

Marcadores de áreas de actividad antrópica en arqueología

Alumno: Javier Ruiz Pérez

NiUB: 14762171

Asignatura: Treball Final de Grau

Tutor: José Remesal Rodríguez

Departamento: Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia

Curso: 2012-2013

ÍNDICE

<i>Resumen/abstract y palabras clave/key words</i>	3
<i>Introducción y agradecimientos</i>	4
1. Marcadores antrópicos	5
1. 1. Introducción	5
1. 2. Biomarcadores en arqueología	5
1. 2. 1. Definición de biomarcador y su utilización en arqueología	5
1. 2. 2. Aplicación de los biomarcadores	6
1. 3. La historia en los suelos	9
1. 4. Marcadores de actividad antrópica	10
1. 4. 1. Marcadores antrópicos en arqueología	10
1. 4. 2. Propuesta de definición	11
1. 4. 3. Modelo de marcador de actividad antrópica	12
1. 4. 4. Residuos como <i>proxies</i>	13
1. 4. 5. Calibrar el modelo de marcador antrópico	15
1. 4. 6. El papel de la etnoarqueología	16
1. 4. 7. Marcadores de áreas de actividad antrópica	18
2. Análisis de residuos químicos	21
2. 1. Química analítica en arqueología	21
2. 2. Residuos químicos como marcadores antrópicos	22
3. Análisis de restos botánicos	26
3. 1. Análisis botánicos en arqueología	26
3. 2. Restos botánicos y uso del espacio	27
3. 3. Fitolitos como marcadores antrópicos	28
4. Geoestadística y análisis espacial de marcadores antrópicos	31
<i>Conclusión y consideraciones finales</i>	34
<i>Bibliografía</i>	35

RESUMEN

En las últimas décadas, la identificación de áreas de actividad antrópica para el estudio del uso del espacio se ha convertido en uno de los principales intereses de la investigación arqueológica. El objetivo de este trabajo es valorar la utilización de marcadores en arqueología para el estudio de áreas de actividad antrópica y uso del espacio.

ABSTRACT

In recent decades, the identification of anthropic activity areas in order to study the use of space has become one of the main interests in the archaeological research. The aim of this dissertation is to assess the use of markers in archaeology for the study of anthropic activity areas and use of space.

PALABRAS CLAVE

Marcadores antrópicos, uso del espacio, áreas de actividad, residuos químicos, residuos botánicos, geoestadística, análisis espacial

KEY WORDS

Anthropic markers, use of space, activity areas, chemical residues, botanical residues, geostatistics, spatial analysis

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la identificación de áreas de actividad antrópica para el estudio del uso del espacio se ha convertido en uno de los principales intereses de la investigación arqueológica. En este sentido, el análisis de la distribución espacial de residuos químicos y micro-restos físicos que se encuentran en el suelo arqueológico mediante la utilización de marcadores se presenta como una herramienta interesante para la detección de actividades humanas en contextos arqueológicos. Sin embargo, pese a que la aplicación de marcadores se ha desarrollado enormemente en disciplinas como la biología o la química, el uso de marcadores en arqueología es muy limitado.

El objetivo de este trabajo es valorar la utilización de marcadores en arqueología para el estudio de áreas de actividad antrópica y uso del espacio. Para ello, las siguientes páginas se han estructurado en cuatro bloques. El primero se centra en el uso de marcadores en arqueología considerando las posibilidades que ofrece para el estudio del uso del espacio. El segundo y el tercer bloque están dedicados al análisis de residuos químicos y micro-restos botánicos valorando su utilidad como marcadores de áreas de actividad antrópica. El cuarto y último bloque presenta el análisis espacial y la geoestadística como herramientas de gran potencialidad para la detección de áreas de actividad mediante el análisis espacio-temporal de marcadores de actividad antrópica.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo no hubiera sido posible sin el seguimiento y la ayuda ofrecida por José Remesal Rodríguez. También quisiera agradecer la colaboración recibida por parte de mis compañeros de la IMF-CSIC, entre los que destacan Bernardo Rondelli, Carla Lancelotti, Débora Zurro, Andrea Balbo, Marco Madella y Juan José García-Granero. Por último, me gustaría destacar el incalculable apoyo recibido por Verónica Peña-Filiu.

1. MARCADORES ANTRÓPICOS

1. 1. Introducción

El análisis del uso del espacio -la detección de actividades antrópicas y su distribución espacial a través del tiempo- es uno de los principales objetivos de la investigación arqueológica. En este sentido, la identificación de áreas de actividad en contextos arqueológicos no tiene por qué limitarse exclusivamente al reconocimiento de restos como artefactos o huesos sino que también puede incluir otros restos como fitolitos o residuos químicos que se encuentran en el suelo arqueológico (Milek & Roberts 2013: 1845). En las últimas décadas, el análisis de la distribución espacial de micro-restos físicos -como fitolitos- o químicos -como fósforo, magnesio o hierro- se ha configurado como una herramienta útil para la detección de actividades humanas en el registro arqueológico. Destacan, por ejemplo, los trabajos de Middleton *et al.* (2010) sobre análisis químicos de suelos en México e Italia, la investigación de Barba (2007) sobre la aplicación de análisis químicos en contextos etnoarqueológicos, o los trabajos de Lancelotti & Madella (2012) sobre la identificación de estiércol (*dung*) mediante la combinación de análisis de fitolitos y otros residuos. Sin embargo, la definición y el uso del concepto marcador para la identificación de áreas de actividad humana del pasado se ha desarrollado muy poco en arqueología (Rondelli *et al.*, en prensa). En consecuencia, ante la potencialidad que ha demostrado el uso de marcadores en otras ciencias (por ejemplo, la aplicación de marcadores genéticos en biología), el desarrollo y la aplicación de marcadores para el estudio de actividades domésticas a través del análisis de residuos que permanecen en el sedimento se presenta como una interesante herramienta para la arqueología.

1. 2. Biomarcadores en arqueología

1. 2. 1. Definición de biomarcador y su utilización en arqueología

En arqueología, el concepto marcador se ha utilizado generalmente como identificador de residuos orgánicos en análisis químicos. En este sentido, destacan los trabajos de R. P. Evershed sobre artefactos que contienen biomarcadores arqueológicos (*archaeological biomarkers*, *biological markers* o *biomarkers*) (Evershed 2008). Los biomarcadores son compuestos orgánicos formados por carbono, hidrógeno y otros elementos que son útiles para la detección de biomoléculas como ADN, proteínas o carbohidratos (por eso, el uso de biomarcadores en arqueología se conoce como arqueología biomolecular o *biomolecular archaeology*) (Evershed 2008: 897; Simoneit 2002: 187; Evershed 1993).

El concepto biomarcador fue utilizado por primera vez en la década de 1930 por Alfred Triebs, quien caracterizó las porfirinas (derivados geológicos de la clorofila) de rocas sedimentarias y bitúmenes como indicadores moleculares de restos orgánicos (*apud.* Simoneit 2002: 186; *apud.* Jones 2012: 61). Aun así, no fue hasta la década de 1960 cuando el desarrollo de la técnica y la instrumentalización permitió el aislamiento y la caracterización de compuestos individuales a partir de compuestos biológicos complejos (Evershed 2008: 896). Desde ese momento, gracias a innovaciones técnicas como la cromatografía de gases-espectrometría de masas (*gas chromatography-mass spectrometry* o GC-MS), el uso de biomarcadores se presentó útil. Los primeros desarrollos en la configuración y la aplicación de biomarcadores se centraron especialmente en estudios geoquímicos sobre petróleo pero, con el paso de los años, su aplicación se ha ido extendiendo a diferentes disciplinas, como por ejemplo la paleoclimatología, las ciencias ambientales y la arqueología (Jones 2012: 61; Simoneit 2002: 187). En arqueología, la aplicación de análisis de residuos orgánicos en materiales arqueológicos se consolidó en la década de 1970 gracias a los trabajos de Thornton (*apud.* Evershed 2008: 896), a partir de los cuales se han desarrollado numerosos estudios. Por ejemplo, en 1990, Gerhardt demostró la potencialidad del uso de biomarcadores en varios análisis sobre residuos filtrados en vasijas corintias (*apud.* Malainey 2011: 211-212), aunque el análisis químico de residuos orgánicos para conocer el contenido de cerámicas ya se practicaba desde la década de 1970 (Pecci *et al.* 2013: 109). En 1993, Evershed definió el concepto biomarcador arqueológico (*archaeological biomarker*) como cualquier residuo orgánico que proporciona información relativa a actividades humanas del pasado. Más recientemente, Evershed ha desarrollado el “concepto de biomarcador arqueológico” o *archaeological biomarker concept* (“huellas químicas” o “*chemical fingerprints*” de actividad antrópica) centrándose en el análisis de lípidos (los componentes solubles en disolventes orgánicos de organismos vivos como ácidos grasos, ceras o resinas), proteínas o pigmentos (Evershed 2008: 897).

1. 2. 2. Aplicación de los biomarcadores

El uso de biomarcadores en arqueología está estrechamente ligado a ciencias naturales como la paleontología molecular (Evershed 1993: 75). La paleontología molecular, al igual que la arqueología biomolecular, se centra en el estudio de los procesos de preservación o deterioro de biomoléculas, aunque focalizado en paleoambientes. En cambio, la arqueología biomolecular utiliza cualquier molécula biológica del registro arqueológico que pueda ser aplicada para la detección de actividades humanas. Por ejemplo, los lípidos, las proteínas y los

carbohidratos son los componentes más abundantes de los tejidos animales mientras que las plantas leñosas se caracterizan por presentar pigmentos en abundancia (Evershed 1993: 74). La identificación de estos biomarcadores es útil para la inferencia de actividades concretas: por ejemplo, se utilizan biomarcadores para detectar el alquitrán utilizado como pigmentos en pinturas prehistóricas o el estiércol empleado en la construcción de edificios (para más ejemplos del uso de biomarcadores en arqueología ver Peters *et al.* 2005: 322-352). Aun así, el análisis de biomarcadores presenta dificultades porque los materiales orgánicos registrados en un yacimiento aparecen mezclados, ya que todos son de origen biológico (Evershed 2008: 897). Esto provoca equifinalidad, es decir, la existencia de un gran espectro de posibles resultados (una misma actividad puede tener diferentes marcadores y un solo marcador puede utilizarse para inferir diferentes actividades), lo que hace que un marcador se vuelva tan genérico que necesite ser calibrado (Middleton *et al.* 2010: 186). Además, esta dificultad se incrementa como resultado directo de las actividades humanas (por ejemplo, en la preparación de comida se mezclan diferentes materiales orgánicos) y de la alteración de la composición de los elementos moleculares debido al deterioro causado por la deposición y el paso del tiempo. A todo ello, hay que considerar que, según los resultados publicados por Evershed en 2008 (tabla 1), la aplicación de biomarcadores para la identificación de áreas de actividad antrópica a través del análisis de los residuos orgánicos que se encuentran en el sedimento es limitado por dos motivos. En primer lugar, porque sólo detecta residuos orgánicos. En segundo lugar, porque los biomarcadores son más potenciales en la detección de residuos concretos (como resinas y bitúmenes, restos humanos y animales, pigmentos, o cerámicas) que en áreas de actividad.

Un ejemplo del uso de biomarcadores en arqueología es el llevado a cabo por Pecci *et al.* (2013) en la identificación de marcadores de vino en diferentes cerámicas (tanto de origen arqueológico como fabricadas para la experimentación). A través del análisis de diversas cerámicas mediante la técnica GC-MS, Pecci *et al.* han utilizado biomarcadores para la detección de vino. El ácido tartárico es considerado el principal biomarcador del vino por su abundancia en las uvas, aunque este ácido también está asociado a zumo de uva, sirope y derivados del vino así como a otras frutas como el tamarindo y la ciruela amarilla (Pecci *et al.* 2013: 110). Por eso, el equipo de Pecci ha tratado de buscar otros marcadores válidos para la identificación de vino en cerámicas extraídas de yacimientos. El resultado de las muestras que tomaron y analizaron con GC-MS ha demostrado que el ácido tartárico asociado con los ácidos málico, fumárico, succínico y cítrico forma un conjunto de biomarcadores cuya

presencia indica la existencia de vino (Pecci *et al.* 2013: 114). Además, las ratios de estos marcadores varían como consecuencia de la manipulación del vino (por ejemplo, el consumido para cocinar).

Pese a que el estudio de Pecci *et al.* (2013) es muy interesante, la mayor parte de investigadores que utilizan biomarcadores se centran en la identificación de marcadores sobre todo en artefactos o en superficies arqueológicas muy reducidas (por ejemplo, cerámicas o zonas de acumulación de ácidos grasos, respectivamente) (Evershed 2008). En cambio, el uso de biomarcadores para la detección de áreas de actividad antrópica en suelos arqueológicos es escaso. Aun así, pese a que no utilicen el concepto biomarcador, hay investigadores que aplican análisis sobre residuos orgánicos para el estudio del uso del espacio. Por ejemplo, Middleton *et al.* (2010) han analizado diferentes residuos orgánicos -como ácidos grasos, proteínas o carbohidratos- y su distribución espacial en tres yacimientos diferentes (el Templo Mayor de Tenochtitlan y Muxucucab en México, y Donoratico en Italia); también han incluido el análisis de residuos inorgánicos como fosfatos o pH. Para el caso del Templo Mayor, por ejemplo, mediante la técnica “pruebas puntuales” (*spot tests*) y GC-MS, el equipo de Middleton ha identificado diferencias en los ácidos orgánicos encontrados en el altar principal respecto a los altares secundarios, lo que sugiere que se utilizaban materiales distintos para los diferentes rituales que se celebraban en el templo (Middleton *et al.* 2010: 190-194).

Table 1 Sources of organic residues in the archaeological record. The number of asterisks are scores (***** = high to * = low) relating to the importance of the source, both in terms of its demonstrable capacity to yield archaeologically relevant information and its occurrence in the record (geographical spread and rates of recovery)

<i>Pottery</i>	<i>Soils and sediments</i>
Vessel fills*	Midden and other organic wastes***
Surface or visible residues****	Agricultural soils***
Absorbed residues*****	Habitation deposits**
	Ritual deposits**
<i>Human and animal remains</i>	<i>Resins and bitumens</i>
Skeletal remains****	Natural resins*****
Soft tissues***	Plant gums**
Mummies****	Fossil resins***
	Petroleum bitumens***
<i>Plant remains</i>	<i>Miscellaneous</i>
Waterlogged remains***	Glass containers**
Desiccated remains**	Metal containers**
Carbonized(?)*	Stone objects**
<i>Dyes and pigments</i>	Hoards; e.g., bog butter**
Textiles****	
Art****	

Tabla 1. Tabla que muestra diferentes categorías de restos arqueológicos que contienen residuos orgánicos que pueden ser identificados como biomarcadores. También incluye puntuaciones sobre la cantidad y la calidad de la información que puede revelar cada resto arqueológico [Evershed 2008: 903]

1. 3. La historia en los suelos

En arqueología, los suelos contienen una importante fuente de información ya que, según Renfrew & Bahn (2007: 211), los suelos son “...*el soporte de la vida...*”. Los suelos reflejan la variabilidad espacial y temporal de procesos ecológicos y antrópicos (Holliday 2004: 1): en los sedimentos antropogénicos quedan registrados el impacto de las actividades humanas (por ejemplo, la preparación de comida) y el entorno ecológico (*environment*) en el que se desarrollan. Teniendo en cuenta que el material más abundante de un yacimiento es el sedimento, el análisis de los residuos que contiene -tanto micro-restos físicos como químicos, orgánicos e inorgánicos- puede proporcionar una información muy útil para el estudio de las actividades antrópicas y el uso del espacio, especialmente si esta información se combina con la que proporcionan otras evidencias (por ejemplo, artefactos) (Middleton *et al.* 2010: 186; Barba 2007: 451). En este sentido, Heizer publicó en 1949 *A Manual of Archaeological Field Methods* donde alentaba a los arqueólogos a tomar muestras de los suelos de los yacimientos excavados (*apud.* Wells 2010: 210). En 1997, Hester, Shafer y Feder publicaron la séptima edición de la obra de Heizer en la cual se esforzaron por explicar la potencialidad del análisis de suelos como herramienta para la reconstrucción de patrones de actividades humanas. En todo caso, la mayor parte de arqueólogos interesados en el análisis de residuos químicos o micro-restos físicos que se encuentran en el suelo arqueológico han seguido las bases del artículo que Binford publicó en 1964, *A consideration of archaeological research design*, en el cual consideraba el sedimento antropogénico como *sample universe*, es decir, como un conjunto del que se pueden tomar muestras para análisis descriptivos o estadísticos (*apud.* Wells 2010: 211). Siguiendo la propuesta de Binford, una muestra debe ser representativa de la población o *population* estadística (en estadística, *population* o *universe* es el conjunto total de individuos o elementos del que se toman muestras): por ejemplo, en los análisis de suelos arqueológicos las muestras analizadas deben indicar áreas de actividad antrópica.

Para la identificación de actividades domésticas y su distribución espacial, autores como Goldberg & Macphail (2006: 224) o Pecci *et al.* (2010: 449) plantean necesario considerar los depósitos de ocupación (o los sedimentos antropogénicos) como un elemento material más del registro arqueológico. En los últimos 25 años, los depósitos de ocupación han empezado a ser estudiados en detalle mediante estudios arqueológicos, etnoarqueológicos y experimentales (Goldberg & Macphail 2006: 211). Esto ha demostrado que los sedimentos antropogénicos no pueden ser estudiados sirviéndose de los métodos y técnicas tradicionales ya que no permiten recuperar toda la información cultural y ecológica que contienen. En este sentido, Goldberg &

Macphail (2006) proponen una metodología basada en la micromorfología y en observaciones microscópicas (un ejemplo de la aplicación de la micromorfología de suelos para la detección de áreas de actividad es Milek & Roberts 2013). El objetivo es revelar actividades humanas concretas que quedan registradas en el sedimento antropogénico y que se derivan, básicamente, de la ocupación *in situ* (Goldberg & Macphail 2006: 211). Aun así, es importante remarcar que Goldberg & Macphail (2006: 216) proponen una “interpretación social” de los sedimentos en sí, mientras que el empleo de marcadores antrópicos se centra en la detección de restos materiales contenidos en los sedimentos. Sin embargo, la propuesta de Golberg & Macphail para la re-definición y re-valorización de los sedimentos es aplicable para la definición de marcadores en arqueología -especialmente para los marcadores de áreas de actividad antrópica a través del análisis de residuos químicos y micro-restos físicos- en el sentido en que también supone una re-valorización de los residuos arqueológicos, algunos de los cuales no se han integrado en el estudio del registro arqueológico hasta hace pocas décadas (por ejemplo, restos no artefactuales como los residuos químicos).

1. 4. Marcadores de actividad antrópica

1. 4. 1. Marcadores antrópicos en arqueología

Inicialmente, el concepto de marcador antrópico en arqueología ha sido utilizado en estudios sobre polen y micro-carbones vegetales para explicar cambios en el entorno ecológico como consecuencia de actividades humanas tales como la quema de bosques o la agricultura (Rondelli *et al.*, en prensa). Aun así, pese al desarrollo de marcadores en ciencias como la geoquímica o la biología (para el segundo caso ver, por ejemplo, Xu 2010), en arqueología su uso ha sido escaso (básicamente se han aplicado en ámbitos ligados a la paleontología molecular y la detección de biomarcadores). Este limitado avance está relacionado con una serie de problemáticas a la que la investigación arqueológica se ve sometida por diversas razones. En primer lugar, las acciones humanas y la identificación de sus evidencias es una tarea difícil tanto por la complejidad de las actividades antrópicas como por el amplio espectro de posibles interpretaciones que se pueden derivar en su detección (equifinalidad) (Rondelli *et al.*, en prensa). En segundo lugar, la falta de una estrategia *multi-proxy* integrada (combinación de diferentes *proxies*, es decir, categorías representativas de información) (Rondelli *et al.*, en prensa). En tercer lugar, la dependencia de los proyectos arqueológicos en relación a los avances técnicos y su aplicación práctica, además del coste que supone y la financiación de la que disponen. En cuarto lugar, la escasez de protocolos y colecciones de referencia en relación a las estrategias de muestro, a la conservación de

residuos o a la elaboración de patrones para la identificación de determinadas actividades. Por último, aunque podrían incluirse más, la dificultad de construir modelos para inferir actividades humanas del pasado mediante marcadores. Sin embargo, pese a los inconvenientes mencionados, hay algunos autores que han utilizado marcadores antrópicos para la detección de actividades antrópicas (por ejemplo, Rondelli *et al.*, en prensa; Lancelotti & Madella 2012; Rondelli *et al.* 2012) o, al menos, han manifestado su potencialidad (por ejemplo, Zurro 2010). Además, otros autores emplean estrategias similares en la detección de actividades antrópicas pese a no hacer un uso explícito del concepto marcador antrópico (por ejemplo, Barba 2007, Middleton *et al.* 2010, Terry *et al.* 2004 o Fernández *et al.* 2002).

1. 4. 2. Propuesta de definición

Siguiendo la definición planteada por Rondelli *et al.* (en prensa), un marcador de actividad antrópica (*anthropic activity marker*) es “...*any chemical or physical residue (or a combination of more than one) that can be measured and it can be considered as a signature of a particular human activity*”. En este sentido, en arqueología pueden distinguirse dos categorías de marcadores antrópicos en función del material donde se apliquen:

1. Marcadores en artefactos y otras evidencias muebles. La obtención de muestras de residuos se practica en -por ejemplo- cerámicas o huesos, y se orienta hacia la detección de marcadores como los biomarcadores desarrollados por R. P. Evershed. También se toman muestras en artefactos para la detección de fitolitos o granos de almidón con el objetivo de estudiar, por ejemplo, dieta o estrategias económicas (para más información ver, por ejemplo, Piperno 2006: 83-84).
2. Marcadores en sedimentos. Las muestras se recogen en suelos arqueológicos, los cuales pueden ser de diferente extensión: desde asentamientos domésticos hasta superficies que superen los límites de los asentamientos domésticos e integren otros espacios (por ejemplo, un bosque o un campo). Para el primer tipo de muestreo destacan los estudios de investigadores como L. Barba o W. D. Middleton; además, Rondelli *et al.* (en prensa) han utilizado el concepto marcador antrópico en suelos etnoarqueológicos para la detección de áreas de actividad humana. Para el segundo, es importante el trabajo desarrollado por autores como P. D. Moore sobre el estudio de actividades humanas a nivel de paisaje (*apud.* Rondelli *et al.*, en prensa).

Para el estudio de áreas de actividad y el uso del espacio en contextos arqueológicos, el tipo de marcador que más información puede revelar es el que se aplica en sedimentos

antropogénicos. La aplicación de marcadores en sedimentos antropogénicos se basa en la idea de que, a lo largo del tiempo, el humano tiende a utilizar áreas específicas de sus asentamientos o entornos para la realización de actividades concretas (Rondelli *et al.*, en prensa). Este uso prolongado del espacio genera residuos (químicos y/o micro-restos físicos) que son depositados en el suelo arqueológico y que evidencian las actividades que se han desarrollado en el mismo (Parnell, Terry & Nelson 2002: 380; Middleton *et al.* 2010: 185; Wells & Terry 2007: 387). Estos residuos se pueden identificar como marcadores representativos de las actividades que han sido llevadas a cabo en el espacio donde se encuentran. En este sentido, la acumulación y distribución de un mismo residuo o conjunto de residuos en el sedimento antropogénico permite identificar diferentes áreas de actividad antrópica (Rondelli *et al.*, en prensa). Para la detección de áreas de actividad pueden aplicarse técnicas de análisis espacial con el objetivo de examinar y describir patrones espacio-temporales en la distribución de los residuos analizados (Terry *et al.* 2004: 1242). Así, utilizando métodos como, por ejemplo, *regression kriging* o *universal kriging*, se pueden detectar patrones de actividades antrópicas y estudiar el uso del espacio (Salisbury 2013: 928; Terry *et al.* 2004: 1242; Rondelli *et al.*, en prensa).

1. 4. 3. Modelo de marcador de actividad antrópica

Un marcador de actividad antrópica es un modelo artificial ideado para inferir actividades humanas mediante la detección de marcadores (fig. 1). A partir de la identificación y el análisis de residuos químicos y/o micro-restos físicos así como la aplicación de técnicas de análisis espacial, los marcadores permiten reconocer patrones (*patterns*) y modelar tendencias (*trends*) que representan la distribución espacio-temporal de actividades concretas (Rondelli *et al.*, en prensa). Este modelo se basa en un razonamiento abductivo, es decir, la hipótesis o conjetura de un fenómeno pretende ser la mejor o más probable explicación. De ese modo, el modelo de marcadores de actividad antrópica es orgánico, en el sentido en que puede ser reformulado con el objetivo de mejorar su aplicación y eficiencia. Así, los marcadores antrópicos son calibrados mediante diferentes mecanismos, principalmente la investigación experimental y etnoarqueológica (por ejemplo, la creación de colecciones de referencia para el análisis de fitolitos), y el conocimiento actual (por ejemplo, el fósforo se considera uno de los mejores indicadores de actividades humanas en los suelos) (Zurro 2010: 103; Lancelotti 2010: 60). De esta manera, se pretende definir marcadores que ostenten especificidad, sensibilidad y fiabilidad (Zurro 2010: 107), aunque el modelo de marcador antrópico también debe considerar las diversas problemáticas (por ejemplo, la equifinalidad) que generan

incertidumbre o *uncertainty* (es decir, sesgo en las interpretaciones) (para más información sobre incertidumbre en arqueología ver, por ejemplo, Crema 2012 o Rondelli *et al.*, en prensa). Además, el uso de marcadores antrópicos en una investigación arqueológica debe ir acompañado del conocimiento de los procesos de formación del yacimiento (tanto los procesos deposicionales como post-deposicionales) y de la utilización de otros restos arqueológicos (cerámica, lítica, huesos, hogares, altares, habitaciones, etc.) para validar las interpretaciones (Milek & Roberts 2013: 1845; Zurro 2010: 108; Middleton *et al.* 2010: 186; Holliday 2004).

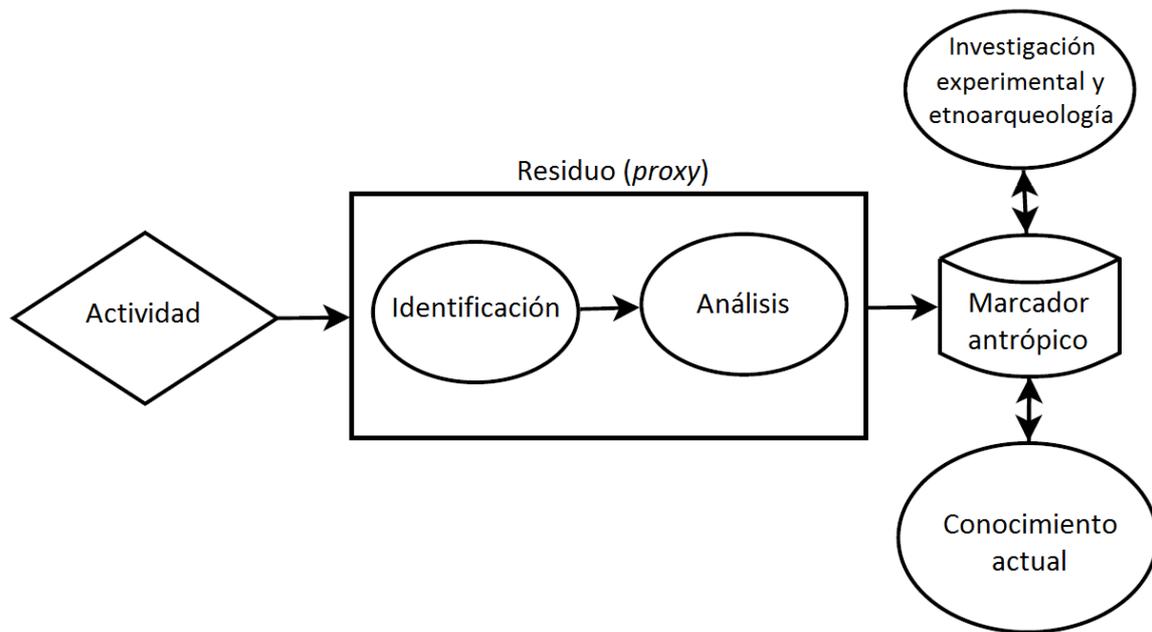


Fig. 1. Representación esquemática del modelo de marcador de actividad antrópica

1. 4. 4. Residuos como “proxies”

En general, ningún autor hace mención explícita al tamaño que debe tener un residuo - tanto químico como físico- o compuesto de residuos para que sea considerado marcador. En general, los residuos generados por actividades antrópicas pueden dividirse en macro-residuos (como lítica o fragmentos de hueso) y micro-residuos (como residuos químicos, fitolitos o almidones) (Middleton *et al.* 2010: 185). Aun así, normalmente se catalogan como marcadores aquellos micro-residuos que son “invisibles” al ojo humano (Evershed 2008: 895; Lancelotti & Madella 2012). En este sentido, Barba (2007: 444) describe los micro-residuos empleados como marcadores con las siguientes características (sólo hace referencia a residuos químicos pero también se puede aplicar a micro-restos físicos como, por ejemplo, fitolitos o almidones): invisibles, intangibles, con un desplazamiento vertical y horizontal mínimo, y no reutilizados. Así, por ejemplo, pueden ser utilizados como marcadores desde fitolitos,

carbohidratos o proteínas hasta fósforo, calcio, potasio o nitrógeno (Lancelotti 2010: 60; Evershed 2008).

En el modelo de marcador de actividad antrópica, cada residuo o elemento usado como marcador es utilizado como *proxy* de una actividad (fig. 1) (Rondelli *et al.*, en prensa). En este sentido, el término *proxy* tiene dos funciones. Por un lado, es un símbolo, generalmente numérico, que puede usarse para representar el valor de algo en un cálculo (en este caso el valor cuantitativo de un residuo). Por otro lado, *proxy* hace referencia a un tipo de residuo concreto (por ejemplo, fitolitos) asociado a un origen específico (por ejemplo, una actividad). Autores como Lancelotti & Madella (2012), Rondelli *et al.* (en prensa) o Pecci *et al.* (2010) recomiendan el uso de estrategias *multi-proxy* (la combinación de diferentes marcadores) para la identificación de actividades antrópicas. Por ejemplo, Lancelotti & Madella (2012) propusieron un modelo para la identificación de estiércol (*dung*) basado en la combinación de un conjunto de marcadores que ofrecen diferentes niveles de fiabilidad para la detección de estiércol. Utilizaron como marcadores esferulitas, fitolitos y elementos químicos, y combinaron su análisis demostrando que el estudio de diferentes conjuntos de datos procedentes de diferentes residuos pero del mismo contexto proporciona resultados más fiables que si se estudian por separado (Lancelotti & Madella 2012: 954).

La estrategia *multi-proxy* es a su vez una perspectiva multi-metodológica en el sentido en que el análisis de diferentes tipos de residuos está relacionado con diferentes metodologías (por ejemplo, *spot tests* para residuos químicos y observaciones microscópicas para micro-restos botánicos) (Lancelotti 2010: 61). En consecuencia, es necesario establecer una manera de integrar la información obtenida a partir de técnicas diferentes y análisis por separado. El conteo de residuos puede presentarse numéricamente de dos maneras: como valores absolutos o como valores relativos (proporcionales) expresados como porcentajes (en estadística, el análisis de valores absolutos se conoce como análisis cuantitativo mientras que el análisis de valores relativos se conoce como análisis semi-cuantitativo) (Lancelotti 2010: 62). Según Lancelotti (2010), normalmente se utilizan valores relativos porque reducen el sesgo creado por la diferencia existente en los recuentos totales de cada residuo. Aun así, el resultado del conteo generalmente produce un gran y complejo conjunto de datos. Por eso, para encontrar patrones e interpretar los datos obtenidos es necesario aplicar análisis estadísticos (Rondelli *et al.* 2012: 24; Lancelotti 2010: 62). En este sentido, pueden utilizarse diferentes análisis estadísticos como, por ejemplo, el algoritmo de agrupamiento (*cluster*), estadística de escala

multi-variada (*multivariate scaling*), análisis de varianza (ANOVA) o el test de correlación de Spearman (Rondelli *et al.*, en prensa; Lancelotti 2010: 62).

1. 4. 5. Calibrar el modelo de marcador antrópico

La fiabilidad en la interpretación arqueológica de actividades antrópicas y su distribución espacial mediante el análisis de residuos depende de diversas cuestiones como, por ejemplo, las estrategias de muestreo o el conocimiento relativo a la formación y conservación del registro arqueológico. En este sentido, el estudio de los residuos de actividades antrópicas en suelos arqueológicos requiere el análisis de un gran número de muestras (Middleton *et al.* 2010: 187). Además, las estrategias de muestreo dependen tanto de la extensión del área que se quiera analizar como de los objetivos del estudio. Aun así, Middleton *et al.* (2010) proponen una distribución de las muestras con una distancia de entre 50 centímetros y 1 metro. Independientemente de si se toman muestras de residuos químicos o micro-restos físicos, la estrategia de muestreo puede ser aleatoria, sistemática o una combinación de estas dos (Lancelotti 2010: 45; para más información sobre diferentes estrategias de muestreo ver, por ejemplo, Renfrew & Bahn 2007: 70-71). Sin embargo, para el caso de residuos químicos, la elección de la estrategia de muestreo depende fundamentalmente de tres factores (Wells 2010: 225-227). El primero, conocer las propiedades de los sedimentos que se van a analizar antes de diseñar una estrategia de muestreo ya que la capacidad que tienen los suelos de almacenar residuos depende de varias propiedades como la textura o la porosidad (tabla 2). El segundo, si las densidades del muestreo son de menos del 1% del total del estudio sometido a análisis (*universe* o *population*), es recomendable aplicar una estrategia de muestreo aleatoria. El tercero, si las densidades del muestreo son de más del 1% del *universe*, se recomienda una estrategia de muestreo sistemática (una matriz reticular). Para el caso de residuos físicos, como por ejemplo micro-restos botánicos, existen diferentes estrategias de muestreo: para el estudio de fitolitos en sitios arqueológicos, Piperno describe dos estrategias: el muestreo en columna y el muestreo horizontal (Piperno 2006: 81-83; *apud.* Lancelotti 2010: 53-54).

A parte de las estrategias de muestreo, también es importante interpretar el registro arqueológico teniendo en cuenta los procesos de formación del yacimiento. En este sentido, es necesario conocer los procesos deposicionales y post-deposicionales de los suelos de ocupación estudiados (por ejemplo, las prácticas económicas y los procesos tafonómicos, respectivamente) (Milek & Roberts 2013: 1845; Zurro 2010: 109; Wilson *et al.* 2008: 413). Estos procesos se clasifican en procesos de formación natural (*N-transforms*) y procesos de formación cultural (*C-transforms*) (Goldberg & Macphail 2006: 212). Por eso, Milek &

Roberts (2013) proponen desarrollar marcos o estrategias para interpretar áreas de actividad valorando la influencia de los procesos naturales y antropogénicos que han afectado a la formación del suelo arqueológico. Esto es fundamental para entender las actividades antrópicas y la distribución de los residuos que generan así como para establecer estrategias de muestreo ligadas a los procesos de formación de los sedimentos (Wilson *et al.* 2008: 412-413). Además, tanto el desarrollo de metodologías de muestreo como la interpretación del registro arqueológico considerando los factores que influyen en su formación y conservación son importantes para escoger, por un lado, la técnica que se debe aplicar en el análisis de los diferentes residuos recogidos y, por otro lado, el tipo de análisis espacial que se puede utilizar para analizar su distribución (Middleton *et al.* 2010: 187; Rondelli *et al.*, en prensa).

Context	Prepared or Unprepared Surfaces	Accumulated Deposits	Postdepositional modifications
Roofed Structures			
Food Preparation	Loam plastered surface	Discrete strong parallel oriented lenses of organo-mineral deposits with grindstone fragments; vegetal pseudomorphs and siliceous gramineae plant fragments	Organic staining, bioturbation, salt formation immediately below surface
Food cooking adjacent to ovens and hearths	Plastered and compacted surfaces	Multiple layers of moderate parallel oriented loam with organo-mineral material, burnt fuel, oven fragments, bone, flint/obsidian flakes, charred grain, tubers, date palm phytoliths	Subhorizontal cracking in plaster floors, salts, bioturbation, organic staining
Storage in small rooms or bins	Clayey plaster with included organic matter, gypsum plaster	Charred cereal grains, either pure or mixed within building debris	Bioturbation
Reception/"clean activities"	Well prepared plasters often with finishing coats and impressions of mats/rugs	Thin lenses of charred and siliceous plant remains, sterile silty clay with strong parallel orientation	Organic staining and horizontal cracks
Ritual (associated with altars, sculptures, and wall paintings)	Multiple plaster layers, often with fine coats, occasionally painted, impressions of mats/rugs	Burnt remains, waterlain crusts, red ochre remains	Organic staining, salts, and bioturbation
Probably Roofed			
Stables	Very few prepared surfaces, overall undulating	Interbedded lenses of fragmented dung pellets	Organic staining, salts, and bioturbation
Unroofed			
Domestic courtyards and streets	Few plasters, aggregate hard-core surfaces, unprepared surfaces, bitumen pathways	Layers or unoriented deposits with cultural references, reworked wind- and water-lain sedimentary clasts, uncompacted refuse deposits, undisturbed wind and waterlain deposits, dung	Salts, bioturbation, wind and water reworking
Civic, administrative, and ritual courtyards	Mudbrick foundations with baked brick, lime plaster, and plastered surfaces; few unprepared surfaces	Mineral-rich remains with some burnt and cultural refuse, thin layer of ash	Salts, bioturbation, wind and water reworking
Middens	Few prepared surfaces, mainly unprepared surfaces with different depositional episodes and in situ burning	unoriented massive deposits, some wind and water-laid deposits and in situ burning	Bioturbation, settling and compaction, organic staining

Tabla 2. Tabla que relaciona diferentes áreas de actividad con el tipo de suelos y depósitos para cada caso. También incluye algunas modificaciones post-deposicionales propias de cada área de actividad [Goldberg & Macphail 2006: 213]

1. 4. 6. El papel de la etnoarqueología

La etnoarqueología es una disciplina que puede orientarse, por un lado, hacia la creación de colecciones de referencia para la interpretación del registro arqueológico y, por otro lado, hacia la mejora de las estrategias de campo en la detección de marcadores de actividad antrópica (Rondelli *et al.* 2012: 24; Middleton *et al.* 2010: 205-206; Wells & Terry 2007: 388; para más información sobre la disciplina etnoarqueológica ver David & Kramer 2001). Así, a

través de la experimentación controlada en suelos modernos (por ejemplo, una casa que se mantiene “tradicional”) se puede calibrar el modelo de marcador de actividad antrópica con el objetivo, por ejemplo, de diseñar mejores estrategias de muestreo o conocer cómo afectan los procesos de formación de un yacimiento a sus sedimentos y residuos (Parnell, Terry & Nelson 2002: 380; Barba 2007: 444; Rondelli *et al.*, en prensa). En 2007, Barba presentó algunas de las áreas de actividad más estudiadas en contextos domésticos etnoarqueológicos, cuya información puede extrapolarse a contextos arqueológicos: áreas de descanso (bajo contenido de residuos químicos), áreas de preparación de comida (contienen cenizas, altas concentraciones de pH o restos botánicos carbonizados), áreas de consumo de alimentos (contienen niveles bajos de pH pero altas concentraciones de fosfatos y residuos orgánicos) o áreas de estabulación de animales (contienen altos niveles de fosfatos). Otro tipo de estudios, como el de Lancelotti & Madella (2012), utilizan información etnográfica sobre -por ejemplo- actividades que incluyen diferentes etapas y la combinan con el estudio del tipo de residuo que genera cada actividad (fig. 2).

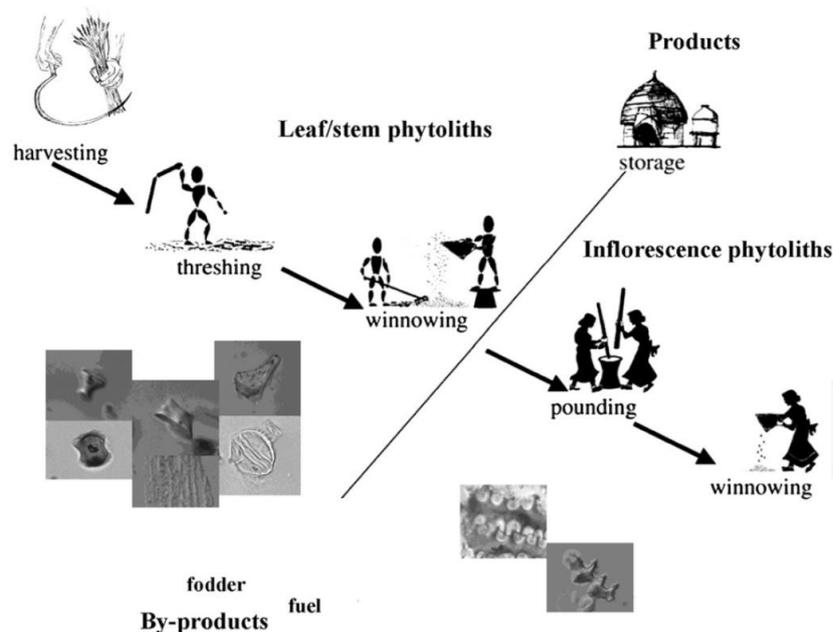


Fig. 2. Representación esquemática de las principales etapas de una cosecha al estilo tradicional y el tipo de fitolito que genera la actividad de cada etapa [Lancelotti & Madella 2012: 955]

Además, otros investigadores han estudiado contextos arqueológicos que proporcionan información sobre diferentes tipos de actividad, los residuos que generan, y su concentración y distribución en el espacio como, por ejemplo, Middleton & Price (1996), Fernández *et al.* (2002) o Lancelotti & Madella (2012). Por ejemplo, Milek (2007) expuso los principales

elementos químicos presentes en el sedimento de diferentes áreas de actividad antrópica de algunos yacimientos de la Islandia temprana (tabla 3).

Sedimento antropogénico	Elementos químicos presentes (en orden decreciente)
Suelo de cocina	Ca, P, K, Mg, Sr
Sedimento rico en residuos orgánicos (desperdicios en la preparación de comida)	P, K, Mg
Área de consumo de alimentos	P, K, Mg
Área de procesamiento de pescado	Na, K, Ba, Sr, P, Ca
Suelo de estabulación	Si, Ca, K, Al, Fe, S, Mg, P

Tabla 3. Relación entre áreas de actividad y su sedimento con los principales elementos químicos presentes en cada caso [Milek 2007: 342]

También es interesante el trabajo llevado a cabo por Rondelli *et al.* (en prensa) sobre el uso de marcadores de actividad antrópica en el contexto etnoarqueológico de una casa tradicional del norte del Gujarat (India). Rondelli *et al.* (en prensa) inciden en que la fiabilidad de las interpretaciones arqueológicas en la detección de áreas de actividad depende no sólo de calibrar las estrategias de muestreo o los análisis en laboratorio sino que también depende de la manera de analizar la información resultante y de representarla. Por eso, es importante evaluar el grado de sesgo (*uncertainty*) presente en las interpretaciones arqueológicas y desarrollar diferentes estrategias para llevarlo al mínimo. En este sentido, se han dedicado pocos esfuerzos a resolver el problema de la representatividad del tiempo en los muestreos ya que normalmente la distribución de residuos en suelos arqueológicos se analiza sólo a nivel espacial (a pesar de que las muestras representan acumulaciones de actividades llevadas a cabo en intervalos de tiempo distintos). Aunque esta problemática podría resolverse mediante análisis micromorfológicos, a menudo no se pueden recoger muestras tanto para micromorfología como para análisis de residuos -químicos o micro-restos físicos- en el campo de excavación, además de que supone una mayor inversión de tiempo ya sea en el campo como en el laboratorio. Para ello, Rondelli *et al.* (en prensa) proponen la utilización de técnicas geoestadísticas como -por ejemplo- *regression kriging*, ya que es una técnica rápida, de bajo coste y que permite la representación de patrones temporales.

1. 4. 7. Marcadores de áreas de actividad antrópica

El estudio de áreas de actividad antrópica y su distribución espacial es muy importante para la interpretación arqueológica de los yacimientos (Milek & Roberts 2013: 1845). En este sentido, el uso de marcadores de áreas de actividad y su potencialidad depende de la

combinación de diferentes *proxies* (Middleton *et al.* 2010: 186). Así, autores como Middleton *et al.* (2010), Barba (2007) o Lancelotti & Madella (2012) proponen la combinación de micro-restos botánicos y residuos químicos para la detección de áreas de actividad, aunque una mejor interpretación depende de la incorporación del estudio de otras evidencias (por ejemplo, cerámica, lítica, la presencia de estructuras y hogares, etc.) y del conocimiento de los procesos de formación del yacimiento investigado. El objetivo de la construcción de un modelo de marcador antrópico mediante estrategias que combinen diferentes *proxies* (*multi-proxy*) es resolver los diferentes grados de incertidumbre en las interpretaciones (por ejemplo, equifinalidad). Esto se traduce en una mayor calidad interpretativa en cuanto a la identificación y el estudio de áreas de actividad antrópica en contextos arqueológicos. Además, la aplicación de marcadores de actividad es muy útil para el estudio del comportamiento humano (*human behavior*) en relación al uso del espacio (fig. 3) (Wells & Terry 2007: 388; Parnell, Terry & Nelson 2002; Terry *et al.* 2004: 1237; para más información sobre arqueología del comportamiento o *behavioral archaeology* ver LaMotta & Schiffer 2009).

Material Items			
		<u>Past</u>	<u>Present</u>
Human Behavior	<u>Past</u>	1. Prehistoric, historical and classical archaeologies	2. Ethnoarchaeology and experimental archaeology
	<u>Present</u>	3. Study of long-term behavioral change	4. Modern material culture studies

Fig. 3. Las cuatro estrategias de la arqueología del comportamiento [LaMotta & Schiffer 2009: 16]

Numerosos investigadores han demostrado que el uso de marcadores como *proxies* de áreas de actividad es una herramienta muy potente para la inferencia espacio-temporal de actividades antrópicas (Milek & Roberts 2013; Rondelli *et al.*, en prensa; Fernández *et al.* 2002; Barba 2007; Middleton *et al.* 2010; Parnell, Terry & Nelson 2002; Terry *et al.* 2004; Cabanes *et al.* 2012). Por ejemplo, pueden utilizarse marcadores antrópicos para definir los límites de un yacimiento en relación a las actividades que se desarrollan dentro y fuera del asentamiento o para analizar áreas de actividades cotidianas en contextos domésticos (Cabanes *et al.* 2012; Pecci *et al.* 2010: 448). También son muy útiles para resolver algunas problemáticas ligadas al uso de artefactos y su distribución para la interpretación de áreas de actividad (Parnell, Terry & Nelson 2002: 379-380): los artefactos presentan limitaciones

porque en muchos yacimientos su presencia es escasa o su distribución puede inducir al error (la localización de un artefacto no tiene por qué estar siempre relacionada con el área original donde se utilizaba) mientras que los residuos químicos o los micro-restos botánicos se caracterizan por permanecer relativamente sin cambios en el suelo arqueológico (Pecci *et al.* 2010: 447; Fernández *et al.* 2002: 489; Terry *et al.* 2004: 1237). Aun así, la detección e interpretación de áreas de actividad mediante marcadores es mucho más efectiva si se complementa con otros residuos (por ejemplo, cerámicas, estructuras arquitectónicas o lítica) y metodologías (por ejemplo, análisis micromorfológico de suelos) (Milek & Roberts 2013: 1864). Sin embargo, la utilización de marcadores antrópicos tiene ventajas e inconvenientes que también dependen, por ejemplo, del tiempo que lleva el análisis de algunos residuos, del coste del instrumental técnico o del tipo de técnica o análisis aplicado. En esta línea, destaca el estudio de Middleton *et al.* (2010) donde presentan diferentes estrategias para la detección de residuos químicos enfatizando especialmente en aquéllas que son más baratas, rápidas y fáciles de usar. De hecho, sería interesante desarrollar árboles de decisión (fig. 4) que ayudasen a seleccionar diferentes estrategias para la detección de áreas de actividad dependiendo de variables como -por ejemplo- el tipo de muestreo, los residuos analizados, la actividad que se pretende detectar o la técnica de análisis espacial aplicable.

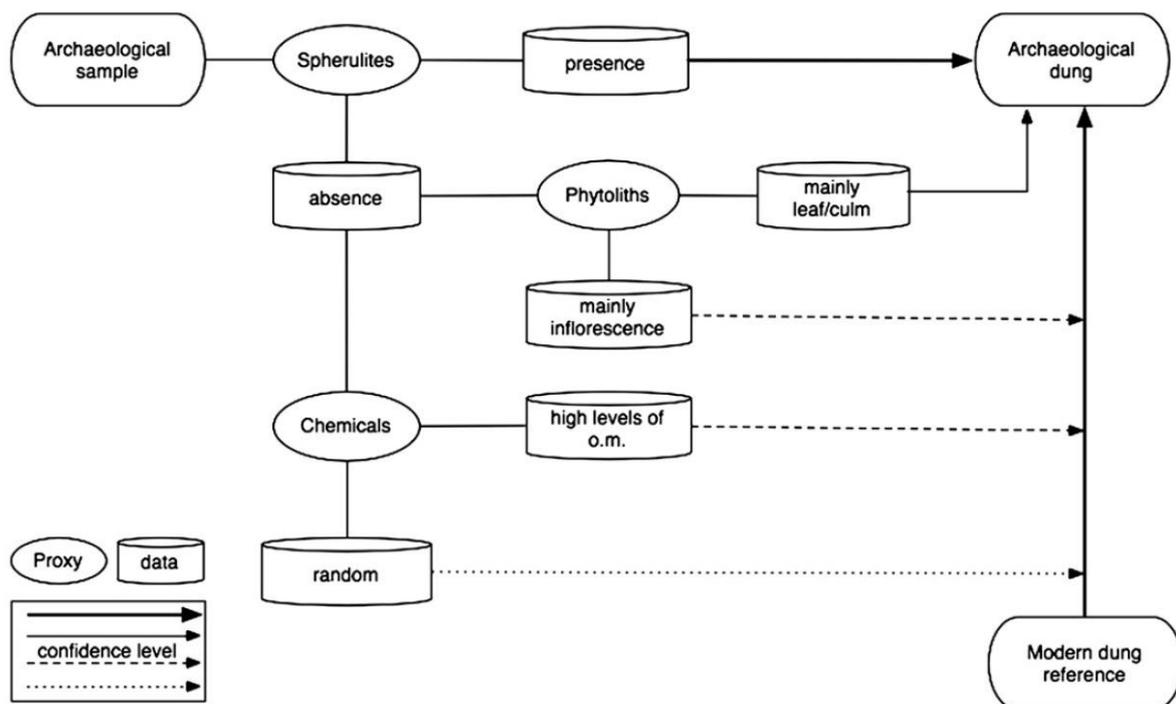


Fig. 4. Ejemplo de modelo o árbol de decisión para la identificación de estiércol (*dung*) en contexto arqueológico utilizando diferentes *proxies* y una estrategia de análisis basada en el criterio de presencia-ausencia [Lancelotti & Madella 2012: 955]

2. ANÁLISIS DE RESIDUOS QUÍMICOS

2. 1. Química analítica en arqueología

La aplicación de la química analítica para el estudio de suelos arqueológicos tiene casi cien años de historia (Wells 2004: 2; para más información sobre química analítica ver Pollard *et al.* 2007: 31-43). La historia de la química analítica en arqueología puede dividirse en tres fases generales (Wells 2004; para información más detallada sobre la historia del análisis químico en arqueología ver Pollard *et al.* 2007: 5-10, Wells & Terry 2007 o Middleton & Price 1996): detección y datación de sitios arqueológicos; estudio de la agricultura prehistórica; y estudio de las actividades antrópicas del pasado. Estas tres fases están relacionadas con el desarrollo del análisis químico de suelos y sedimentos en tres campos diferentes y la influencia que tuvo en arqueología (Barba 2007: 339): agronomía (el análisis químico se utiliza para controlar la salud de las plantas, la fertilidad y los nutrientes de la tierra), geoquímica (se utilizan análisis químicos como medio para estudiar la evolución geológica y localizar depósitos minerales de interés económico) y ciencia forense (se aplican análisis químicos para reconstruir escenas del crimen).

En 1929, Arrhenius descubrió la relación entre fosfatos y residuos arqueológicos mientras llevaba a cabo estudios agronómicos en Suecia (*apud.* Barba 2007: 399). Desde entonces, geógrafos y arqueólogos han aplicado el fosfato como detector y delimitador de asentamientos prehistóricos. Durante las décadas de 1930 y 1960 se desarrollaron diferentes técnicas para el campo y el laboratorio diseñadas para detectar fosfato en el suelo con el objetivo de prospeccionar yacimientos (Wells 2004: 2). En 1965, Cook y Heizer identificaron otros elementos químicos en sedimentos antropogénicos como calcio o materia orgánica (*apud.* Wells & Terry 2007: 2-3). Sin embargo, hasta la década de 1970, la química analítica se limitó generalmente al uso de fosfatos para detectar sitios, aunque se llevaron a cabo algunas pruebas para identificar actividades específicas (Middleton & Price 1996: 673; Middleton *et al.* 2010: 184). En 1973, Heidenreich y Konrad examinaron la distribución de fósforo, magnesio, calcio y carbón orgánico en el yacimiento de Robitaille para identificar la localización precisa de unas estructuras (*apud.* Middleton & Price 1996: 673). También a inicios de los setenta, Provan aplicó análisis químicos en sedimentos antropogénicos de un yacimiento noruego y observó que la distribución de sodio, potasio, calcio, magnesio, carbón orgánico, fósforo y nitrógeno permitía identificar parcelas de tierra cultivadas (*apud.* Wells 2004: 2-3). Además, durante las décadas de 1970 y 1980, investigadores como Eidt contribuyeron a un importante avance metodológico incluyendo técnicas derivadas de la

cromatografía y el fraccionamiento (*apud.* Wells 2004: 2). En este sentido, el análisis químico de sedimentos utilizado en prospecciones geoquímicas para localizar y evaluar depósitos de minerales ha permitido que, gracias al interés estratégico y económico de estas aplicaciones, se desarrollase una gran variedad de instrumental analítico. Este avance fue acompañado de la apertura de un nuevo campo de estudio para la investigación arqueológica: el estudio de áreas de actividad basándose en la premisa de que ciertos compuestos químicos son depositados en el sedimento como resultado de actividades antrópicas concretas (Wells 2004: 3). Por ejemplo, el fosfato es depositado en áreas de producción y consumo de alimentos, en zonas de entierros o en las cenizas de los hogares (para una información más detallada sobre elementos químicos ver, por ejemplo, Milek 2007: 338-339, Lancelotti 2010: 60-61 o Fernández *et al.* 2002: 489-490). Así, estos residuos químicos generados por ciertas actividades antrópicas son depositados en el sedimento y tienden a permanecer estables e inmóviles durante mucho tiempo, permitiendo a su vez ser detectados mediante diferentes procedimientos de extracción y la aplicación de instrumental analítico (Wells 2004: 3).

2. 2. Residuos químicos como marcadores antrópicos

A partir de la década de 1970, el análisis químico de residuos que permanecen en el suelo se introdujo en la arqueología mesoamericana (Middleton *et al.* 2010: 184). Desde entonces, el análisis de residuos químicos en sedimentos antropogénicos se ha convertido en una técnica muy útil para el estudio del uso del espacio en diferentes yacimientos del mundo (Middleton *et al.* 2010; Barba 2007; Rondelli *et al.*, en prensa; Terry *et al.* 2004; Fernández *et al.* 2002; Milek & Roberts 2013). Gracias a los trabajos de investigadores como L. Barba, desde la década de 1980 la aplicación de análisis químicos en arqueología empezó a centrarse en espacios arqueológicos de tamaño reducido y en una amplia variedad de elementos químicos tanto orgánicos como inorgánicos (por ejemplo, calcio, magnesio, potasio, zinc, etc.) (Middleton & Price 1996: 673; Barba 2007: 440). Esto permitió ver que diferentes actividades pueden generar residuos químicos similares y que una misma actividad puede generar diversos residuos químicos. Por eso, muchos investigadores empezaron a realizar estudios etnoarqueológicos en contextos modernos que se mantienen “tradicionales” para calibrar sus interpretaciones mediante el estudio de los residuos químicos que generan diferentes actividades (Wells 2004: 3; Wells & Terry 2007: 388). En esta línea, destaca el pionero equipo de L. Barba del *Laboratory of Archaeological Prospection*, el cual ha investigado asentamientos domésticos (*household*) de grupos indígenas del actual México y ha demostrado que la variación de ciertos tipos de elementos químicos así como las propiedades

del sedimento pueden ser usados para detectar y estudiar actividades domésticas (Wells 2004: 3-4). En este sentido, la investigación etnoarqueológica ofrece un contexto privilegiado para el estudio de marcadores antrópicos de actividades domésticas a través de la correlación directa entre el análisis de residuos químicos y las actividades llevadas a cabo (fig. 5a y fig. 5b) (Rondelli *et al.*, en prensa). Además, experimentar con los datos en un contexto controlado es importante para el desarrollo de la teoría arqueológica y de diferentes técnicas y metodologías (Wells & Terry 2007: 388-389).

Actualmente, el análisis de residuos químicos para el estudio del uso del espacio y las actividades que se desarrollan en él es una herramienta consolidada en arqueología. En este sentido, destaca la proliferación de diferentes metodologías para la detección e identificación de residuos químicos (por ejemplo, las estrategias de muestreo o el instrumental técnico) (Middleton *et al.* 2010: 184). Las diversas técnicas para el análisis de residuos químicos presentan diferencias en cuanto a tiempo y dinero invertido además de que proporcionan diferentes tipos y cantidades de datos. Por ejemplo, hasta la década de 1970, se aplicaban técnicas procedentes de la ciencia del suelo que producían resultados precisos, pero el análisis de un gran número de muestras con múltiples propiedades suponía un elevado coste económico y de tiempo. A partir de la década de 1980, en la química analítica de suelos se introdujeron nuevas técnicas como la de *spot tests* (“pruebas puntuales”), caracterizada por generar resultados cualitativos y semi-cuantitativos con capacidad para detectar múltiples elementos de forma rápida y barata (Middleton *et al.* 2010: 184). Desde finales del siglo XX, la química analítica ha vivido grandes avances en relación a la instrumentación analítica cuantitativa: por ejemplo, destaca *gas chromatography-mass spectroscopy* (GC-MS) para química orgánica y *inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy* (ICP-OES) o *inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry* (ICP-AES) para química inorgánica (para más información ver Pollard 2007 o Middleton *et al.* 2010).

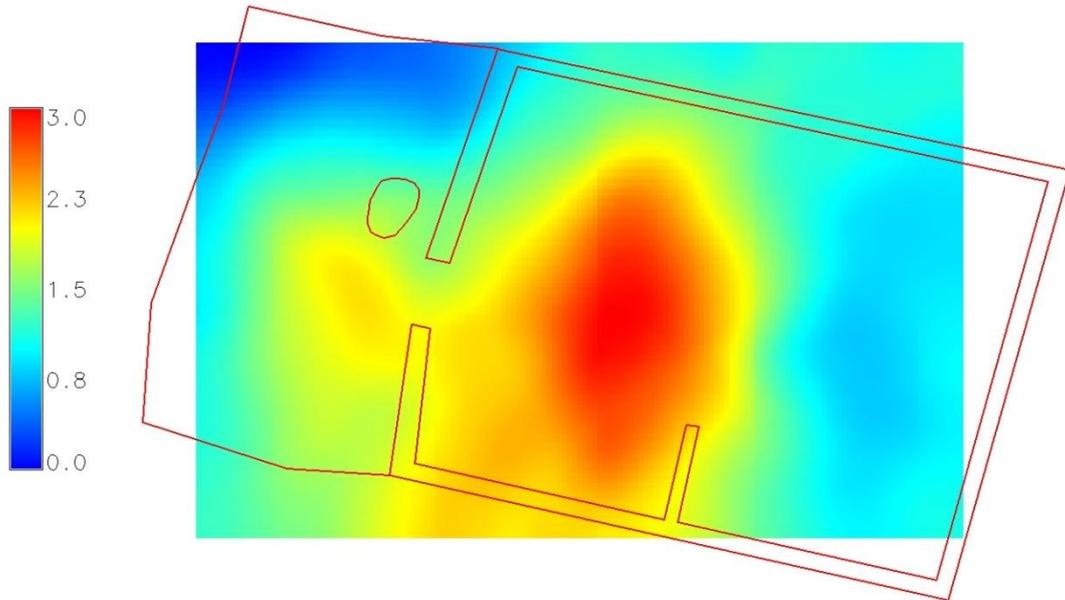


Fig. 5a. Uso del espacio en una casa tradicional y actual del norte del Gujarat (India). Esta información fue proporcionada por los habitantes de la casa y corresponde a un estudio etnoarqueológico desarrollado por el equipo de Rondelli *et al.* en 2010 [Rondelli *et al.*, en prensa]

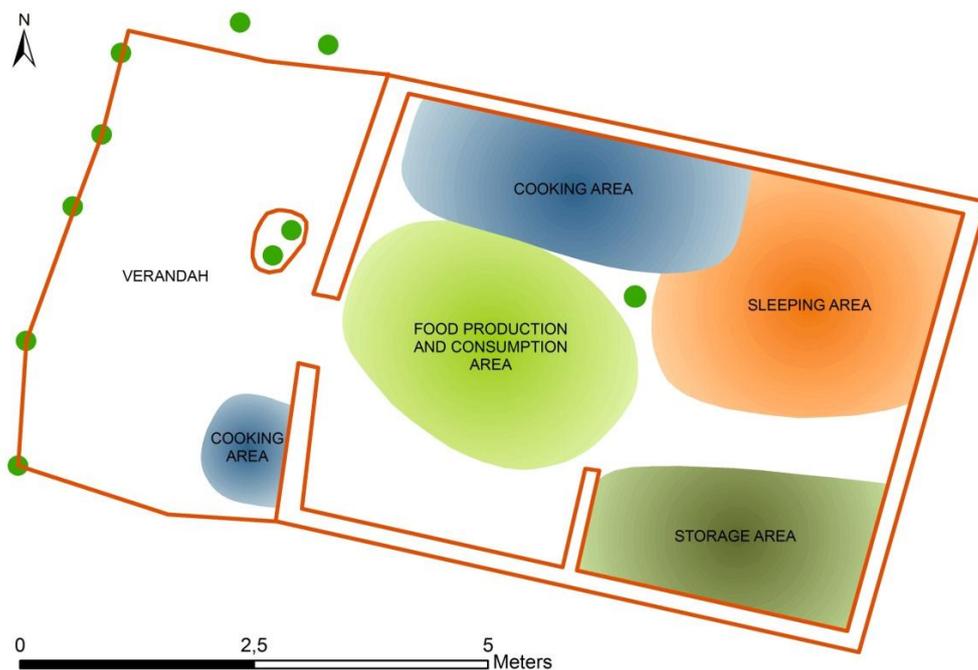


Fig. 5b. Distribución de ácidos grasos analizados químicamente mediante *spot tests* y espacialmente mediante *regression kriging* (en orden decreciente, el color rojo representa una mayor concentración, el color verde una presencia media, y el color azul una mínima o nula presencia). La mayor concentración de ácidos grasos corresponde con el área de producción y consumo de alimentos [Rondelli *et al.*, en prensa]

Las técnicas actuales de análisis de residuos químicos se caracterizan por ser herramientas de gran potencialidad y, como demuestran estudios como los de Middleton *et al.* (2010) o Rondelli *et al.* (en prensa), la combinación de diferentes técnicas para el análisis de residuos químicos amplía el espectro de posibilidades en la detección de áreas de actividad antrópica (tabla 4). Por ejemplo, pueden combinarse *spot tests* (proporcionan datos semi-cuantitativos útiles para una primera prospección del área muestreada y su uso es fácil, rápido y barato) con ICP-AES (aunque su coste es más elevado, permite un rápido análisis cuantitativo de una amplia variedad de elementos en un gran número de muestras). Aun así, todavía es necesario desarrollar más investigaciones centrándose, por ejemplo, en la variedad de las propiedades de diferentes suelos, en ajustar la metodología analítica de acuerdo a diferentes condiciones (la disponibilidad de residuos, el objetivo del proyecto, la escala de muestreo, etc.) o en resolver problemáticas como la equifinalidad (Fernández *et al.* 2002: 488, 515; Wilson *et al.* 2009: 2333).

	Spot tests	Instrumental analysis
Organic	Fatty acids, proteins, carbohydrates Advantages: rapid, inexpensive, high volume, can be done on-site Disadvantages: single tests, semiquantitative	GC-MS Advantages: high precision, quantitative, detection of multiple compounds Disadvantages: low volume, high sample preparation time, moderate analytical time, moderately expensive, requires laboratory
Inorganic	Phosphates, carbonates, pH Advantages: rapid, inexpensive, high volume, can be done on-site Disadvantages: single tests, semiquantitative (except pH)	ICP-OES Advantages: high precision, rapid, detection of multiple elements, high volume Disadvantages: moderate sample preparation time, moderately expensive, requires laboratory

Tabla 4. Comparación esquemática de *spot tests* y técnicas analíticas instrumentales (GC-MS y ICP-OES) para el análisis de residuos químicos orgánicos e inorgánicos [Middleton *et al.* 2010: 191]

3. ANÁLISIS DE RESTOS BOTÁNICOS

3. 1. Análisis botánicos en arqueología

La arqueobotánica o paleoetnobotánica es el estudio de los restos vegetales hallados en contextos arqueológicos (Butzer 1982: 171; Renfrew & Bahn 2007: 246). Nació a mediados del siglo XIX y se ocupa del estudio del contexto ecológico (*environment*) de las sociedades pasadas y en cómo el entorno ecológico fue explotado y modificado por el humano. Actualmente, la investigación arqueobotánica se centra especialmente en la interrelación entre el humano y las plantas en ecosistemas sensibles a la influencia humana (Butzer 1982: 172, 190). En este sentido, destaca el estudio de la dieta y la obtención de alimentos de origen vegetal, ya sea a través de la recolección o del cultivo, y la transformación de la vegetación y del paisaje mediante la domesticación (Renfrew & Bhan 2007: 218). De hecho, hay que tener en cuenta que la economía y la subsistencia de las sociedades prehistóricas dependía en gran parte de los vegetales (servían, por ejemplo, como alimento, medicina, o madera para la construcción o la combustión) (Butzer 1982: 172). Además, a medida que los grupos humanos crecían en número y tamaño, se desarrollaron patrones de explotación -especialmente a partir de la aparición de la agricultura- con el potencial suficiente como para modificar el equilibrio ecológico de las comunidades botánicas. Por eso, autores como Butzer (1982: 172) defienden que la arqueobotánica debe centrarse especialmente en el rol que juega la vegetación en las comunidades humanas así como en el impacto que tiene el humano sobre la vegetación.

En las últimas décadas, el análisis de los restos vegetales ha empezado a cobrar importancia gracias al descubrimiento de que algunos de sus elementos constituyentes son mucho más resistentes a la descomposición que otras evidencias arqueológicas; además, aportan información muy útil sobre -por ejemplo- la dieta, los materiales de construcción, el tipo de combustible o el uso del espacio (tabla 5) (Renfrew & Bahn 2007: 218, 221). Los restos botánicos se dividen en dos grandes grupos en relación a su tamaño: macro-restos y micro-restos (para más información ver, por ejemplo, Buxó & Piqué 2008 o Renfrew & Bahn 2007). Los primeros son residuos como semillas, frutos, carbón o pedúnculos que pueden verse a simple vista. Los segundos, “invisibles” al ojo humano, incluyen los fitolitos, las diatomeas, los granos de polen o los almidones. El estudio arqueológico de estos restos botánicos requiere el desarrollo no sólo de estrategias de muestreo y técnicas de extracción y análisis sino que precisa de la creación de colecciones de referencia tanto de sitios arqueológicos como de comunidades botánicas modernas (Butzer 1982: 171-172; Lancelotti 2010: 52-56). En este sentido, la interpretación arqueobotánica depende, en parte, de la

observación etnoarqueológica de los grupos humanos que todavía realizan prácticas “tradicionales” en relación a los vegetales (Renfrew & Bahn 2007: 246).

Tipo de restos	Tipo de sedimento	Información que proporciona la investigación	Método de extracción y examen	Cantidad a recoger
Suelo	Todos	Descripción detallada de cómo se formó el depósito y bajo qué condiciones	(Preferible su examen <i>in situ</i> por especialistas medioambientales)	(Muestreo en columna)
Polen	Suelos enterrados, depósitos anegados	Vegetación, uso del suelo	Extracción en laboratorio y examen con microscopio de alta potencia (x400)	0,05 l o muestreo en columna
Fitolitos	Todos los sedimentos	Como el anterior	Como el anterior	Como el anterior
Diatomeas	Depósitos en la línea de flotación	Salinidad y nivel de polución del agua	Extracción en laboratorio y examen con microscopio de alta potencia (x400)	0,10 l
Restos vegetales no carbonizados (semillas, musgo, hojas)	De húmedos a anegados	Vegetación, dieta, materia vegetal utilizada en la construcción, tecnología y combustible	Criba de laboratorio de 300 micras	10-20 l
Restos vegetales carbonizados (grano, barcia, carbón vegetal)	Todos los sedimentos	Vegetación, dieta, materia vegetal utilizada en la construcción, tecnología, combustible, tratamiento del grano y comportamiento humano	Criba o flotación de 300 micras	75 l
Madera (Carbón vegetal)	De húmedo a anegado, carbonizado	Dendrocronología, clima, materiales de construcción y tecnología	Microscopio de baja potencia (x10)	Recogida a mano o en el laboratorio

Tabla 5. Tabla que incluye algunos tipos de restos botánicos y la información que proporciona cada uno [Renfrew & Bahn 2007: 221]

3. 2. Restos botánicos y uso del espacio

Los restos vegetales pueden aparecer, por ejemplo, en los coprolitos (heces fosilizadas), en dientes o utensilios, o en residuos dentro de recipientes (Renfrew & Bahn 2007: 221). Aun así, también aparecen distribuidos en el sedimento. En este sentido, los restos vegetales no sólo informan sobre aspectos como la dieta o los materiales de construcción de un yacimiento sino que también son muy útiles proporcionando información sobre actividades antrópicas y uso del espacio. Por ejemplo, la presencia de semillas y frutos se relaciona con áreas de producción y consumo de alimentos. Por tanto, el análisis botánico resulta muy útil para identificar áreas de actividad y entender la función de los diferentes espacios arqueológicos (Buxó & Piqué 2008: 13). Como demuestran investigadores tales como Tsartsidou *et al.* (2009) o Portillo *et al.* (2010), los fitolitos son especialmente útiles para la detección de áreas de actividad, pues se conservan bien en la mayor parte de sedimentos e informan sobre el uso del suelo (tabla 5). Esto se debe a que los fitolitos se producen en grandes cantidades, se conservan en buenas condiciones y, gracias a la variedad de su morfología dependiendo de la

planta a la cual pertenecen, aportan información muy diversa (Renfrew & Bahn 2007: 219). Aun así, también se utilizan otros restos como almidones para la detección de áreas de actividad (ver, por ejemplo, Balme & Beck 2002), aunque el estudio del almidón es más reciente (Piperno 2006: 1).

3. 3. Fitólitos como marcadores antrópicos

Los fitólitos son “...*biogenic silica particles that form in the cell lumen, in the intracellular parts between the cortex (the region proximal to the cell surface) and in the walls of plant cells*” (Lancelotti 2010: 52; para una información más detallada sobre fitólitos ver Piperno 2006). El sílice es uno de los minerales más abundantes de la corteza terrestre y las plantas lo absorben del suelo -a través de las raíces- en estado líquido junto al agua y los nutrientes (Lancelotti 2010: 52; Cabanes 2009: 38). Después de la muerte y la descomposición -o incineración- de una planta, las partículas de sílice absorbidas por la planta son liberadas y depositadas en el sedimento como partículas microscópicas (“invisibles” al ojo humano) que varían en forma y tamaño (Piperno 2006: 5). Los fitólitos son, por tanto, micro-restos físicos muy resistentes a la descomposición que sobreviven bien conservados en largos periodos de tiempo (de hecho, son los restos vegetales de plantas terrestres más duraderos conocidos) (Cabanes 2009: 39).

Al igual que el polen, los fitólitos son estudiados desde mediados del siglo XIX, aunque el análisis de fitólitos se ha utilizado principalmente para investigar aspectos económicos o sobre el entorno ecológico de sociedades prehistóricas (para información más detallada sobre la historia de la investigación de fitólitos ver Piperno 2006). No fue hasta finales de la década de 1970 y principios de la década de 1980 cuando la arqueobotánica empezó a utilizar los fitólitos como marcadores del uso de plantas y la domesticación (Piperno 2006: 1; para más información sobre el uso de fitólitos en arqueología ver, por ejemplo, Cabanes 2009: 40-43). Aun así, hasta entonces, la mayor parte de estudios sobre entornos ecológicos mediante fitólitos no eran más que representaciones generalizadas sobre la vegetación del pasado. A partir de la década de 1980, el análisis de fitólitos y su utilización en la investigación ha madurado, especialmente gracias a la colaboración multidisciplinaria entre arqueólogos, paleoecologistas, botánicos, genetistas, geólogos y biólogos moleculares (Piperno 2006: 1; Zurro 2010: 250). Una muestra de esta madurez es la alcanzada en 2005 cuando la comisión del *International Code for Phytolith Nomenclature* (ICPN) desarrolló un protocolo estándar y unificado para la identificación y descripción de fitólitos (Zurro 2010: 262-263).

Al igual que el análisis de residuos químicos, el análisis de fitolitos se basa en el principio de actualismo (utilizar conocimientos actuales para generar colecciones de referencia y establecer parámetros sobre los procesos de silicificación de las plantas que puedan utilizarse en estudios sobre el pasado) y en la validez del método (muestreo, extracción, conteo y determinación del material analizado) (Zurro 2010: 103). En este sentido, la arqueología experimental o la etnoarqueología son disciplinas muy valoradas para calibrar las estrategias de muestreo, procesado y conteo de los materiales así como para desarrollar protocolos de identificación de fitolitos (Cabanés 2009: 35). Desde un punto de vista arqueológico, esto último es importante para la reconstrucción de las relaciones entre humanos y sus entornos ecológicos. De hecho, algunos autores -como, por ejemplo, Lancelotti & Madella (2012)- han propuesto modelos para la identificación de actividades antrópicas mediante la utilización de fitolitos marcadores de actividad (Zurro 2010: 106).

En el marco del análisis de fitolitos, Zurro (2010: 107) define un marcador como “*aquella información objetiva que permite inequívocamente inferir un tipo de AF [asociación fitolitológica, es decir, la producción de fitolitos de una especie o agrupación vegetal] original*”. Por lo tanto, se pueden utilizar fitolitos como marcadores de actividades humanas y, teniendo en cuenta que la mayor parte de análisis de fitolitos se realizan en muestras de sedimentos, también pueden utilizarse para la detección de áreas de actividad antrópica. Sin embargo, la detección de las aportaciones antrópicas en el registro botánico presenta diversas problemáticas (Zurro 2010: 107-109): por ejemplo, la dificultad de distinguir aportaciones naturales de antrópicas, la mezcla de los restos botánicos debido a procesos de re-utilización de deshechos, o la dispersión de los restos debido a modificaciones del sedimento (como consecuencia, por ejemplo, de los efectos del pisoteo). Por eso, es importante que la arqueobotánica elabore patrones de referencia y protocolos de identificación de marcadores para superar el sesgo interpretativo mejorando las estrategias de muestreo, extracción y conteo o ampliando las colecciones de referencia (para más información sobre las diferentes estrategias en el análisis de fitolitos ver Piperno 2006 o Lancelotti 2010: 52-57). Para ello, no sólo cumple un papel destacado la etnoarqueología o la arqueología experimental sino que también es fundamental conocer los procesos de formación de los yacimientos o las modificaciones post-deposicionales de los fitolitos mediante estudios tafonómicos (Cabanés 2009: 35-36; Madella & Lancelotti 2012: 80, 82; Zurro 2010: 108-109). Además, el análisis de fitolitos puede proporcionar información muy útil para el estudio de las áreas de actividad antrópica especialmente si esta información se combina con la que proporcionan otras evidencias (por ejemplo, residuos químicos) (Middleton *et al.* 2010: 186).

El uso de fitolitos como marcadores de áreas de actividad es una herramienta de gran utilidad ya que, en general, todas las plantas pueden ser depositadoras de sílice y generar fitolitos (Lancelotti 2010: 52). Asimismo, aparte de que se conservan fácilmente, los fitolitos son muy variados y permiten distinguir tipos de plantas (por ejemplo, gramíneas, herbáceas o especies leñosas) o diferentes partes de una misma planta (por ejemplo, hoja, tallo o inflorescencia), lo cual es muy útil para, por ejemplo, diferenciar las etapas de una cosecha (fig. 2). Aun así, son pocos las investigaciones que aplican el análisis de fitolitos para el estudio de áreas de actividad y uso del espacio. Por ejemplo, Cabanes *et al.* (2012) han empleado análisis fitolitológicos para definir los límites de un yacimiento considerando los restos botánicos como indicadores de áreas de actividad. En una escala más pequeña, Portillo *et al.* (2010) han identificado actividades domésticas y su distribución espacial mediante el análisis de concentraciones de fitolitos y esferulitas en un tell de Siria. En una línea similar, Tsartsidou *et al.* (2009) han realizado análisis fitolitológicos en diferentes suelos de un asentamiento neolítico en Grecia para identificar áreas de actividad antrópica y detectar la naturaleza de las actividades identificadas (por ejemplo, si eran puntuales o continuas).

4. GEOESTADÍSTICA Y ANÁLISIS ESPACIAL DE MARCADORES ANTRÓPICOS

A partir de la Nueva Arqueología, establecida desde la década de 1960, la arqueología ha utilizado técnicas analíticas de la geografía y la estadística con la finalidad de examinar los patrones espaciales de las actividades humanas del pasado (Conolly & Lake 2009: 203; Maximiano 2012: 80; Butzer 1982: 212). Desde entonces, el análisis espacial se ha consolidado como una herramienta más de la arqueología. Aun así, actualmente, la arqueología está empezando a superar la tradicional aplicación del análisis espacial centrado únicamente en el reconocimiento de patrones de distribución de restos arqueológicos (Maximiano 2012: 80). Este avance va acompañado de una serie de innovaciones metodológicas y teóricas en el campo del análisis espacial ligadas, por ejemplo, a tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) o a la presencia de nuevas series de datos en el registro arqueológico que antes no eran estudiadas (por ejemplo, residuos químicos orgánicos e inorgánicos, o fitolitos) (Maximiano 2012: 80). En consecuencia, numerosos arqueólogos se han interesado en otras opciones que ofrece el análisis espacial tales como el control de la incertidumbre en el análisis de residuos o el cálculo de patrones de distribución. Ante este nuevo interés, la geoestadística se ha manifestado como una herramienta de gran potencial para el análisis de la distribución espacial de residuos derivados de actividades antrópicas con la finalidad de interpretar el uso del espacio de las sociedades prehistóricas (ver, por ejemplo, el trabajo de Salisbury 2013).

La geoestadística es una rama de la estadística centrada en el análisis espacio-temporal de fenómenos concretos (para una información detallada sobre geoestadística y métodos estadísticos aplicados al análisis espacial ver Conolly & Lake 2009; Bivand, Pebesma & Gómez-Rubio 2008 o Lloyd 2011). Se basa en la cuantificación y el modelaje de fenómenos espaciales y describe la variabilidad de un fenómeno -tanto en el tiempo como en el espacio- analizando su continuidad espacial (Maximiano 2012: 80; Lloyd 2011: 191). La geoestadística se fundamenta en el principio de que en las ciencias de la Tierra normalmente hay vacíos de información en relación a cómo varían las propiedades de un fenómeno en el espacio (Lloyd 2011: 191). En este sentido, el principal objetivo de la geoestadística es la estimación de cómo varían estas propiedades en el espacio, especialmente cuando no hay información continua sobre un fenómeno. Por ejemplo, el muestreo de suelos arqueológicos para el análisis de los residuos que contiene no se puede extender sobre la totalidad de un contexto arqueológico sino que se toman muestras puntuales -ya sea de forma aleatoria o sistemática- que representan parcialmente el conjunto muestreado. Inevitablemente, esta metodología genera incertidumbre, por lo que la aplicación de métodos estadísticos como la

geoestadística es mucho más ventajosa que la aplicación de métodos estadísticos determinísticos (Lloyd 2011: 191; Rondelli *et al.*, en prensa). En este sentido, la geoestadística está muy relacionada con la interpolación, “una técnica matemática para *“llenar los lapsos” entre observaciones*” (Conolly & Lake 2009: 131). La interpolación sólo puede aplicarse a aquellos fenómenos espaciales que presentan una autocorrelación positiva entre sus valores (cuanto más próximas están dos observaciones, más similares son sus valores). La correlación positiva es importante para poder realizar interpolaciones, ya que de ello depende la correcta predicción de aquellos valores no observados. En cambio, la geoestadística resulta de mayor utilidad porque permite calcular correlaciones entre aquellos lapsos derivados de una autocorrelación positiva débil, lo que es una constante en arqueología (Conolly & Lake 2009: 132).

En arqueología, la interpolación espacial de residuos químicos o micro-restos físicos se ha centrado principalmente en dos funciones (Rondelli *et al.*, en prensa): la detección de patrones (*patterns*) y el modelaje de tendencias (*trends*). Según Rondelli *et al.* (en prensa), la detección de patrones se centra en la identificación de valores discretos (no en medias), mientras que el modelaje de tendencias se basa en la estimación de tendencias generales sobre un conjunto de valores (normalmente medias). A diferencia de otras disciplinas como la geoquímica, la aplicación de métodos geoestadísticos en arqueología para el modelaje de tendencias en distribuciones espaciales de residuos arqueológicos es muy limitada (destaca, por ejemplo, Fernández *et al.* 2002, Middleton *et al.* 2010 o Wells 2010). Sin embargo, teniendo en cuenta que la geoestadística tiene la ventaja de calcular correlaciones espaciales entre valores en lugar de predecir valores en aquellos lugares que faltan, su potencialidad es evidente (Rondelli *et al.*, en prensa).

El tipo de variabilidad espacial que se analiza en arqueología es el resultado de diferentes procesos naturales y procesos antrópicos. Para estudiar la distribución de los residuos que generan estos procesos es necesario considerar el lugar donde -con mayor probabilidad- un evento (natural o antrópico) pudo ser realizado (Maximiano 2012: 81). Así, pueden detectarse diferentes áreas de actividad mediante la recuperación de evidencias materiales (por ejemplo, residuos químicos o micro-restos físicos como fitolitos o almidones) y la aplicación de técnicas de análisis espacial. No obstante, asociar directamente las representaciones espaciales observadas -la distribución de residuos- con interpretaciones de actividades antrópicas puede inducir al error ya que hay fenómenos (por ejemplo, acciones post-deposicionales) que alteran lo observado (Rondelli *et al.*, en prensa). En este sentido, la geoestadística permite considerar

tanto la acción que genera residuos como otros posibles procesos que influyen o distorsionan los valores originales (Maximiano 2012: 81). Además, los análisis geoestadísticos pueden representarse mediante herramientas que permiten generar superficies de interpolación en forma de mapas (fig. 5b). Así, pueden modelarse aquellas tendencias estadísticamente significativas de las distribuciones observadas entendiendo la variabilidad espacial como un continuo y no como un conjunto de valores discretos (Maximiano 2012: 81).

Para la arqueología, el uso de métodos de interpolación geoestadística permite superar la perspectiva tradicional, según la cual se asocia directamente un residuo con una acción, sustituyéndola por una interpretación espacio-temporal donde el registro arqueológico de las acciones antrópicas no permanece sin cambios en el tiempo y el espacio (Rondelli *et al.*, en prensa; Maximiano 2012: 88). De esta manera, el estudio de la variabilidad espacial podría centrarse en la detección de actividades y no en base a la ubicación de determinados restos materiales. Esto permitiría considerar todas las características que influyen en el proceso por el cual una acción genera residuos materiales. En este sentido, es interesante el estudio de Rondelli *et al.* (en prensa) porque, mediante la aplicación de técnicas geoestadísticas como *regression kriging*, han podido evaluar la representatividad del tiempo en el análisis de áreas de actividad mediante residuos químicos y han demostrando que *regression kriging* es muy eficaz para representar tendencias temporales (para más información sobre el modelaje de la incertidumbre temporal en arqueología ver Crema 2012). Esto demuestra, además, que dependiendo de la técnica estadística aplicada en el análisis de áreas de actividad determina la interpretación de los datos (Rondelli *et al.*, en prensa; Towner & Luttbeg 2007; Wells 2010; Middleton *et al.* 2010). Por eso, para reducir la incertidumbre en la interpretación arqueológica del uso del espacio es necesario calibrar las estrategias de muestreo o de análisis de residuos pero también explorar el potencial de diferentes métodos estadísticos para el análisis de los datos. Esto es importante porque, teniendo en cuenta que las actividades antrópicas tienden a repetirse en áreas específicas generando acumulaciones de residuos a lo largo del tiempo, la aplicación de métodos estadísticos en la detección de marcadores antrópicos es imprescindible para la identificación de tendencias espacio-temporales que representan de manera fiable las actividades llevadas a cabo en un sitio arqueológico (Rondelli *et al.*, en prensa; Towner & Luttbeg 2007: 108).

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Aunque el concepto de marcador se ha utilizado poco en arqueología, numerosos investigadores han demostrado que el uso de residuos como *proxies* es una herramienta de gran utilidad para la inferencia espacio-temporal de actividades antrópicas y el estudio del uso del espacio. En este sentido, la aplicación de marcadores demuestra que es importante desarrollar nuevas estrategias y metodologías con el objetivo de aumentar la capacidad interpretativa de la arqueología. Para ello, es necesario que el empleo de marcadores de áreas de actividad antrópica vaya acompañado de una reflexión teórica que se adapte a las diferentes exigencias que supone su aplicación (por ejemplo, el uso de métodos estadísticos, análisis químicos o estudios etnoarqueológicos). Además, con el objetivo de mejorar el estudio del uso del espacio así como de reducir el sesgo en las interpretaciones es importante definir y calibrar diferentes modelos de marcadores que se adapten a la realidad de cada contexto arqueológico. En este sentido, es imprescindible la formación de proyectos multidisciplinarios, la combinación de técnicas y análisis de residuos diferentes, y el empleo de marcadores en distintos contextos. De esta manera, la colaboración entre diferentes disciplinas, la aplicación de nuevas técnicas de análisis y el desarrollo de nuevos marcos metodológicos son importantes para la configuración de marcadores de gran potencialidad para el estudio del uso del espacio.

BIBLIOGRAFÍA

Balme, J. & Beck, W. E. 2002. Starch and Charcoal: Useful Measures of Activity Areas in Archaeological Rockshelters. *Journal of Archaeological Science* 29, 157-166.

Barba, L. 2007. Chemical Residues in Lime-Plastered Archaeological Floors. *Geoarchaeology: An International Journey* 22 (4), 439-452.

Bivand, R. S., Pebesma, E. J. & Gómez-Rubio, V. 2008. *Applied Spatial Data Analysis with R*. Austria: Springer.

Butzer, K. W. 1982. *Archaeology as human ecology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Buxó, R. & Piqué, R. 2008. *Arqueobotánica: los usos de las plantas en la península Ibérica*. Barcelona: Ariel.

Cabanes, D. 2009. *L'estudi dels processos de formació dels sediments arqueològics i dels paleosòls a partir de l'anàlisi de fitòlits, els minerals i altres microrestes. Els casos de la Gorja d'Olduvai, l'Abric Romaní, El Mirador i Tel Dor*. Tesis doctoral publicada en línea. Barcelona: Universitat Rovira i Virgili.

Cabanes, D. *et al.* 2012. Human impact around settlement sites: a phytolith and mineralogical study for assessing site boundaries, phytolith preservation, and implications for spatial reconstructions using plant remains. *Journal of Archaeological Science* 39, 2697-2705.

Conolly, J. & Lake, M. 2009. *Sistemas de información geográfica aplicados a la arqueología*. Barcelona: Ediciones Bellaterra.

Crema, E. R. 2012. Modelling Temporal Uncertainty in Archaeological Analysis. *Journal of Archaeological Method and Theory* 19, 440-461.

David, N. & Kramer, C. 2001. *Ethnoarchaeology in action*. Cambridge: Cambridge University Press.

Evershed, R. P. 1993. Biomolecular archaeology and lipids. *World Archaeology* 25 (1), 74-93.

Evershed, R. P. 2008. Organic residue analysis in archaeology: the archaeological biomarker concept. *Archaeometry* 50 (6), 895-924.

Fernández, F. G. *et al.* 2002. An Ethnoarchaeological Study of Chemical Residues in the Floors and Soils of Q'eqchi' Maya Houses at Las Pozas, Guatemala. *Geoarchaeology: An International Journal* 17 (6), 487-519.

Goldberg, P. & Macphail, R. I. 2006. *Practical and Theoretical Geoarchaeology*. Oxford: Blackwell Publishing.

- Holliday, V. T. 2004. *Soils in archaeological research*. New York: Oxford University Press.
- Jones, R. 2012. *Manure Matters. Historical, Archaeological and Ethnographic Perspectives*. Farnham: Ashgate.
- LaMotta, V. M. & Schiffer, M. B. 2009. Behavioral Archaeology: Toward a New Synthesis. En I. Hodder (ed.): *Archaeological Theory Today*. Cambridge: Polity Press, 14-64.
- Lancelotti, C. 2010. *Fueling Harappan Hearths: Human-Environment Relations as Revealed by Fuel Exploitation and Use*. Tesis doctoral inédita facilitada por el autor. Cambridge: University of Cambridge.
- Lancelotti, C. & Madella, M. 2012. The “invisible” product: developing markers for identifying dung in archaeological contexts. *Journal of Archaeological Science* 39, 953-963.
- Lloyd, C. D. 2011. *Local models for spatial analysis*. Boca Raton: CRC Press.
- Madella, M. & Lancelotti, C. 2012. Taphonomy and phytoliths: A user manual. *Quaternary International* 275, 76-83.
- Malainey, M. E. 2011. *A Costumer's Guide to Archaeological Science: Analytical Techniques*. London: Springer.
- Maximiano, A. 2012. Geoestadística y arqueología: una nueva perspectiva analítico-interpretativa en el análisis espacial intra-site. *AnalítiKa, Revista de análisis estadístico* 4, 79-91.
- Middleton, W. D. & Price, T. D. 1996. Identification of Activity Areas by Multi-element Characterization of Sediments from Modern and Archaeological House Floors Using Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy. *Journal of Archaeological Science* 23, 673-687.
- Middleton, W. D. *et al.* 2010. The Study of Archaeological Floors: Methodological Proposal for the Analysis of Anthropogenic Residues by Spot Tests, ICP-OES, and GC-MS. *Journal of Archaeological Method and Theory* 17, 183-208.
- Milek, K. B. 2007. *Houses and households in early Icelandic society: geoarchaeology and the interpretation of social space*. Tesis doctoral inédita facilitada por el autor. Cambridge: University of Cambridge.
- Milek, K. B. & Roberts, H. M. 2013. Integrated geoarchaeological methods for the determination of site activity areas: a study of a Viking Age house in Reykjavik, Iceland. *Journal of Archaeological Science* 40, 1845-1865.

Parnell, J. J., Terry, R. E. & Nelson, Z. 2002. Soil Chemical Analysis Applied as an Interpretative Tool for Ancient Human Activities in Piedras Negras, Guatemala. *Journal of Archaeological Science* 29, 379-404.

Pecci, A. *et al.* 2010. Distribución espacial de las actividades humanas con base en el análisis químico de los pisos de Teopancazco, Teotihuacan. En E. Ortiz (ed.): *VI Coloquio Bosch Gimpera. Lugar, Espacio y Paisaje en Arqueología: Mesoamérica y otras áreas culturales*. México: Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.

Pecci, A. *et al.* 2013. Identifying wine markers in ceramic and plasters using gas chromatography-mass spectrometry. Experimental and archaeological materials. *Journal of Archaeological Science* 40, 109-115.

Peters, K. E. *et al.* (eds.) 2005. *The Biomarker Guide. Volume 1: Biomarkers and Isotopes in the Environment and Human History*. Cambridge: Cambridge University Press.

Piperno, D. R. 2006. *Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists*. Oxford: AltaMira Press.

Pollard, M. *et al.* 2007. *Analytical Chemistry in Archaeology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Portillo, M. *et al.* 2010. Domestic activities at Early Neolithic Tell Seker al-Aheimar (Upper Khabur, Northeastern Syria) through phytoliths and spherulites studies. En C. Delhon, I. Théry-Parisot & S. Thiébaud (dirs.): *Des hommes et des plantes. Exploitation du milieu et gestion des ressources végétales de la Préhistoire à nos jours. Antibes, 22-24 octobre, 2009*. XXXe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes. Antibes: Éditions APDCA, 19-30.

Renfrew, C. & Bahn, P. 2007. *Arqueología. Teorías, Métodos y Práctica*. Madrid: Ediciones Akal.

Rondelli, B. *et al.* 2012. Spatial uncertainty in archaeological interpretation: an ethnoarchaeological experiment. En: *Debating spatial archaeology. International Workshop on Landscape and Spatial Analysis in Archaeology. Santander, June 8th – 9th, 2012*, 24.

Rondelli, B. *et al.* (en prensa). Anthropoc activity markers and spatial variability: an ethnoarchaeological experiment in a domestic unit of Northern Gujarat (India). *Journal of Archaeological Science*.

Salisbury, R. B. 2013. Interpolating geochemical patterning of activity zones at Late Neolithic and Early Copper Age settlements in eastern Hungary. *Journal of Archaeological Science* 40, 926-934.

- Simoneit, B. R. T. 2002. Molecular Indicators (Biomarkers) of Past Life. *The Anatomical Record*, 268, 186-195.
- Terry, R. E. *et al.* 2004. The story in the floors: chemical signatures of ancient and modern Maya activities in Aguateca, Guatemala. *Journal of Archaeological Science* 31, 1237-1250.
- Towner, M. C. & Luttbeg, B. 2007. Alternative Statistical Approaches to the Use of Data as Evidence for Hypothesis in Human Behaviour Ecology. *Evolutionary Anthropology* 16, 107-118.
- Tsartsidou, G. *et al.* 2009. Use of space in a Neolithic village in Greece (Makri): phytolith analysis and comparison of phytolith assemblages from an ethnographic setting in the same area. *Journal of Archaeological Science* 36, 2342-2352.
- Wells, E. C. 2004. A Brief History of Archaeological Soil Chemistry. *Newsletter of the Commission on the History, Philosophy, and Sociology of Soil Science of the International Union of Soil Sciences, Soil Science Society of America* 11, 2-4.
- Wells, E. C. 2010. Sampling Design and Inferential Bias in Archaeological Soil Chemistry. *Journal of Archaeological Method and Theory* 17, 209-230.
- Wells, E. C. & Terry, R. E. 2007. Introduction to the special issue. Advances in geoarchaeological approaches to anthrosol chemistry. *Geoarchaeology: An International Journal* 22 (4), 387-390.
- Wilson, C. A. *et al.* 2008. Multi-element soil analysis: an assessment of its potential as an aid to archaeological interpretation. *Journal of Archaeological Science* 35, 412-424.
- Wilson, C. A. *et al.* 2009. An evaluation of the site specificity of soil elemental signatures for identifying and interpreting former functional areas. *Journal of Archaeological Science* 36, 2327-2334.
- Xu, Y. 2010. *Molecular Plant Breeding*. Wallingford: CABI Publishing.
- Zurro, D. 2010. *Ni carne ni pescado (consumo de recursos vegetales en la Prehistoria). Análisis de la variabilidad de los conjuntos fitolitológicos en contextos cazadores-recolectores*. Tesis doctoral publicada y facilitada por el autor. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.