, Boston: De Gruyter, Inc.

Rodríguez-Rodríguez, A. 1994. Á propos de lames à bords fortement émoussés du Néolithique et du Chalcolitique andalou. *Helinium*, 34 (2): 225-234.

Rodríguez-Rodríguez, A. 1999. “Análisis funcional del instrumental lítico tallado del poblado de Cabecicos Negros.” En *El territorio almeriense desde los inicios de la producción hasta fines de la antigüedad. Un modelo: la depresión de Vera y cuenca del río Almanzora*, dirs. M<sup>a</sup> Dolores Camalich Massieu y Dimas Martín Socas, 222-235. Sevilla: Arqueología Monografías, Junta de Andalucía, Consejería de Cultura.

Rodríguez-Rodríguez, A. 2004. “Análisis funcional de los instrumentos líticos tallados”. En *La Cueva de El Toro (Sierra de El Torcal, Antequera- Málaga). Un modelo de ocupación ganadera en territorio andaluz: entre el VI y II milenios A.N.E.*, eds. Dimas Martín Socas, M<sup>a</sup> Dolores Camalich Massieu y Pedro González Quintero, 135-160. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Cultura.

Rodríguez-Rodríguez, A., Gibaja, J. F., Perales, U. y Clemente, I. 2013. Comunidades campesinas pastoras y artesanas. Traceología de los procesos de trabajo durante el neolítico andaluz. *Menga. Revista de Prehistoria de Andalucía*, 4: 33-50.

Rodríguez-Rodríguez, A., Martín-Socas, D., Camalich, M. y González, P. 1996. “Las actividades tecnoeconómicas en “Cueva del Toro” (Antequera-Málaga) a través del análisis funcional”. En *I Congrès de Neolític a la Península Ibèrica, Formació i*

- implantació de les comunitats agrícoles (Gavà-Bellaterra 1995), Rubricatum*, 1: 161-167.
- Rosenfeld, A. 1971. The Examination of Use Marks on Some Magdalenian End Scrapers. *The British Museum Quarterly*, 35 (1): 176-182.
- Rots, V. 2014. "What method to study hafting? The potential of usewear and residue analysis confronted". En *An Integration of the Use-Wear and Residue Analysis for the identification of the Function of Archaeological Stone Tools (BAR International Series 2649)* Proc. Int. Workshop (Roma, 5-7 Marzo de 2012), eds. Cristiana Lemorini y Stella Nunziante Cesaro, 27-42. Oxford: Archaeopress.
- Semenov, S. A. 1981. *Tecnología prehistórica (estudio de las herramientas y objetos antiguos a través de las huellas de uso)*. Madrid: Akal.
- Simón, M. 2003. Una secuencia con mucha prehistoria: la cueva de Nerja. *Mainake*, 25: 249-274.
- Stemp, J. 2014. A review of quantification of lithic use-wear using laser profilometry: a method based on metrology and fractal analysis. *Journal of Archaeological Science*, 48: 15-25.
- Stemp, W. J., Watson, A. S. y Evans, A. A. 2016. Surface analysis of stone and bone tools. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 4 (1): 1-25.
- Tringham, R., Cooper, G., Odell, G., Voytek, B. y Whitman, A. 1974. Experimentation in the Formation of Edge Damage: A New Approach to Lithic Analysis. *Journal of Field Archaeology*, 1 (1): 171-196.
- Tuross, N., Barnes, I. y Potts, R. 1996. Protein Identification of Blood Residues on Experimental Stone Tools. *Journal of Archaeological Science*, 23: 289-296.
- Vardi, J., Golan, A., Levy, D. y Gilead, I. 2010. Tracking sickle blade levels of wear and discard patterns: a new sickle gloss quantification method. *Journal of Archaeological Science*, 37: 1716-1724.
- Vijande, E., Ramos, J., Pérez, M., Moreno, A., Cantillo, J., Domínguez, S., Almisas, S., Riquelme, J., Soriguer, M., Clemente, I., García, V., Barrena, A., Ruiz, B., Gil, M. y Fernández, D. 2018. Estudio interdisciplinar de la Tumba AV del asentamiento neolítico de La Esparragosa (Chiclana de la Frontera, Cádiz, España). *Arqueología iberoamericana*, 37: 40-47.
- Yerkes, R.W. y Kardulias, P. N. 1993. Recent developments in the analysis of lithic artifacts. *Journal of Archaeological Research*, 1 (2): 89-119.

Zupancich, A., Nunziante-Cesaro, S., Blasco, R., Rosell, J., Cristiani, E., Venditti, F., Lemorini, C. Barkai, R. y Gopher, A. 2016. Early evidence of stone tool use in bone working activities at Qesem Cave, Israel. *Scientific Reports*, 6 (1) 1-7.