

CUANTIFICACIÓN DE LA ALTERACIÓN DE USO SOBRE LA SUPERFICIE DE LOS INSTRUMENTOS LÍTICOS: UNA NUEVA PERSPECTIVA DESDE LA EXPERIMENTACIÓN CON REDES NEURONALES¹ (*)

QUANTIFICATION FOR ALTERATION BY USE OVER THE LITHIC TOOL SURFACE: A NEW PERSPECTIVE FROM NEURAL NETWORKS EXPERIMENTATION

Jordi PIJOAN LÓPEZ ()**

() Doctor en Arqueología Prehistórica por la Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Prehistòria. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193. Bellaterra. Correo electrónico: jordipl31770@yahoo.es**

BIBLID [1138-9435 (2007) 9, 1-312]

Resumen.

El trabajo, como acción física que es, modifica la materia. Éste es el principio que permite la existencia de los análisis de trazas de uso sobre instrumentos líticos. A su vez, la identificación de la categoría “instrumento de trabajo” siempre pasa necesariamente por la identificación, sobre su superficie, de alteraciones atribuibles a procesos de trabajo.

Así pues, desde la perspectiva del analista de uso, debemos enfocar este proceso dinámico como cambios en el estado de la materia. A partir de la captación de las alteraciones en nuestro cerebro, transformadas en imágenes cerebrales, solventamos el problema de la identificación. Aceptamos la imagen como una representación emergente de la Realidad, sin apenas hacernos cuestionamientos epistemológicos. En este sentido, asumimos la imagen como un modelo de la Realidad.

Se pueden reconocer objetos mediante imágenes y, en este proceso, definir aquellos aspectos de los objetos que consideremos relevantes. Éste es el mecanismo básico del trabajo que los traceólogos realizamos. Y obviamos incidir en la existencia de diversos problemas epistémicos que surgen de la inherente subjetividad del proceso de observación.

En este trabajo, propongo que la superación de la subjetividad pasa por el uso de imágenes digitalizadas, objetivables desde su base de objeto cuantificable. Y apoyo mi rotunda afirmación con resultados fehacientes, los cuales presento en este artículo.

Palabras clave: Análisis de trazas de uso, cuantificación, imagen digital, Red Neuronal.

(*) Fecha de recepción del artículo: 21-XII-2007. Fecha de aceptación: 25-II-2008.

Abstract.

Work, as physical action, modifies matter. This is the basic principle that allow us to do use-wear analysis on lithic tools. Likewise, the adscription under the “work tool” category is only possible by identifying alterations over the surface tool, which link the tool with concrete work processes.

Then, from the use-wear analyst perspective, we must focus this dynamic process as changes over the matter state. Through the perception by our brain of alterations by use, we obtain cerebral images and we solve the identification problem linked with the phenomenon. We accept image like a raising representation from Reality, without contrast epistemological criterion. In this sense, we assume image like a reality model.

We can recognize objects by images and, in this process, we define the significant characteristics of the objects, from our criteria. This is the basic mechanism of our analytical work, and most of analysts avoid to face several epistemological problems that arise from the inherent subjectivity of the observation process.

My purpose in this paper is the overcoming to subjectivity through the digital images, which are quantifiable objects from their numerical compression. I present the results that I obtained for supporting my categorical affirmation.

Keywords: Use-wear Analysis, quantification, digital image, Neural Network.

Sumario:

1. Cuantificación y trazas de uso: las razones del eterno desencuentro. 2. Imágenes digitales, Estadística y Redes Neuronales: una manera diferente, y sin embargo idéntica, de ver las cosas. 3. El procesamiento de los datos: resultados estadísticos y de las Redes Neuronales. 4. Conclusiones: intentando evacuar el camarote de los Hermanos Marx. 5. Un órdago para los más valientes. 6. Notas. 7. Bibliografía.

1. Cuantificación y trazas de uso: las razones del eterno desencuentro.

En la historiografía de nuestra disciplina arqueológica el análisis de trazas de uso pasa por ser el único sistema con el cual afrontar el estudio de la industria lítica desde la perspectiva de los procesos de producción en que estuvo involucrada, la industria lítica se entiende. O al menos esta medalla nos hemos impuesto los traceólogos.

Contra la perspectiva tipológica, apriorística a la hora de adjudicar un uso a los ítems líticos arqueológicos en función de la forma que presenten, el análisis de trazas de uso aboga por una perspectiva analítica (valga la redundancia) en la cual la adjudicación del uso será el fruto *a posteriori* de la constatación de las alteraciones físicas producidas sobre la superficie del ítem lítico, producidas por el propio proceso dinámico que implica el trabajo.

Los protocolos de trabajos en análisis de trazas de uso han obligado al uso de un método de inspiración científica, en el cual la experimentación ha tomado un gran peso como sistema para crear modelos de referencia. Muy posiblemente el uso de la experimentación de forma pionera en la Arqueología es el elemento –o uno de los principales– que nos ha otorgado la categoría de científicos a las personas que nos dedicamos a los análisis de trazas de uso².

A pesar de todo –y del espectacular avance que suponen los análisis de trazas de uso en el estudio de la lítica y de los procesos de producción–, pongo en duda rotundamente que la aplicación científica que se ha llevado a cabo sea la óptima. El mecanismo de inferencia que se utiliza pasa por ser analítico, cuando en última instancia es fruto del reconocimiento visual experto, el cual –como “experto” que es– resulta óptimo a base de horas de observación acumuladas por el observador. Es decir, se trata de un mecanismo de memoria asociativa –no necesariamente consciente– y no de un mecanismo de análisis científico, con la evaluación bien establecida de características sobre la realidad observada. Con todo –y como certifican multitud de trabajos de analistas de uso– el mecanismo es efectivo, pero dista de estar bien establecido metodológicamente.

Los problemas que de esto se derivan se podrían resumir en:

- No conocemos cuales son los valores discriminantes de cada una de las variables analíticas (atributos de la alteración de uso) respecto al fenómeno y al momento de llevar a cabo el análisis. Esto es debido al propio proceder intuitivo y cualitativo de la técnica que ya he descrito. A lo sumo podemos optar por autores que nos ofrecen una jerarquía relativa de características en las cuales nos debemos fijar, pero nunca de forma cuantitativa. El problema subsiguiente que conlleva este proceder es que...
- ...no sabemos de que manera específica llegamos a la conclusión de que un determinado instrumento ha tenido el uso que le adjudicamos. Que mayormente haya acuerdo –en una segunda instancia– entre diversos analistas no ha de llevarnos a equívoco, pues si preguntáramos las razones que a cada uno de ellos les ha llevado a la conclusión nos hablarían bajo conceptos diferentes, por no hablar de la lógica seguida. Esta evaluación precaria provoca...
- ...problemas de fiabilidad al salir de casos arquetípicos en los cuales hay acuerdo unánime. Con alteraciones de la superficie lítica de adscripción dudosa los debates que se han llegado a montar han sido bizantinos³, normalmente cayendo siempre en callejones sin salida, en gran medida a causa del proceder cualitativo divergente, tan divergente como analistas haya, pues el proceso de aprendizaje es una experiencia de tipo muy personal e intransferible.
- En consecuencia, el proceso de aprendizaje de la técnica es muy lento y a título individual se han de volver a descubrir las sopas de ajo... una generación tras otra...

La reflexión que acabo de hacer se ha planteado en la disciplina traceológica en harto ocasiones, quizás no en los mismos términos, pero sí sobre la misma base. La solución que mayormente se ha planteado es el desarrollo de métodos cuantitativos para caracterizar la fenomenología de las alteraciones de uso, superando así el proceder cualitativo de base intuitiva. Esto permitiría alcanzar uno de los requisitos del conocimiento científico: que sea transmisible y objetivable.

Muchos son los intentos en esta línea que se llevaron a cabo, aunque a decir verdad representan un número mínimo dentro del total de trabajos dedicados a la traceología. No quiero entrar ahora en un repaso exhaustivo de todos ellos, pues no es la intención del presente artículo⁴, pero a grandes rasgos los errores –harto reiterativos– en que se incurre son:

- Prevalece el esnobismo cuantificador por encima de la problemática real de las trazas de uso. No hay reflexión de base a partir de nuestra disciplina y por el contrario hay un ansia de probar o testar aplicaciones informáticas o cuantitativas de forma puntual y asistemática. Si en algunos momentos se obtienen buenos resultados que deberían llevar a la continuidad en la misma línea, esto no se hace y se opta por desarrollar nuevas aplicaciones, a menudo, casi siempre, menos afortunadas.
- No se comprende el concepto cuantificación en su totalidad. Esto lleva a que a menudo nos encontremos con falsas cuantificaciones, las cuales con suerte son cuali-cuantificaciones.
- Se parte de bases de datos cualitativas –o cuali-cuantitativas– elaboradas con valores introducidos a partir de observaciones directas del traceólogo. Entonces, por extensión, no se supera la distorsión cualitativa e intuitiva que inserta el traceólogo en la observación del fenómeno. Simplemente, el computador procesará el razonamiento previo del traceólogo y el resultado final será una extensión del mismo, eso sí, presentado de una forma más elegante.
- Se matan moscas a cañonazos. Hay cuantificaciones a partir del uso de máquinas complicadas, caras, complejas, de difícil acceso y –en extensión– de difícil aplicación sistemática. Los procedimientos que implican adolecen de los mismos males. Con esto, no se asalta el problema de base de la fenomenología de las trazas de uso, de carácter básicamente epistemológico y que más que máquinas potentes necesita planteamientos preclaros⁵.
- Se insiste poco en la idoneidad de la fuente de datos primaria. Esto es fruto de la falta de reflexión epistemológica y de hecho ha justificado y dado forma a este trabajo en gran medida. La reflexión sobre la problemática de los datos empleados para el procesamiento subsiguiente me llevó a la conclusión que la solución pasaba por el uso de imágenes digitalizadas. En cuantificación en trazas de uso hay pocos trabajos a partir del uso de imágenes digitales –o en su defecto de la información lumínica, vía

histogramas por ejemplo—Han sido pocos trabajos y sin continuidad, cuando a menudo los resultados que aportaban eran esperanzadores. Tales son los propios trabajos de R. Grace —de los cuales posteriormente renegó— (Grace, 1989), o el de L.H. Keeley (Keeley, 1980) y el de K. Knutsson en los 80 (Knutsson 1988; Knutsson et al., 1988), los de S. Yamada (por una parte) en los ‘90 (Yamada y Sawada 1993) y en la península, A. Vila y F. Gallart (Vila y Gallart, 1991) y J.J. Ibáñez y J.E. González en el cambio de siglo (Ibáñez y González, 2003). Son trabajos que han pasado relativamente desapercibidos, a pesar de mostrar evidentes signos de éxito, éxito el cual adjudico a la base de datos utilizada.

De mi última alegación crítica a los trabajos que me precedieron, se puede inferir que el uso de imágenes digitalizadas es uno de los pilares —el más ancho y robusto— que define mi trabajo.

2. Imágenes digitales, Estadística y Redes Neuronales: una manera diferente y, sin embargo, idéntica de ver las cosas.

Seré más concreto: uno de los problemas mayores en el enfoque de la cuantificación para los análisis de trazas de uso es no haber dispuesto —en la mayoría de los casos— de una fuente de datos fiable y objetiva. Lo curioso es que esa fuente de datos la hemos tenido delante de las narices, o más concretamente debajo de las lentes del microscopio, día a día mientras llevábamos a cabo nuestros análisis. Esos datos son las propias imágenes que observamos; eso sí, necesitamos transformarlas a otro lenguaje, concretamente el digital y computerizado.

Otro de los mayores errores del enfoque de la cuantificación ha sido la concepción de las trazas de uso. Se las ha tenido siempre como hechos esenciales, fenómenos estancos definidos en su pureza. Todos aquellos elementos que se solaparan encima de ellas y que dificultaran su determinación eran desviaciones o distorsiones accidentales, a menudo denominadas alteraciones, cuando la propia traza de uso en sí (ya es) una alteración de un estado original.

Contra esta perspectiva esencialista —pseudometafísica—, enfocar las trazas de uso como resultado de un proceso de interacción cruzada de fuerzas físicas nos hubiera facilitado su comprensión. Así, por extensión, nos hubiera facilitado la interpretación del por qué a menudo las clasificaciones a las cuales podemos optar no son ni estancas, ni definidas categóricamente.

A partir de estos prolegómenos, definí mi objetivo en un proyecto de investigación concreto: la depuración de la metodología utilizada en los análisis de trazas de uso. Es decir, que —a partir de la cuantificación— mi preocupación sería aportar al proceder convencional y común —el intuitivo y experiencial que he criticado anteriormente— elementos para evaluar la pertinencia de las variables que se utilizan en las determinaciones de uso que los analistas

llevamos a cabo.

El mecanismo de resolución debía pasar necesariamente por el diseño de un sistema con el cual fuera posible llevar a cabo una clasificación cuantificada de los datos y a su vez equiparable al método de análisis convencional de las trazas de uso.

Los elementos de los cuales debería estar formado habrían de integrarse en una situación experimental. El control sobre el proceso de clasificación debe ser total para poder evaluar el éxito y fracaso de la propia clasificación y a qué atañe. Los elementos concretos: como base de datos primaria, ya lo he dicho, una colección de imágenes digitales y como sistema de clasificación Redes Neuronales y Estadística –ésta última como método de evaluación de los resultados ofrecidos por las Redes Neuronales.

Tanto la base de datos como el procedimiento elegidos están en coherencia con el objetivo expuesto. El clasificador expuesto debería funcionar como un humano virtual. Hago hincapié así en la elección de las imágenes digitales como base.

Las imágenes digitales permiten la codificación numérica de la realidad material que se circunscribe a la imagen. Una imagen digitalizada está formada por el agrupamiento de unidades mínimas llamadas píxeles –del inglés *picture element*–, cada una de las cuales tiene un valor de luminancia propio que lo define junto con su relación con los valores de los píxeles vecinos (Figura 1).

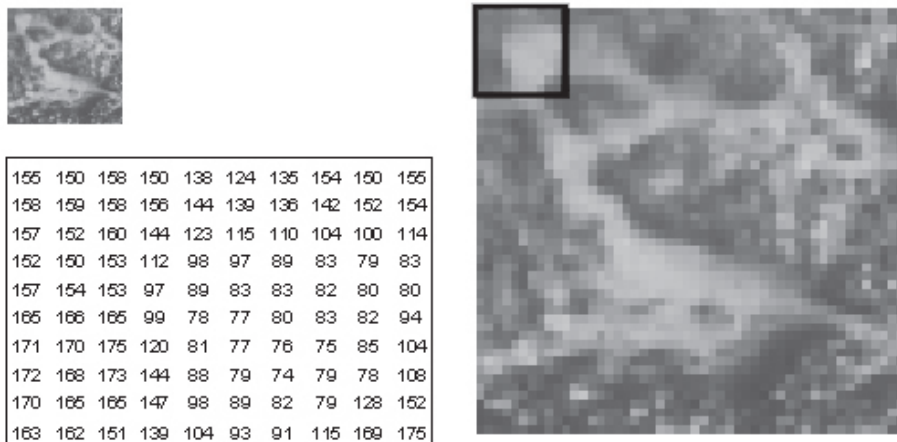


Figura 1. La imagen digital como objeto matemático. La imagen digital está formada por “píxeles”, que son puntos ortogonales con un valor de luminosidad y una localización concreta dentro de la cuadrícula que conforma la imagen expresable con coordenadas cartesianas. En la figura podemos observar como una pequeña área de imagen que se ve nítida a ojo desnudo (izquierda arriba) evidencia su formatización en píxeles cuando aumentando su tamaño la observamos al detalle (derecha). A la izquierda abajo vemos los valores numéricos que corresponden al área encuadrada en negrita de la imagen al detalle aumentada a la derecha.

En la Figura 1 podemos reconocer una imagen de microalteración sobre la superficie resultado del trabajo de corte-serrado de madera. Una porción al detalle de un sector de la imagen nos introduce en el nivel de visión donde los píxeles ya son identificables. Estas intensidades de luz, comprendidas en un intervalo de 256 grados en una escala de grises, son

perfectamente representables bajo la forma de un lenguaje numérico. A partir de estos valores, tomados interrelacionadamente con sus localizaciones espaciales, definimos el concepto de “textura”.

Existen más formatos posibles para una imagen digital. Hoy por hoy, quien más quien menos está familiarizado con el mundo de las imágenes digitales –vía su cámara digital de uso doméstico⁶– y se habrá percatado. Para no entrar en disquisiciones estériles, especifico que opté por el formato de escala de grises en 256 intensidades, pues era el que eliminaba más información redundante. Planteándolo desde lo descartado, formatos de imágenes en color hubieran añadido información no pertinente al reconocimiento de las imágenes bajo criterios de uso.

Podemos decir lo mismo sobre la resolución de las imágenes, determinada para todas y cada una de las imágenes en marcos de 320x240 píxeles. Estas imágenes se obtuvieron por captación de microalteraciones de uso en la superficie lítica –o “micropulido”– mediante microscopio y cámara digital adaptada. También todas las imágenes respondían a una magnificación idéntica, concretamente x200 aumentos, actuando así sobre el mismo marco dimensional de la realidad y prodigando así que la alteración de uso fuera comparable entre casos. La intensidad de luz incidente del microscopio se mantuvo estable e idéntica durante toda la toma de la colección de fotos⁷.

Otro factor que hubiera incidido en la formatización de las imágenes, y que se mantuvo estable de forma indirecta, fue el *background* de la imagen, que representaría las áreas dentro de la imagen que no están alteradas por el uso, pero que intervienen en la saturación lumínica de la imagen y así en los valores otorgados por el algoritmo de compresión en el momento de almacenaje posterior a la captación. El control lo realicé mediante el uso en todos los experimentos de instrumentos formatizados sobre la misma materia prima lítica, la cual por definición poseía un albedo idéntico –si se prefiere, “un color idéntico”⁸.

Mantener todos estos factores estables e idénticos para todas y cada una de las imágenes captadas era imperativo para poder hacer que las imágenes fueran contrastables entre sí.

En total, elaboré una base de datos de imágenes a partir de captaciones sobre cada uno de los instrumentos líticos –de 3 a 9 imágenes según fuera el caso– con los cuales había llevado a cabo experimentos a partir de los criterios de materia trabajada –7 categorías– y cinemática –3 categorías (Figura 2). En total quedó una base de imágenes formada por 708 casos.

La colección de imágenes constituye la información básica con la cual trabajé, aunque no fueron las imágenes como tales –como representaciones visuales de la realidad– lo que procesé directamente. Mediante *software* diverso para el procesamiento de imágenes digitales⁹, extraje la información que consideré pertinente de la colección de imágenes digitales. Más concretamente, la información que se extrae es la vinculada con la alteración de uso, discriminándola del entorno de superficie no alterada bajo el criterio que en el sílex la alteración

de uso es representada casi siempre, en este caso también, por una mayor reflectabilidad. Esta discriminación de las áreas que muestran microalteración de uso respecto a las que no, se lleva a cabo mediante una operación denominada *density slice*, similar a la más conocida por *thresholding* y que a partir de una binarización de los valores lumínicos a partir de un umbral, divide la imagen en células blancas y negras. Sin embargo, para mi caso consideré más apropiado el *density slice* que el *thresholding*, pues este último elimina la información sobre la variabilidad lumínica presente en el interior de cada una de las células discriminadas (Figura 3).

Materia Trabajada	Cinemática	Estado	Número de experimentos
Madera	Cortar	Fresca	16
	Raspar	“	17
	Cortar	Seca	17
	Raspar	“	17
Piel	Cortar	Fresca	4
	Raspar	“	6
	Cortar	Seca	17
	Raspar	“	17
Hueso	Cortar	(irrelevante)	33
	Raspar		33
Valva (Mineral)	Cortar	(irrelevante)	33
Descarne	Cortar (Raspar - Descarne)	(irrelevante)	14

Figura 2. Muestra experimental de la colección de referencia de donde se extrajeron las imágenes.

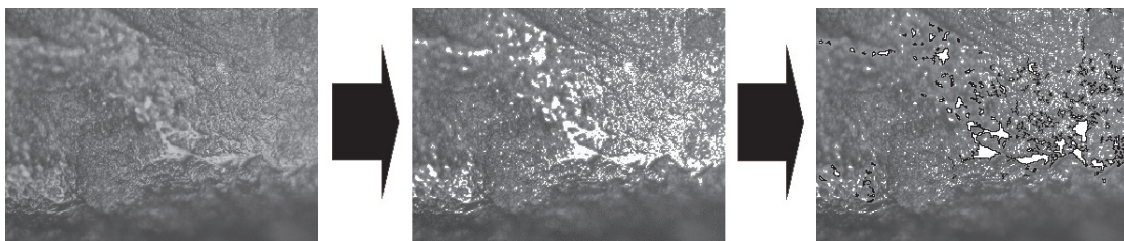


Figura 3. En la imagen izquierda observamos la imagen original, con las áreas que representan alteración de uso más brillantes en comparación a las no alteradas, que mantienen la reflectancia original, más oscura. La imagen central corresponde a la imagen con los píxeles que están dentro del intervalo entre 0 y 120 seleccionados y la imagen derecha corresponde a los elementos de textura discriminados a partir de los píxeles seleccionados en la segunda imagen.

Las áreas con alteración de uso –emergentes en cada una de las imágenes– son transformadas así en elementos independientes llamados téxeles (del inglés *texture elements*, elementos de textura) que se codifican a su vez bajo unos índices que definen sus características

de Magnitud, Composición, Localización y Forma. Estos índices los defino como atributos en cuanto son caracterizadores de los téxeles; concretamente son los del siguiente listado:

- Magnitud, referente a características de tamaño de los téxeles¹⁰:
 - “Área”, referente a la extensión del téxel.
 - “Perímetro”, referente a la longitud del contorno del téxel.
 - “Eje Mayor Absoluto”, referente al eje más largo del téxel¹¹.
 - “Eje Mayor Perpendicular al Absoluto”, referente al eje más largo perpendicular al anterior.
- Composición, referente a características de la luminosidad de los téxeles:
 - “Media de la luminosidad”, referente a la media de la luminosidad de los píxeles que componen el téxel.
 - “Desviación estándar de la luminosidad”, referente a la variabilidad respecto a la media de los píxeles que componen el téxel.
 - “Moda de la luminosidad”, referente al valor de luminosidad más usual entre todos los píxeles que componen el téxel.
 - “Luminosidad mínima”, referente a la luminosidad más cercana al blanco entre todos los valores de luminosidad integrados entre los píxeles que componen el téxel.
- Localización, referentes locacionales de los téxeles dentro del marco de la imagen en la cual se integran:
 - “X” e “Y”, coordenadas cartesianas del téxel dentro del marco de la imagen.
 - “Ángulo”, ángulo del eje mayor del téxel respecto al eje X del marco que conforma la imagen.
- Forma, suelen ser ecuaciones resultado con numerales que provienen de atributos de Magnitud:
 - “Elongación”, relación entre el “Eje Mayor Absoluto” y el “Eje Mayor Perpendicular al Absoluto”.
 - “Circularidad”, similaridad del téxel con la forma circular.
 - “Cuadratura”, inverso logarítmico de “Circularidad”.
 - “Ratio Circularidad/Estrechez”, expresa una relación –compleja– entre “Área” y “Perímetro” del téxel.
 - “Compacidad” A y B, expresa medidas de agregación de los píxeles bajo una forma más o menos compacta.
 - “Irregularidad”, relación entre el perímetro del téxel y el perímetro de los téxeles vecinos –dentro del marco de la imagen en que se circunscriben.
 - “Rectangularidad” A y B, tendencia del téxel a ser circunscrita bajo una forma rectangular.

- “Ratio Perímetro/Elongación”, nos aporta una relación de estrechez del téxel.
- “Diámetro Feret”, de larga tradición en el marco del procesamiento digital, refiere al diámetro que debería tener un círculo con la misma área que el téxel en cuestión.

Evidentemente, para permitir el experimento, cada téxel está identificado por dos criterios de uso: materia trabajada y cinemática. Hay siete materias trabajadas posibles (descarne, piel fresca, piel seca, madera fresca, madera seca, hueso y valva) y tres cinemáticas, reducibles a dos (longitudinal, que representaría acciones de corte y sierra, y transversal, de raspado y navaja entre otras¹²).

La estadística fue el primer paso del procesamiento de los datos por diversas causas. En primera instancia necesitaba un acercamiento a los datos, para comprobar con qué estaba tratando y, haciéndome al caso, idear un subsiguiente plan de acción. Debía cotejar la normalidad, o no, de los conjuntos de datos.

La otra causa de peso para anticipar la estadística al procesamiento con Redes Neuronales está justificada por la necesidad de disponer de unos resultados independientes a los de las Redes Neuronales. Estos resultados son los que en el momento de la interpretación de los resultados aportados por las Redes Neuronales, nos ayudaran a su interpretación. El objetivo sería evitar el efecto de “caja negra” que implica el funcionamiento de las Redes Neuronales¹³.

Los téxeles fueron analizados dentro de dos marcos:

1. En el del uso; como téxel correspondiente a una materia primera y una cinemática, con lo cual elaboramos una base de datos de todos los téxeles de todas las imágenes a procesar, siempre bajo los parámetros clasificatorios de estos dos aspectos del uso.
2. En el de la imagen; aplicando un procesamiento mínimo sobre los atributos de los téxeles enmarcados dentro de cada imagen para extraer de ellos la media –MN– y la desviación estándar –SD–. También en cada imagen considerábamos otras variables como “Número de Píxeles Seleccionados” y “Número de Téxeles Emergentes”.

3. El procesamiento de los datos: resultados estadísticos y de las Redes Neuronales.

A grandes rasgos, los resultados estadísticos de las pruebas paramétricas para el procesamiento de todos los téxeles indicaron que los conjuntos de datos para todos los atributos se definían por la anormalidad. Hay sin embargo matices en esta afirmación, destacando que los atributos de Composición, que hacen principalmente referencia a características de la composición lumínica de los téxeles, presentaban una evidente tendencia a la normalidad – aunque siempre dentro de la anormalidad general.

Para la base de datos de los téxeles enmarcados dentro de las imágenes la normalidad era más presente, pero con muchos matices según fuera el atributo procesado y el uso

representado.

Con la base de datos de téxeles, dado los resultados que definían conjuntos de datos con anormalidad manifiesta, se aplicaron estadísticas no-paramétricas. Asimismo, considerando que una de las razones de la anormalidad podía ser resultado de la gran variabilidad de magnitud de los téxeles seleccionados emergentes –la cual podía ir de 10 píxeles a más de 12.000 píxeles–, dividí la base de datos general de téxeles en diversas según el criterio de tamaño de los téxeles. Así obtuve 4 bases de datos: (1) téxeles de 10 a 50 píxeles, (2) téxeles de 51 a 100 píxeles, (3) téxeles de 101 a 1.000 píxeles y (4) téxeles de 1.001 a 12.500 píxeles. El comportamiento de la anormalidad variaba según fuera el intervalo, pero se mantenía con la salvedad de la base de datos de téxeles mayores, que para algunos atributos presentaba normalidad. Estos atributos fueron tratados con estadísticas paramétricas comunes y comparados con los obtenidos en las estadísticas no-paramétricas.

Asimismo, se hizo evidente que las diferencias según las categorías de uso se evidenciaban en gran parte de los atributos. Se observaban dos tendencias definidas en algunos atributos: (1) diferenciación de valores en una escala que iba de acuerdo al factor de la dureza de la materia trabajada y (2) un error vinculado al factor de la similaridad en la dureza trabajada. Sin embargo, otros atributos mostraban una indistinción del uso absoluta o distinciones sin ninguna lógica aparente –es decir, que no era atribuible a ningún factor formativo concreto–. No voy a entrar a especificar qué atributos entran en una categoría u otra hasta las conclusiones, pues no haría más que liar la madeja, cuando precisamente las conclusiones nos indicarán otra tendencia lejos de la especificidad.

También las diferencias clasificatorias se evidenciaban según fuera el rango de tamaño de los téxeles, pero siendo muy variables los rangos discriminantes y los que no según fuera el atributo.

Los experimentos para la discriminación de la cinemática fueron en todos los casos un fracaso rotundo. Siguiendo la metodología para la discriminación de la cinemática, usada en trabajos previos para bases de datos con téxeles, extraídos a partir de imágenes sobre obsidias y materias primas volcánicas (Toselli, 2004; Toselli et al., 2002, 2005), los resultados no tuvieron nada que ver. Sin embargo achaqué el fracaso al intervalo de luz elegido para el presente trabajo, nada sensible a perfilar las características definitorias de la cinemática.

Prefiero no concretar más sobre las estadísticas, pues considero que los resultados más significativos los hemos de obtener en comparación a los obtenidos por las Redes Neuronales, resultados que ahora paso a comentar.

La elección de las Redes Neuronales para el presente trabajo viene dada por las características de éstas. Muy posiblemente el uso de algoritmos de resolución no lineales podía ser la respuesta a la clasificación de un fenómeno de formación física complejo como es el de las trazas de uso. Trabajamos con la mismas bases de datos que para la estadística. Sin embargo

en este caso no hicimos un procesamiento por rangos¹⁴. No dar importancia a los rangos de tamaño de los téxeles se justifica porque el funcionamiento de una red neuronal ya elimina por sí mismo los datos redundantes, sin ser necesario hacer procesamientos selectivos previos. Igualmente para los atributos de uso, que fueron todos inseridos sin selección previa.

El procesamiento de la red neuronal empleada consiste en dos pasos: (1) una primera fase de aprendizaje a partir del uso del 75% de los casos de la base de datos, fase en la cual hace comparaciones a la búsqueda de similitudes no-lineales; y (2) en caso de resultados discriminantes en (1), se puede llevar a cabo un test del aprendizaje con el 15% de la base de datos restante¹⁵, para comprobar la eficiencia de la red en la discriminación a partir de casos desconocidos.

Una red neuronal está formada por tres capas: (1) una inicial, en la cual se insieren los datos como *inputs* en el sistema; (2) una o varias capas intermedias –o “ocultas”–, núcleo real de procesamiento de los datos, en donde se llevan a cabo las sumatorias múltiples cruzadas de los datos; y (3) una capa final, que corresponde a los *outputs* posibles a los cuales se pueden asignar los datos, según sea su categoría –de uso en este caso: materia trabajada o cinemática¹⁶–. Como se puede intuir, el quid de la cuestión se encuentra en la arquitectura del núcleo interno, pudiendo poner de 1 a varias capas intermedias, con también números variables de nodos de cálculo en cada una de ellas. En este caso se experimentó con diversas arquitecturas, pero – como veremos– más complejidad no ha de asegurar necesariamente mejores resultados.

Llevamos a cabo tres experimentos con la base de datos de téxeles para la categoría “materia trabajada”, que implicaba 7 *outputs* posibles¹⁷. La capa oculta intermedia del experimento 1 y 3 disponía de 185 nodos y el algoritmo de aprendizaje era de retropropagación por momento. En el Experimento 2 usamos dos capas ocultas de 148 nodos y 74 respectivamente.

Los resultados fueron nefastos en cuanto a clasificación correcta. Sin embargo, si analizamos el error, encontramos indicios que la Red Neuronal ha encontrado cierta lógica en los datos en referencia al uso:

- La red clasifica en algunos casos más correctamente las materias a los extremos de la escala de dureza.
- El error de clasificación en general es con materias trabajadas de dureza más cercana. Esto ya había sido observado para algunos atributos en los resultados estadísticos.
- En la posterior clasificación binaria las materias más a los extremos de la escala de dureza son también las mejor clasificadas.

Trabajamos posteriormente con la base de datos que recogía las medias y desviaciones típicas de los téxeles enmarcados en cada una de las imágenes. Se intentaron diversas arquitecturas internas de red para finalmente obtener buenos resultados en el llamado Mitges 2.

Disponía de 35 entradas, una capa intermedia de 15 nodos y 7 salidas correspondientes a las categorías de “materia trabajada”. La función de aprendizaje fue la de retropropagación del gradiente con momento. Los resultados fueron claramente discriminantes en coherencia al uso real, con un acierto alrededor del 60% o superior, y otra cosa muy importante, el error estaba a menudo en coherencia a durezas similares a la materia trabajada correcta. Este era el resultado de la fase de entrenamiento o aprendizaje; el test de ésta con el 15% de la base de datos no procesada no dio resultados tan discriminantes, pero continuaba habiendo un acierto elevado y también un error en coherencia a durezas similares a la materia trabajada correcta.

El test de significación, que indica cuales de los *inputs* han tenido más influencia en la clasificación dada nos indicó que las medias y desviaciones estándar de los atributos “Elongación”, “Circularidad”, “Ratio Circularidad/Estrechez” y “Compacidad B” eran más influyentes. Sin embargo, un nuevo experimento llevado a cabo insiriendo estos 8 *inputs* dio resultados clasificatorios totalmente nefastos, con confusiones sin lógica. Esto lleva a pensar que todos los atributos han tenido su aporte a la clasificación, aunque sea pequeño, muy específico y no generalizable.

Los experimentos para la cinemática dieron resultados nefastos para el procesamiento de la base de datos de todos los téxeles, a pesar de que el nivel de confusión era bajo al trabajar con únicamente 3 *outputs*. Sigue la tónica obtenida para las estadísticas. Sin embargo, los resultados con la base de datos de medias y desviaciones estándar son altamente discriminantes, con aciertos alrededor del 70% o superiores. Teniendo solo en cuenta los 6 *inputs* que indica el test de sensibilidad (MN de “Circularidad”, SD de “Ratio Circularidad/Estrechez”, MN y SD de “Rectangularidad A”, MN y SD de “Compacidad B”) se pierde la función discriminadora.

4. Conclusiones: intentando evacuar el camarote de los Hermanos Marx.

Llegados a este punto, voy a presentar las conclusiones definitivas. Tanto en las estadísticas como en los experimentos con Redes Neuronales, podemos observar que el factor de la dureza de la materia trabajada ha tenido una gran influencia en la clasificación. Los atributos que según la estadística la evidencian más en su gradación de valores son “Media de la luminosidad”, “Irregularidad”, “Rectangularidad A” y “Ratio Perímetro/Eje Mayor”, pero también en menor medida “Circularidad”, “Cuadratura”, “Compacidad A”, “Ratio Circularidad/Estrechez”, “Rectangularidad B” y el resto de atributos de Composición. Esto es muy importante, en cuanto podemos afirmar que la intensidad de la luz es un elemento clave real para la diferenciación del uso, relacionándose con el factor dureza de la materia trabajada.

La mayoría de discriminaciones para los atributos de Forma funcionan mejor con un rango medio de tamaño de los téxeles, entre 50 a 1000 píxeles, y peor en téxeles muy pequeños o excesivamente grandes. Se interpreta así un punto de inflexión en la óptima diferenciación de la forma de los téxeles: en los tamaños medios la variabilidad es la óptima.

Los téxeles mayores, los que representarían áreas más anchas de alteración, conllevan resultados mediocres para los atributos de forma en el mejor de los casos (Experimento 3 y estadísticas paramétricas y no-paramétricas aplicadas), solo siendo de consideración “Cuadratura” y “Rectangularidad A”. Sin embargo, para los atributos de Composición, referentes a la intensidad de la luz y su repartición, los resultados con este rango de téxeles son discriminantes. Estos atributos también muestran esta tendencia para las pruebas de comparaciones múltiples.

Vistos los resultados generales, no dudo en adjudicar a los atributos de Composición una gran intervención en el resultado discriminante final en los experimentos con Redes Neuronales para toda la base datos de téxeles.

Sin embargo, para la otra base de datos de medias y desviaciones estándar de los téxeles circunscritos en cada una de las imágenes, los tests de sensibilidad indican el mayor potencial discriminante a las medias y desviaciones estándar de atributos está en atributos de Forma, dos de ellos (“Elongación” y “Compacidad B”) con resultados discriminantes nefastos en las estadísticas y los otros dos con resultados mediocres (“Ratio Circularidad/Estrechez” y “Circularidad”). Los atributos de Composición desaparecen del mapa. La única explicación al fenómeno es que cada uno de los atributos da su aportación desigual y sesgada a la clasificación: “Compacidad B” ayuda a clasificar hueso y madera seca y “Circularidad” ayuda a clasificar valva. Pero aún así, fijémonos que ciertamente todos los *inputs* inseridos tienen su aportación, pues el experimento con Redes Neuronales que se lleva a cabo únicamente con los *inputs* indicados por el test de sensibilidad es un fracaso.

La conclusión de tal paradoja la adjudico a la naturaleza de la formación de la alteración de uso en superficie, que con la intervención de multitud de factores que interactúan sincrónicamente, a menudo retroalimentándose o influyéndose mutuamente de algún modo, dan como resultado una fenomenología en consecuencia no adscribible a categorías estancas ni identificables sobre criterios unilineales. De ahí las concatenaciones entre usos diferentes a que se han referido multitud de autores (Grace, 1989; Ibáñez y González, 1993; Levi-Sala, 1996;...).

Esto, desde una perspectiva epistemológica, nos obliga a una determinación analítica que tenga en cuenta multitud de atributos, con aportaciones muy desiguales y específicas no aplicables de forma simple y unilineal. Por mucho que haya atributos que pesen más en la determinación del uso, solo trabajando con estos la determinación del uso obtenida será muy pobre. La decisión final del analista habrá de tener en cuenta otros atributos de menor peso global, pero que de forma condicional aportan un valor específico y especializado para determinar ciertas categorías de uso más concretas. La cuestión está en que este procedimiento debe ser guiado y no desembocar en debates estériles sobre la pertinencia o no de un atributo para una mejor determinación del uso, debates los cuales siempre se montaron sobre la autoridad académica y la brillante intuición.

5. Un órdago para los más valientes.

Considero que con estas conclusiones se deberían cerrar ciertos debates respecto a la cuantificación de las trazas de uso. No se puede ya cuestionar la idoneidad, o incluso plausibilidad, de la cuantificación de las trazas de uso en base a su naturaleza extremadamente variable. Tenemos mecanismos para circunscribir esta variabilidad.

Pero aun más. Nadie podrá afirmar que a partir de las alteraciones de uso no sea posible distinguir el propio uso. Finalizando el título del trabajo de C. Mazo (Mazo, 1997¹⁸) “se ha hecho mucho trecho”. Si mediante un sistema de clasificación neutro, a partir de criterios de cuantificación reproducibles, hemos obtenido sendas clasificaciones por materias trabajadas y cinemáticas, en innegable que esta variabilidad que permite la distinción es de carácter óptico y no fruto de las ilusiones de ningún loco.

Sin embargo, quizás “no se ha hecho todo el trecho”. Hace falta mucho más trabajo en la misma línea. E insisto, la línea de la cuantificación es la única correcta, en el sentido de la transparencia que nos ofrece para la detección del error de clasificación y la pertinencia de las variables analíticas que empleemos. Y aunque la adjudicación del uso no es aun la óptima, sí que es innegablemente objetiva –óptica si se prefiere– y representa un apoyo al trabajo que podamos desarrollar los analistas siguiendo el método convencional utilizado... ese método que he criticado tanto al inicio de este artículo. Como hemos comprobado, la plasticidad metodológica que nos permite conlleva que en ningún momento los analistas de uso perdamos la rienda del análisis en sí mismo; simplemente generamos procesos de clasificación paralelos y absolutamente guiados por nuestros criterios.

6. Notas.

¹ Este trabajo pretende ser una síntesis de la tesis doctoral del autor: “Quantificació de traces d’ús en instruments lítics mitjançant imatges digitalitzades: Resultats d’experiments amb Xarxes Neurals i Estadística”, defendida en la Universitat Autònoma de Barcelona en fecha de 9 de noviembre de 2007. Para atenerse a la trayectoria del proyecto de investigación implicado, el lector puede recurrir a los diversos artículos firmados por el autor –individual o colectivamente– y que están incluidos en la bibliografía adjunta.

² Esto debe entenderse en el marco del surgimiento de la científica New Archaeology, la que a fin de cuentas “ideó” los análisis de trazas de uso en el marco de la civilización capitalista occidental en los tiempos de la mal llamada Guerra Fría, a pesar de que, como todos sabemos (más o menos), los análisis de trazas de uso son un producto de la Arqueología Soviética –posiblemente el más notable y digno de consideración.

³ Para muestra los trabajos de R. Grace y M.H. Newcomer sobre tests ciegos llevados a cabo con (o contra) ingenuos traceólogos que se prestaron a ello (Newcomer et al. 1986, 1987, 1988). A partir de los supuestos resultados nefastos en las adscripciones obtenidas –a partir de un cuestionario a “mala leche” sobre trazas de difícil identificación– se puso en duda la honestidad de los traceólogos en cuanto a las

determinaciones de uso que adjudicaban. A pesar de las furibundas respuestas a este despropósito (Bamforth, 1988; Hurcombe, 1988; Moss, 1987), no solo el traceólogo quedó fusilado como charlatán tirador de cartas, sino que yendo más allá R. Grace osó afirmar que las trazas de uso no eran distinguibles por categorías de materia trabajada y cinemática. La falacia de R. Grace quedó como verdad entre muchas mentes pensantes de la Arqueología y considero que solo ha podido ser refutada a partir de los resultados de mi propio trabajo, los cuales aquí presento.

⁴ Ya dije nombres propios en mi tesis doctoral y a ella dirijo al lector en el caso que la curiosidad le corra (Pijoan-López, 2007). Con todo, creo que soy lo suficiente explícito para que cada cual se dé por aludido, si le apetece...

⁵ Me refiero a los perfilómetros de varios formatos. Los trabajos con estas máquinas pueden ser correctos y vistas a futuro, con la simplificación de los procedimientos y abaratamiento de las máquinas implicadas, se puedan prodigar. Pero hoy por hoy no han resuelto los problemas planteados.

⁶ ... y a menudo pretendiendo dárseles de especialista en imágenes digitales por ser capaz de entender el manual de usuario y acometer la tarea de dar +/- brillo y contraste a las fotos de la primera comunión de su hijo, o de sí mismo en pose bravía mientras usa la estación total en “su” excavación en las chimbambas. Y nada tiene que ver ser un buen fotógrafo de banquetes con el uso científico de las imágenes digitales. El escribiente de estas líneas ha tenido que sufrir en estos años los consejos y cuestionamientos de mi método por parte de muchos de estos marineros de agua dulce en el mar de las imágenes digitales. Sobreviví al mar, pero casi sucumba mi paciencia soportando a estos marineros.

⁷ Asimismo la cámara digital empleada fue la misma durante todo el proceso de elaboración de la colección de imágenes: Olympus Camdia C3030.

⁸ Concretamente fue sílex Grand Pressigny, procedente de dicha zona. Su homogeneidad y color mate marronoso daba como resultado un oscuro intenso al pasar las imágenes a escala de grises, el cual no producía brillos superfluos que podían sobresaturar artificialmente la imagen. En otras palabras, la microalteración de uso en la superficie lítica quedaba bien contrastada respecto de la superficie no alterada.

⁹ Concretamente NIH (programa libre del National Institute of Health de los USA, adaptado al tratamiento de imágenes para la investigación médica) y Photoshop (éste último empleado en prolegómenos de formatización estandarizada para la creación de la colección de imágenes).

¹⁰ A pesar de que aquí presentamos los cuatro atributos de magnitud posibles, para el procesamiento de los datos solo inserí el atributo “Área”, prescindiendo de los otros tres, pues consideré que no aportaban información discriminante adicional y que si esta existía era de carácter relacional, la cual ya se expresaba en las ecuaciones que constituyen los atributos de forma.

¹¹ Tengamos en cuenta que los téxeles son individuos de formas extremadamente irregulares donde una de sus medidas tiende necesariamente a ser mayor.

¹² Usé otra categoría de cinemática, denominada “longitudinal-transversal”. Representaría la cinemática durante el trabajo de descarnado, en el cual los movimientos, a pesar de ser tendientes al corte, son ciertamente ambiguos y tienden a la transversalidad) –tipo corte por navaja.

¹³ Este “efecto” consiste en que a pesar de que con la red neuronal de turno hayamos obtenido unos

resultados clasificatorios óptimos para el conjunto de datos, no podemos inferir cuales han sido los criterios del sistema para llevar a cabo la clasificación.

¹⁴ Salvo para el Experimento 3, en el cual se usaron los téxeles mayores de 1000 píxeles. En unas pocas líneas se explicita esta contingencia.

¹⁵ El lector observador habrá visto que un 10% de la base de datos ha desaparecido. ¡Pues no!, es el empleado en la comprobación cruzada durante la fase (1).

¹⁶ Es decir, la capa final de nuestra red neuronal está formada por 7 y 3 outputs posibles, correspondientes a las 7 categorías de materia trabajada y 3 de cinemática.

¹⁷ Uno para cada materia trabajada.

¹⁸ Artículo que mostraba un “escepticismo” a ultranza –por no decir “negación”– respecto a las trazas de uso.

7. Bibliografía.

ADÁN, M., BARCELÓ, J.A., PIJOAN-LÓPEZ, J., PIQUÉ, R. y TOSELLI, A., 2003: “Spatial statistics in Archaeological texture description”. En DOERR, M. y SARRIS, A., Ed.: *CAA 2002 The digital Heritage of Archaeology*, pp. 253-259. Archive of Monuments and Publications – Hellenic Ministry of Culture. Atenas.

BAMFORTH, D.B., 1988: “Investigating Microwear Polishes with Blind Tests: The Institute Results in Context”, *Journal of Archaeological Science* 15, pp. 11-23.

BARCELÓ, J.A., PIJOAN, J. y VICENTE, O., 2001: “Image quantification as archaeological description”. STANČIČ, Z. y VELJANOVSKI, T., Ed.: *CAA'2000 Computing Archaeology for understanding the past – BAR International Series 931*, pp. 69-77. Archaeopress. Oxford.

BARCELÓ, J.A. y PIJOAN-LOPEZ, J., 2004: “Cutting or Scrapping? Using neural Networks to Distinguish Kinematics in Use Wear Analysis”. En Magistrat der Stadt Wien, Ed.: *Enter the Past. The E-way into the Four Dimensions of Culture Heritage – BAR International Series 1227*, pp. 427-431. Archaeopress. Oxford.

BARCELÓ, J.A. y PIJOAN-LOPEZ, J., 2005: “Using Neural Networks to Distinguish Kinematics in Use Wear Analysis”. En *Neuro Dimension Newsletter – Volume 5*, N° 10. http://www.nd.com/newsletter/Newsletter_v5_10.html. NeuroSolutions Inc.

BARCELÓ, J.A., PIJOAN-LÓPEZ, J., TOSELLI, A. y VILA I MITJÀ, A., en prensa: “Kinematics and use-wear traces: an attempt of characterisation through image digitalization”. En *Prehistoric Technology 40 years later: Functional studies and the Russian legacy*.

GONZALEZ, J.E. y IBAÑEZ, J.J., 1994: *Metodología de análisis funcional de instrumentos tallados en sílex*. Universidad de Deusto. Bilbao.

GONZALEZ-URQUIJO, J.E. y IBAÑEZ-ESTÉVEZ, J.J., 2003: “The quantification of use-

- wear polish using image analysis. First results”. *Journal of Archaeological Science* 30, pp.481-489..
- GRACE, R., 1989: *Interpreting the Function of Stone Tools. The quantification and computerisation of microwear analysis*. BAR International Series 474. Archaeopress. Oxford.
- HURCOMBE, L., 1988: “Some Criticisms and Suggestions in Response to Newcomer et al. (1986)”. *Journal of Archaeological Science* 15, pp. 1-9.
- KEELEY, L.H., 1980: *Experimental determination of stone tool uses. A microwear analysis*. Col. Prehistoric Archaeology and Ecology Series. University of Chicago Press. Chicago.
- KNUTSSON, K., 1988: *Functional analysis. The flint assemblage a Making and using stone tools. The analysis of the lithic assemblages from Middle Neolithic sites with flint in Västerbotten, Northern Sweden AUN-11*. Societas Archaeologica Upsaliensis. Upsala – Uddevalla.
- KNUTSSON, K., DAHLQUIST, B. y KNUTSSON, H. (1988) “The microwear analysis of the quartz and flint assemblage from the Bjurselet site, Vorsterbotten, Northern Sweden”. En Beyries, S., Ed.: *Industries lithiques. Tracéologie et technologie – BAR International Series 411*, pp. 253-294. Archaeopress. Oxford.
- LEVI-SALA, I., 1996: *A study of microscopic polish on flint implements*. BAR International Series 629. Archaeopress. Oxford.
- MAZO PEREZ, C., 1997: “Análisis de huellas de uso: ‘del dicho al hecho...’”. *Veleia* 14, pp. 9-39.
- MOSS, E. H., 1987: “A Review of ‘Investigating Microwear Polishes with Blind Tests’”. *Journal of Archaeological Science* 14, pp. 473-481.
- NEWCOMER, M.H., GRACE, R. y UNGER-HAMILTON, R., 1986: “Investigating Microwear Polishes with Blind Tests”. *Journal of Archaeological Science* 13, pp. 203-217.
- NEWCOMER, M.H., GRACE, R. y UNGER-HAMILTON, R., 1987: “Microwear polishes, blind tests, and texture analysis”. En SIEVEKING, G. de G. y NEWCOMER, M.H., Ed.: *The human uses of flint and chert*, pp.253-263. Cambridge University Press. Cambridge.
- NEWCOMER, M.H., GRACE, R. y UNGER-HAMILTON, R., 1988: “Microwear Methodology: A Reply to Moss, Hurcombe and Bamforth”. *Journal of Archaeological Science* 15, pp.25-33.
- PIJOAN LÓPEZ, J., 2000: *Tècniques de visulització assistida per ordinador per l'anàlisi de traces d'ús en instruments lítics*. Trabajo de Investigación de 3^{er} Ciclo. Universitat Autònoma de Barcelona.

- PIJOAN LÓPEZ, J., 2000: "Patrons de traces d'ús en imatges digitalitzades". En MAMELI, L., PIJOAN, J. y RAMU-Comunicat, Ed.: *Reunió d'Experimentació en Arqueologia; 4, 5 i 6 de Maig de 1999, Facultat de Filosofia i Lletres (Universitat Autònoma de Barcelona)*. Col. Treballs d'Arqueologia – nº Especial, edición en CD-rom. Barcelona.
- PIJOAN LÓPEZ, J., 2001: "Experimentación en Arqueología: reflexiones para una propuesta operativa y explicativa". *Revista Atlàntica-Mediterrànea de Prehistoria y Arqueologia Social* 4, pp. 91-114.
- PIJOAN LÓPEZ, J., 2007: *Quantificació de traces d'ús en instruments lítics mitjançant imatges digitalitzades: Resultats d'experiments amb Xarxes Neurals i Estadística*. Tesis Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- PIJOAN LÓPEZ, J., BARCELÓ ÁLVAREZ, J.A., BRIZ I GODINO, I., CLEMENTE CONTE, I. y VILA I MITJÀ, A., 1999: "Quantification and Neural Networks in Use-Wear Analysis". *The recent archaeological approaches to the use-wear analysis and technical process. The first studies in Honor of S. A. Semenov*. Russian Academy of Sciences – Institute of History of Material Culture / Centre National de la Recherche Scientifique. Saint Petersburg.
- PIJOAN LÓPEZ, J., BARCELÓ ÁLVAREZ, J.A., CLEMENTE CONTE, I. y VILA I MITJÀ, A., 2002: "Variabilidad estadística en imágenes digitalizadas de trazas de uso: resultados preliminares". *Análisis funcional. Su aplicación al estudio de las Sociedades Prehistóricas – BAR International Series 1073*, pp. 23-24. Archaeopress. Oxford.
- PIJOAN, J., BARCELÓ, J.A., BRIZ, I., VILA, A. y PIQUÉ, R., 2004: "Image quantification in use-wear analysis". En FENNEMA, K., KAMERMANS, H. y Computer Applications in Archaeology, Ed.: *Making the connection to the Past: CAA 99*, pp. 55-64. Faculty of Archaeology – Leiden University. Leiden.
- TOSELLI, A., 2004: *Identificación y descripción de trazas de uso en obsidiana mediante la experimentación*. Trabajo de Investigación de 3^{er} Ciclo. Universitat Autònoma de Barcelona.
- TOSELLI, A., PIJOAN LÓPEZ, J. y BARCELÓ ÁLVAREZ, J.A., 2002: "La descripción de las trazas de uso en materias primas volcánicas: resultados preliminares de un análisis estadístico descriptivo". *Análisis funcional. Su aplicación al estudio de las Sociedades Prehistóricas – BAR International Series 1073*, pp. 65-78. Archaeopress. Oxford.
- TOSELLI, A., PIJOAN-LOPEZ, J., BARCELÓ, J.A. y VILA I MITJÀ, A., 2005: "Kinematics and use-wear traces: an attempt of characterisation through image digitalization". *Prehistoric Technology 40 years later: Functional studies and the Russian legacy*, pp. 26-27. Museo Civico di Storia Naturale di Verona – Università degli studi di Verona. Verona.

- VILA I MITJA, A. y GALLART, F., 1991: “Aplicacion del analisis digital de imagenes en Arqueologia: el caso de los micropulidos de uso”. En VILA i MITJÀ, A., Coord.: *Arqueologia-CSIC.*, pp. 131-139. Col. Nuevas Tendencias. Madrid.
- YAMADA, S. y SAWADA, A., 1993: “The method of description for polished surface”. *Traces et fonction: les gestes retrouvés. Actes du Colloque International de Liège, 8-9-10 décembre 1990. Eraul-50 vol. II*, pp. 447-457. Centre de Recherches Archéologiques du CNRS – Études et Recherches Archéologiques de la Université de Liège. Liège.