

# MENGA

CONJUNTO  
ARQUEOLÓGICO  
DÓLMENES  
DE ANTEQUERA

AÑO 2011  
ISBN 978-84-9959-083-7  
ISSN 2174-9299

REVISTA DE PREHISTORIA DE ANDALUCÍA · JOURNAL OF ANDALUSIAN PREHISTORY

# M

MONOGRÁFICO 01

**Exploring Time and Matter in Prehistoric  
Monuments: Absolute Chronology and Rare  
Rocks in European Megaliths**

**Explorando el Tiempo y la Materia en los  
Monumentos Prehistóricos: Cronología Absoluta  
y Rocas Raras en los Megalitos Europeos**

# MENGA M01

REVISTA DE PREHISTORIA DE ANDALUCÍA  
JOURNAL OF ANDALUSIAN PREHISTORY

SERIE MONOGRÁFICA. MONOGRAPHIC SERIES  
Año 1 // Número 01 // 2011

JUNTA DE ANDALUCÍA. CONSEJERÍA DE CULTURA

Conjunto Arqueológico Dólmenes de Antequera

ISBN 978-84-9959-083-7

ISSN 2174-9299

Depósito Legal: SE 8185-2011

Distribución nacional e internacional: 250 ejemplares

*Menga Monografías* es una publicación del Conjunto Arqueológico Dólmenes de Antequera (Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía). Su objetivo es la difusión internacional de trabajos de investigación científicos de calidad relativos a la Prehistoria de Andalucía, razón por la cual se publica en español e inglés.

*Menga Monografías* da a conocer trabajos de investigación que por su amplitud o extensión no se ajustan bien al formato de artículos dentro de la revista Menga. Estos trabajos son obras colectivas o individuales que tratan de cualesquiera de los temas incluidos en el campo de conocimiento que la revista Menga abarca.

La serie *Menga Monografías* está abierta a trabajos inéditos y no presentados para publicación en otras editoriales o medios de comunicación académicos o científicos. Todos los manuscritos originales recibidos serán sometidos a un proceso de evaluación externa y anónima por pares como paso previo a su aceptación para publicación.

*Menga Monographs* is published by the Dolmens of Antequera Archaeological Site (the Andalusian Regional Government Ministry of Culture). Its aim is the international dissemination of quality scientific research into Andalusian Prehistory. To this end, the journal is published in English and Spanish.

The series *Menga Monographs* publishes research works that because of their amplitude or extension do not fit well within the scientific paper format. These monographs may be individual or collective works dealing with any of the themes covered within Menga's field of knowledge.

*Menga Monographs* is open to original and unpublished works that have not been submitted for publication to other publishers. All original manuscripts will be submitted to an external and anonymous peer-review process before being accepted for publication.

## CONTENTS / CONTENIDOS

### 09 INTRODUCTION // INTRODUCCIÓN

- 11 C. Scarre, L. García Sanjuán and D. W. Wheatley  
**Exploring time and matter in prehistoric monuments: debating absolute chronology and rare rocks in European megaliths // Explorando el tiempo y la materia en los monumentos prehistóricos: el debate sobre cronología absoluta y rocas raras en los megalitos europeos**
- 25 R. Jousaume  
**Viaje al mundo de los megalitismos recientes // A journey into the world of recent megalithic cultures**

### 51 THEME 1: CHRONOLOGY // TEMA 1: CRONOLOGÍA

- 53 C. Scarre  
**Marking time: The problem of chronology in studying European Neolithic monuments // Marcar el tiempo: el problema de la cronología en el estudio de los monumentos neolíticos europeos**
- 77 J. Guilaine  
**Megalitos de Francia: distribución geográfica y cronología // Megaliths in France: geographical distribution and chronology**
- 103 K.G. Sjögren  
**C-14 chronology of Scandinavian megalithic tombs // Cronología radiocarbónica de las tumbas megalíticas escandinavas**
- 121 L. García Sanjuán, D. W. Wheatley and M. E. Costa Caramé  
**The numerical chronology of the megalithic phenomenon in southern Spain: progress and problems // La cronología numérica del fenómeno megalítico en el sur de España: avances y problemas**
- 159 R. Boaventura  
**Chronology of Megalithism in South-Central Portugal // Cronología del megalitismo en el centro-sur de Portugal**
- 193 E. López-Romero  
**Datación por Luminiscencia Ópticamente Estimulada de monumentos megalíticos: contexto y perspectivas // Optically Stimulated Luminescence dating of megalithic monuments: context and perspectives**

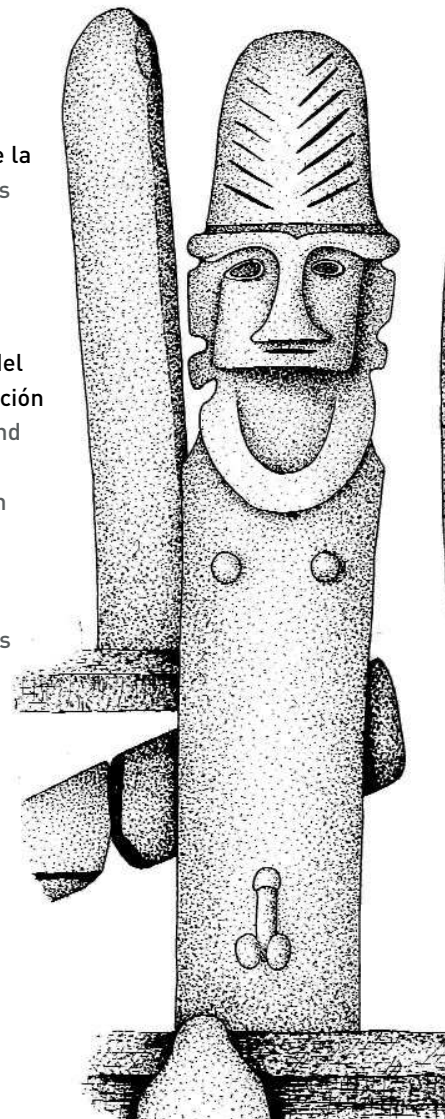


# Exploring Time and Matter in Prehistoric Monuments: Absolute Chronology and Rare Rocks in European Megaliths

## Explorando el Tiempo y la Materia en los Monumentos Prehistóricos: Cronología Absoluta y Rocas Raras en los Megalitos Europeos

### 217 THEME 2: RARE ROCKS // TEMA 2: ROCAS RARAS

- 219 M. Parker Pearson, J. Pollard, C. Richards, J. Thomas, K. Welham, R. Bevins, R. Ixer, P. Marshall and A. Chamberlain  
**Stonehenge: controversies of the bluestones // Stonehenge: las controversias de las piedras azules**
- 253 M. E. Costa Caramé, L. García Sanjuán, M. Murillo-Barroso, R. Parrilla Giráldez y D. W. Wheatley  
**Artefactos elaborados en rocas raras en los contextos funerarios del IV-II milenios cal ANE en el sur de España: una revisión // Artefacts produced in rare rocks from funerary contexts of the 4th-2nd millennia cal BCE in southern Spain: a review**
- 295 J. A. Afonso Marrero, J. A. Antonio Cámara Serrano, G. Martínez Fernández y F. Molina González  
**Objetos en materias primas exóticas y estructura jerárquica de las tumbas de la necrópolis de Los Millares (Santa Fe de Mondújar, Almería, España) // Objects in exotic raw materials and the hierarchical structure of the tombs in the Los Millares necropolis (Santa Fe de Mondújar, Almería, Spain)**
- 335 J. A. Linares Catela y C. Odriozola Lloret  
**Cuentas de collar de variscita y otras piedras verdes en tumbas megalíticas del suroeste de la Península Ibérica. Cuestiones acerca de su producción, circulación y presencia en contextos funerarios // Necklace beads made from variscite and other green stones in megalithic tombs in the southwest of the Iberian Peninsula. Questions relating to their production, distribution and presence in funerary contexts**
- 371 P. Kalb  
**Rare rocks in the megalithic monuments of Vale de Rodrigo, Portugal // Rocas raras en los monumentos megalíticos de Vale de Rodrigo, Portugal**



# DATACIÓN POR LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA DE MONUMENTOS MEGALÍTICOS: CONTEXTO Y PERSPECTIVAS

## OPTICALLY STIMULATED LUMINESCENCE DATING OF MEGALITHIC MONUMENTS: CONTEXT AND PERSPECTIVES

Eliás López-Romero (Instituto de Ciencias del Patrimonio (Incipit) - CSIC). [ [elias.lopez-romero@incipit.csic.es](mailto:elias.lopez-romero@incipit.csic.es) ]

### Resumen

La datación por radiocarbono es una de las técnicas de datación absoluta más extendidas dentro del campo de la Arqueología. Su aplicación al estudio de la Prehistoria europea cuenta con una larga tradición, y la implementación de la técnica de AMS ha mejorado notablemente su precisión y ha reducido algunos problemas y condicionantes relacionados con las muestras. Pese a ello, la datación por radiocarbono no puede en sí misma resolver el amplio abanico de interrogantes, problemas y casuística de la delimitación cronológica de las actividades humanas del pasado. En este contexto, este trabajo se centra en las posibilidades de aplicación de la Luminiscencia Ópticamente Estimulada (LEO) al estudio del fenómeno megalítico europeo. En él se explora el contexto de investigación de esta técnica, sus principios generales y las perspectivas y actualidad de su aplicación a los monumentos de la Prehistoria Reciente de la fachada atlántica europea. Como conclusión general, podemos decir que la LEO se presenta en estos momentos como un método de datación complementario e incluso – en los casos en los que la aplicación del radiocarbono no es posible – alternativo con un importante potencial. Se trata sin embargo de un método que necesita ser mejorado y ensayado de forma más generalizada. Para lograr este objetivo el papel de los investigadores ha de ser activo, incorporando la técnica – cuando sea posible – en el marco de protocolos de investigación bien definidos.

**Palabras clave:** Datación absoluta, Luminiscencia por Estimulación Óptica (LEO), monumento, megalito, fachada atlántica europea.

### Summary

Radiocarbon dating is one of the most widespread techniques of absolute dating in the field of Archaeology. Its application to the study of European Prehistory has a very long tradition now, and the implementation of the AMS technique has notably increased its accuracy and has reduced a number of sampling conditionings. However, Radiocarbon methods alone cannot solve the whole range of archaeological questions about the chronological setting of human activity in the past. In this context, this paper deals with the application of Optically Stimulated Luminescence (OSL) to the analysis of megaliths. It will explore the research context of this technique, its general principles, and the perspectives and reality of its application to the Later Prehistoric monuments of the European Atlantic façade. As a general conclusion, OSL can be seen so far as a good complementary or – in cases where Radiocarbon is not possible – alternative dating technique with high potential. It needs, nonetheless, to be further tested. For succeeding in such a goal the role of researchers has now to be active, incorporating the technique when possible into well-defined research protocols.

**Keywords:** Absolute Dating, Optically Stimulated Luminescence (OSL), Megalithic monuments, European Atlantic Façade.

## 1. INTRODUCCIÓN

El radiocarbono ocupa un lugar importante entre los métodos físico-químicos de datación absoluta. En el contexto de los monumentos de la Prehistoria Reciente de la fachada atlántica europea este papel ha sido especialmente relevante; su aplicación ha sido constante desde una fase temprana del desarrollo de la técnica, contribuyendo de forma muy significativa a la superación del paradigma interpretativo previamente predominante. Sin embargo, la datación radiocarbónica del megalitismo se enfrenta a una serie de problemas que han sido recurrentemente tratados en la literatura a lo largo de las últimas décadas. Por un lado, la existencia de suelos ácidos en algunas de las zonas de mayor presencia de monumentos no ha permitido la conservación de macrorrestos de materia orgánica. Por otro lado, en los contextos en los que dichos restos se han conservado surgen otra serie de condicionantes. En primer lugar, y con algunas excepciones (p.e. la datación directa de pinturas; Carrera Ramírez y Fábregas Valcarce, 2002; Steelman *et al.*, 2005), los elementos datados son entidades relacionadas sólo espacialmente con las estructuras. En segundo lugar, varios autores (p. e. Zilhão, 2004) han argumentado que múltiples fechas realizadas sobre carbones deberían ser desestimadas ya que podrían proceder de especies vegetales de vida larga. En tercer lugar, y en parte relacionado con el primero de los puntos mencionados, la datación directa de huesos humanos y la relación entre su deposición y la arquitectura que los contiene no es sencilla de aprehender ya que depende en gran medida de procesos sociales, tafonómicos y postdeposicionales. Por último –pero no por ello menos importante– la datación de hueso y concha en contextos litorales se ve condicionada por la menor concentración en el mar del isótopo C14 (Marchand *et al.*, 2009: 305; Bronk Ramsey, 2008: 252; Soares, 2004), lo que repercute en la cantidad de dicho elemento que es almacenada en los organismos vivos y, por extensión, en la fecha para ellos obtenida. En los últimos años, la disponibilidad de nuevas técnicas y de mejoras instrumentales dentro del campo de la Arqueometría permite abordar con nuevas perspectivas estas problemáticas. La datación por Luminescencia Ópticamente Estimulada (*Optically Stimulated Luminescence*, OSL) de sedimentos es probablemente uno de los mejores ejemplos de esta dinámica. Varios proyectos cuyo objeto de estudio principal es el fenómeno monumental europeo han

introducido recientemente la datación por LEO. Estos proyectos han utilizado generalmente el método para resolver necesidades puntuales de investigación, y se han desarrollado de forma totalmente aislada los unos de los otros. Llegados a este punto parece necesario plantear una reflexión más profunda sobre el método y la pertinencia de su aplicación al estudio de los monumentos de la Prehistoria Reciente de la fachada atlántica europea. La segunda reunión del *European Megalithic Studies Group*, celebrada en Sevilla en noviembre de 2008 y que incluía una sesión sobre datación absoluta, se presentaba como el escenario ideal para proponer una reflexión en esta línea.

Es necesario dejar claro desde este momento que este trabajo no pretende, en ningún caso, realizar ningún tipo de recomendación sobre el correcto empleo de la LEO en Arqueología. Con las líneas que siguen se pretende tan sólo incitar al debate sobre su uso y potencialidad de aplicación en el contexto de las arquitecturas monumentales de la Prehistoria europea.

## 2. DATACIÓN, ARQUEOLOGÍA Y ARQUEOMETRÍA

La necesidad de ordenar el registro material del pasado ha propiciado que exista desde los inicios de la disciplina un especial interés en el establecimiento de series cronológicas precisas. Independientemente de la datación relativa por medio de la clasificación tipológica y las secuencias estratigráficas, los avances en materia de datación físico-química del registro arqueológico y su contexto sedimentario representan uno de los campos que más han influenciado el desarrollo de los estudios modernos de la Prehistoria.

Desde los comienzos del descubrimiento de la radioactividad, a inicios del siglo XX, Ernest Rutherford y Frederick Soddy plantearon la posibilidad de medir en términos cronológicos la pérdida de su intensidad en distintos elementos presentes en la naturaleza. El punto de inflexión en la aplicación de la radioactividad con fines cronológicos vino dado por el trabajo de Willard Libby y sus colaboradores (1949). Basado en un isótopo del carbono (C14) el método permitía la datación absoluta de materia orgánica con un margen de error razonable. La aplicación de este método al estudio del registro arqueológico indujo avances importantes en nuestra interpretación del pasado, llevando a algunos inves-

tigadores a hablar de una 'revolución del radiocarbono' (Renfrew, 1973). Uno de los ejemplos más paradigmáticos de los efectos de esta 'revolución' se dio precisamente en el ámbito de estudio del fenómeno megalítico de Europa occidental; la datación por radiocarbono implicó la devaluación del paradigma difusionista predominante, obligando a reformular los marcos de referencia cronológico y contextual (Renfrew, 1973; Chapman, 1985; Patton, 1993: 5; Bradley, 2009: 55).

Un paso más en el desarrollo de la datación por radiocarbono se dio a partir de inicios de los años 80 con el trabajo de R. A. Muller (1977) sobre la medición de los átomos de carbono por medio de un espectrómetro de masas. Entre las ventajas que permitió la espectrometría de masas con acelerador (*Accelerator Mass Spectrometry*, AMS) destaca la reducción en la cantidad de materia y tiempo necesarios para obtener la datación. Este avance ha sido crucial para el desarrollo de nuevas líneas de investigación en el campo de estudio del megalitismo, como es el caso de la datación directa de pinturas (Carrera Ramírez y Fábregas Valcarce, 2002; Steelman *et al.*, 2005).

Entre los otros métodos disponibles para la datación en Arqueología la termoluminiscencia (TL) ha ocupado un lugar destacado desde los años 70 del siglo XX, aunque sus principios básicos fueron formulados por F. Daniel y otros en una fecha tan temprana como 1953 (Daniel *et al.*, 1953). Inicialmente centrada en el estudio de la cerámica y de la piedra sometida a calentamiento, su generalización se debió en gran medida a la investigación desarrollada en el seno del laboratorio de la Universidad de Oxford a partir de finales de los 60 (Aitken, 1985).

Los principios de la luminiscencia están en la base de la datación LEO, ésta última sólo desarrollada a partir de los años 80 (Huntley *et al.*, 1985; Smith *et al.*, 1990). Como veremos, esta técnica está adquiriendo un creciente protagonismo en los últimos tiempos en el ámbito de la datación absoluta de materia inorgánica.

El rango cronológico de la LEO varía desde prácticamente el momento actual (unas décadas desde el presente) hasta cerca de medio millón de años (c. 500.000), más allá, por consiguiente, del rango alcanzado por el radiocarbono. Este aspecto ha hecho tradicionalmente de la luminiscencia un

método útil y ampliamente extendido para el estudio del Cuaternario.

Detrás de este proceso de desarrollo y aplicación a la Arqueología de los métodos de datación procedentes de las ciencias naturales existe una historia paralela que da cuenta de la relación entre investigadores del campo de la física y química y del campo de la historia y la arqueología. El entendimiento entre ambas partes no siempre ha sido fácil. Por un lado, los arqueólogos e historiadores han tendido en ocasiones a interpretar los resultados de los análisis físico-químicos sin considerar debidamente las particularidades y limitaciones de índole estadística, muestral y técnica a ellos vinculados. Por otro lado, los físicos y químicos no siempre han tenido un completo conocimiento de los contextos muestrales, y no han sido integrados sistemáticamente y de forma plena en el proceso de investigación.

La consolidación de esta cooperación ha de ser puesta en relación con la expansión de la Arqueometría como disciplina, un contexto en el que, además, la datación ocupa un lugar privilegiado como uno de los más importantes campos de investigación (Fig. 1). Un estudio bibliométrico recientemente publicado sobre las tendencias de la Arqueometría entre 1975 y 2000 (López-Romero y Montero Ruiz, 2006; Montero Ruiz *et al.*, 2007: 28-32) pone de manifiesto que las técnicas de análisis elemental de materiales arqueológicos (*Scanning Electron Microprobe*, *X-Ray Fluorescence*, *Neutron Activation Analysis*, *Atomic Absorption Spectrometry*, *X-Ray Diffraction*, *Optical Emission Spectroscopy*, *Proton-Induced X-Ray Emission-PIXE...*) dominan

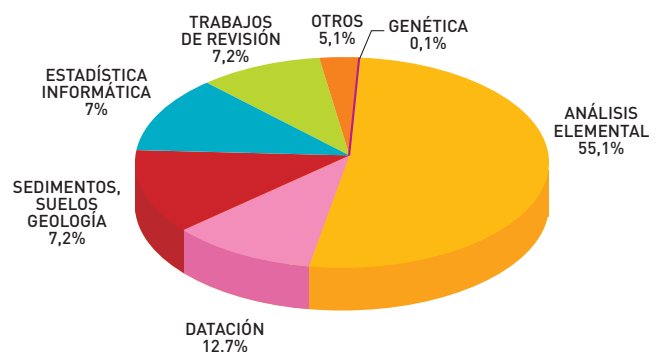


Fig. 1. Distribución temática de los trabajos de investigación en Arqueometría para el período entre 1975 y 2000; muestra de 1440 artículos [según Montero Ruiz *et al.*, 2007: 30, fig 3] // Thematic distribution of research papers within Archaeometry for the period between 1975 and 2000, on a sample of 1440 articles [after Montero Ruiz *et al.*, 2007: 30, fig 3].

ampliamente en este campo (55.1%). Los trabajos sobre datación representan un porcentaje del 12.7% del conjunto de trabajos recogidos en la muestra (n=1440). Dentro de este porcentaje, la luminiscencia predomina como el principio de datación más utilizado (38.2% de 181 trabajos sobre datación). Mientras que la mayor parte de ese porcentaje (34.3%) corresponde a dataciones por TL, sólo 7 trabajos (3.9%) se refieren a analíticas por LEO. Sin embargo, a partir de 1999 se han producido avances significativos en la datación por LEO. La gran actualidad del método puede ser estimada por medio del creciente número de artículos publicados en revistas especializadas; algunas de estas publicaciones son trabajos de revisión que subrayan y analizan el momento de inflexión en el que se encuentra la datación óptica.

Aunque TL y LEO comparten principios básicos similares, existen diferencias relevantes entre ellos. Revisaremos éstos y otros aspectos en el siguiente apartado.

### 3. LA DATACIÓN LEO: PRINCIPIOS Y TENDENCIAS ACTUALES

A diferencia de la incandescencia, la luminiscencia es la propiedad que tienen algunos cuerpos para emitir luz por mecanismos no térmicos. Dicha luz es producida por electrones que se encontraban previamente atrapados en el cuerpo y que se han liberado por medio de un estímulo. Dependiendo del tipo de energía transformada en luz la luminiscencia puede clasificarse en distintos grupos (Bluszcz, 2004: 138-139). Los métodos más comunes empleados en datación pertenecen al tipo de la radioluminiscencia, puesto que la energía emitida en forma de luz es la que se encuentra almacenada en el cuerpo por radiación ionizante. Dicha radiación se mide generalmente en cristales de cuarzo o de feldespato. Puesto que en algunos feldespatos los electrones pueden escapar de sus trampas – causando una inestabilidad generalmente denominada *anomalous fading* (Liritzis, 2000a: 5) – los cristales de cuarzo son en la actualidad usados preferentemente para la datación. Existe sin embargo una serie de consideraciones a tener en cuenta en el caso de granos de cuarzo de origen volcánico (Jacobs y Roberts, 2007: 221, cuadro 8).

A diferencia de otros principios físicos el mecanismo que rige la luminiscencia no se conoce aún con exac-

titud a nivel atómico; en ausencia de estandarización, la calibración entre laboratorios no es una tarea sencilla (Fernández Mosquera *et al.*, 2008: 207).

Tres tipos de acontecimientos pueden ser datados por medio de los métodos de luminiscencia: la última vez que un mineral se enfrió, su última exposición a la luz, y su proceso de crecimiento (cristalización) (Liritzis, 2000b: 30).

Dependiendo del estímulo que produce la liberación de la energía, podemos hablar de distintos tipos de luminiscencia. Si el estímulo es la luz comprendida dentro del rango visible del espectro electromagnético estaremos hablando de luminiscencia ópticamente estimulada; la estimulación óptica se alcanza normalmente con luz verde o azul. Si el estímulo es la luz comprendida dentro del rango infrarrojo del espectro hablaremos de luminiscencia estimulada por infrarrojo. Si el estímulo se consigue por medio del calentamiento de los cristales hablaremos de termoluminiscencia. Una vez que la energía ha sido liberada por el estímulo (p. e. exposición a la luz solar) el proceso de acumulación de la radiación comienza de nuevo, siempre y cuando el cuerpo se encuentre protegido (p. e. redeposición) de la fuente que causó la liberación de los electrones.

Como vimos con anterioridad la TL ha predominado entre los métodos de datación por luminiscencia, habiendo sido ampliamente utilizada tanto en contextos arqueológicos como geológicos. Sin embargo, la datación por LEO presenta ciertas ventajas sobre la datación tradicional por TL que han de ser tenidas en consideración para nuestra discusión. Tal y como han demostrado recientes análisis (p. e. Murray y Oley, 2002: 3; Vafiadou *et al.*, 2007) en la LEO una corta exposición a la luz es suficiente para ‘reiniciar el reloj’ de la luminiscencia; aunque pueden existir problemas relativos a una liberación sólo parcial de los electrones (*partial bleaching*) esta propiedad es una ventaja esencial de la datación óptica. Por otro lado, y a diferencia de la TL, en el caso de la LEO no es necesario que la muestra haya sido sometida a una fuente de calor, haciéndola pues preferible para el análisis de gran número de sedimentos; esto amplía de forma significativa el número de elementos datables (dunas, limos, sedimentos marinos, paleosuelos...). Avances recientes permiten la datación de una pequeña fracción (*alícuota*) de la muestra (protocolo *Single Aliquot Regenerative dose-SAR*, Murray y Wintle, 2000, y protocolo *Single Aliquot Additive dose-SAAD*), fracción



que puede incluso estar compuesta por un único grano (Feathers, 2008; Jacobs y Roberts, 2007). Este último aspecto permite el escrutinio detallado de los procesos de formación sedimentaria, reduciendo así la incertidumbre que produce la datación de depósitos mezclados o alterados.

Más allá de la datación de sedimentos, una perspectiva enormemente interesante se abre con la datación de las superficies de las rocas (Huntley y Richards, 1997; Bailiff y Mikhailik, 2003; Greilich *et al.*, 2005; Greilich y Wagner, 2006; Vafiadou *et al.*, 2007; Liritzis *et al.*, 2008). Los cuarzos y feldespatos no sólo están presentes en las rocas graníticas (granito, diorita, granodiorita, cuarzodiorita, andesita, porfirio, dacita...) sino también en rocas metamórficas y sedimentarias, lo que las hace igualmente apropiadas para la datación. El principio LEO subyacente es idéntico al del estudio de los sedimentos, y el evento datado puede estar representado por la construcción o destrucción de estructuras, la deposición de piedras o sillares, etc. Varios experimentos han permitido verificar que esta aplicación es posible, si bien una serie de procedimientos específicos han de ser tenidos en cuenta en las fases de muestreo y analítica. En este sentido se han identificado varios problemas que requieren de una mayor investigación antes de que la técnica pueda estandarizarse.

De forma similar, experimentos en la datación de señales LEO en la superficie de ladrillo (Vieilleveigne *et al.*, 2006) y mortero (Feathers *et al.*, 2008) han sido realizados con éxito.

Otra reciente y prometedora aplicación de la LEO se centra en la datación de microrestos de cuarzo asociados a actividades humanas (Susino, 2010) por medio de la combinación de estereomicroscopía, microscopía electrónica (SEM-EDX) y el protocolo LEO de *Single Aliquot Regenerative dose*. En primer lugar los microrestos se identifican por su morfología y se separan del sedimento. Durante estas fases, en las que entran en juego el microscopio y el SEM, se utilizan filtros para evitar la excitación de la muestra. A continuación se datan los elementos seleccionados. El propio autor del trabajo recalca el interés de esta aproximación para los estudios sobre arte rupestre (microrestos generados durante el proceso de piqueteado o grabado de los motivos) y en estudios sobre industria lítica (microrestos derivados del proceso de talla).

¿Cómo podemos resumir todas estas características de la LEO en términos de procesos arqueológicos? La radiación natural acumulada desde que los granos de mineral quedaron expuestos a la luz por última vez es mensurable. Cuanto más tiempo haya estado privado de luz el elemento objeto de estudio mayor será la radiación en él presente. La exposición a la luz previa a la deposición reinicia ('resetea') a valores próximos a cero la señal LEO adquirida, y cuando la luz solar no llega al elemento analizado (por ejemplo por medio de la deposición) esta radiación vuelve a acumularse progresivamente; el ritmo de acumulación depende de la sensibilidad del material y de la radiación que llega a los cristales. El cálculo de estos componentes (radiación ionizante total absorbida desde el último momento de reinicio de la señal, y ritmo de acumulación) permite fechar la última vez que un cuerpo – sedimento natural, suelo arqueológico, objeto... – fue expuesto a la luz solar:

$$Edad (ka) = Dosis\ equivalente\ (Gy) / ritmo\ de\ dosificación\ (Gy/ka)$$

La edad aparece expresada en miles de años (ka) desde el presente, la dosis equivalente (una magnitud de la radiación) es medida en *grays* (Gy) y el ritmo de la dosificación en *grays* por miles de años (Gy/ka).

En los casos en que puede aplicarse, la LEO y otros métodos basados en la luminiscencia permiten – a diferencia de los métodos sobre materiales orgánicos – la datación directa del elemento arqueológico estudiado o la de su contexto deposicional. Este punto es importante puesto que la interpretación sobre la cronología es directa y no requiere de hipótesis vinculadas a la correlación espacial.

Teniendo en cuenta los progresos recientes en los métodos de datación por luminiscencia (avances en instrumentación, en el mineral preferente para la datación, y en el protocolo de *single-aliquot*) el error en el cálculo de la edad puede estimarse en torno al 5-8%. Este error global es el resultado de la acumulación de incertidumbres a lo largo del proceso analítico (Murray y Oley, 2002: 14). El cálculo de la dosis equivalente, las diferencias en la dosis equivalente dentro de una misma muestra, o el grado de humedad (que afecta a la radiación ionizante) son algunos de los factores que más influyen en la precisión. Este nivel de error puede provocar reticencias en el uso de la LEO en determinados supuestos arqueológicos, en especial si se compara con el alto

grado de precisión que ofrecen por ejemplo los actuales procedimientos de datación radiocarbónica. A este respecto, se ha incidido insistentemente en la necesidad de llevar a cabo estudios comparativos entre las fechas obtenidas por luminiscencia y las fechas obtenidas por otros métodos independientes (Wintle y Huntley, 1982). Trabajos tanto antiguos como recientes han presentado comparaciones de este tipo; a pesar de que se han podido identificar coincidencias significativas (Porat *et al.*, 2006: 1353; Fuchs y Wagner, 2005), las diferencias en los eventos datados pueden en ocasiones condicionar la interpretación (Richter *et al.*, 2009: 717).

Las tendencias actuales que guían el desarrollo del método están privilegiando la investigación de nuevas señales del cuarzo y de los feldespatos que permitan la ampliación del rango de edad fechable, están introduciendo la estadística bayesiana, y están buscando procedimientos adecuados para datar otro tipo de minerales (Wintle, 2008: 300-303). Por otro lado, puede decirse que mientras que los protocolos de la LEO se encuentran sólidamente establecidos para el análisis de sedimentos, la datación directa de las superficies de las rocas necesita un mayor grado de desarrollo y experimentación.

#### 4. DATACIÓN LEO DE MONUMENTOS MEGALÍTICOS: APLICACIONES

Teniendo en cuenta las propiedades óptico-luminiscentes arriba mencionadas de algunos minerales, al menos dos de las tres aplicaciones principales de la LEO (la datación de sedimentos y la datación de la superficie de determinados tipos de roca) parecen altamente susceptibles de ser integradas al estudio de los monumentos megalíticos de la Europa atlántica. De hecho, como ha quedado mencionado al principio de este trabajo, ya se han producido algunos estudios en este sentido. A pesar de su muy reciente planteamiento la cuestión de la datación directa de los microrestos de cuarzo puede ser igualmente discutida en este contexto.

##### 4.1. SEDIMENTOS

La datación por LEO de sedimentos ha demostrado ser relevante para la investigación del Cuaternario, arrojando luz, por ejemplo, en el estudio de los humanos modernos (Roberts, 1997: 828). En ámbitos

en los que la datación por radiocarbono no es aplicable los investigadores que ya habían trabajado con otros métodos de luminiscencia (fundamentalmente con TL) han ensayado con bastante prontitud la LEO, en un intento por obtener marcos de referencia cronológica más precisas y más fiables para el Pleistoceno. En el caso del período Holoceno las limitaciones analíticas son diferentes. La datación por medio del radiocarbono sobre elementos orgánicos como el carbón o el hueso es posible y es la preferentemente utilizada. El caso concreto del estudio megalitismo europeo ha seguido claramente esta tendencia, y algunos avances clave en su conocimiento se deben en buena parte a los estándares cronológicos propiciados por el C14. Pese a ello existen algunas cuestiones sobre datación e interpretación del fenómeno en las que la datación por LEO de sedimentos – tanto en su estado actual como de forma potencial – puede resultar de ayuda.

Varios tipos de procesos de formación de sedimentos han de ser considerados a este respecto. En primer lugar, existen sedimentos alterados por la actividad humana. Los sedimentos naturales presentes en los suelos o en el sustrato pueden ser puestos al descubierto, revueltos y expuestos a la luz solar a causa de diferentes procesos constructivos. A continuación estos sedimentos pueden ser retirados, pero pueden también ser reincorporados (p. e. como relleno en fosas de implantación de ortostatos, o como elemento constructivo en los túmulos) en la estructura en cuestión. Otros sedimentos pueden ser traídos desde una cierta distancia para jugar un papel estructural o simbólico en la configuración final del monumento (p. e. sedimentos de una textura o color determinados para formar parte de los túmulos); durante su extracción, transporte y tratamiento la señal LEO de estos sedimentos es susceptible de ser reiniciada a causa de la luz solar. A pesar del enorme interés de este tipo procesos de alteración de sedimentos es necesario señalar que muchos de ellos pueden resultar poco apropiados para la datación debido a que el proceso de reinicio de la señal de las fracciones de cuarzo y feldespato puede haber sido sólo parcial. Dicho de otro modo, no todos los granos del sedimento habrían sido expuestos de la misma forma a la luz; en términos cronológicos esto resultaría muy probablemente en una fecha LEO más antigua de lo esperado. La aplicación del procedimiento *Single-aliquot regenerative* (SAR) y, más propiamente, el análisis individual de los granos de mineral podría proporcionar valiosas

indicaciones a la hora de evaluar este tipo de contextos. El análisis detallado de la señal LEO obtenida y la aplicación de varios procedimientos estadísticos se utilizan igualmente para paliar el efecto del reinicio parcial en la edad LEO.

En segundo lugar, la deposición sedimentaria como resultado de procesos naturales puede estar presente en los yacimientos objeto de estudio. Diversos procesos postdeposicionales afectan a la formación de los yacimientos en diferentes momentos y a distinto ritmo. A pesar de que algunos de estos procesos pueden afectar de forma negativa al registro arqueológico, no es menos cierto que son igualmente susceptibles de ser leídos en términos arqueológicos en el contexto de la evolución, alteración, preservación y, en suma, diacronía de los monumentos. Los sedimentos de origen fluvial pueden en ocasiones sellar por completo algunos monumentos (p. e. Villoch Vázquez, 1998: 109), ya sea por deposición progresiva o súbita. Los procesos eólicos de erosión y sedimentación son especialmente activos en las áreas costeras, en las que las formaciones de dunas se encuentran a menudo presentes (p. e. Large y Mens, 2008); debido a que el agente responsable del transporte de este tipo de sedimentos es el viento, y puesto que este transporte puede implicar el desplazamiento a largas distancias, el reinicio de la señal LEO es más probable. No es, pues, de extrañar que este contexto sedimentario sea uno de los más apropiados para la datación por LEO (Murray y Oley, 2002: 3). Diferentes depósitos de origen marino pueden encontrarse igualmente en el contexto de la investigación de los monumentos europeos. El análisis de este tipo de muestra ha sido menos estudiado que el precedente, pero algunos resultados parecen demostrar que el reinicio de la señal LEO también se produce en estos sedimentos. Cada uno de estos casos de estudio debe no obstante ser analizado en su contexto particular. En esta línea, merece la pena subrayar que los sedimentos fluviales y marinos se ven influenciados por el efecto limitador que el agua tiene en el proceso de absorción de la radiación ionizante. El contenido en agua influye igualmente en los sedimentos continentales, aunque en ese caso esas limitaciones operan evidentemente a una escala muy distinta.

En tercer lugar, es frecuente encontrar durante el proceso de excavación sedimentos alterados por bioturbación. Como en el caso de la datación por

radiocarbono, el estudio detallado del contexto es esencial antes de proceder a la recogida de muestras, ya que estos procesos producen alteraciones en el registro y pueden proporcionar fechas recientes. Sin embargo, la datación por LEO de tales procesos de bioturbación puede ayudar en la comprensión de los procesos de formación del registro y de la naturaleza de las secuencias presentes en los yacimientos.

## 4.2. DATACIÓN DE SUPERFICIES

Una de las aplicaciones más prometedoras de la LEO para el estudio del fenómeno megalítico es sin duda la de la datación de la superficie de las rocas. A pesar de compartir los mismos principios que la LEO de sedimentos, la datación de la superficie de las rocas se enfrenta a tres problemas fundamentales: el cálculo del índice de penetración de la luz en el mineral datado, la dificultad para separar las fracciones de cuarzo o feldespato de la matriz pétreo, y el hecho de que una superficie representa un límite de contacto entre dos medios diferentes (Greilich *et al.*, 2005: 647).

Pocos ensayos de datación de superficies han sido realizados hasta el momento, pero el principio de análisis espacial de las superficies ha sido ya postulado (*spatially resolved dating*; Bailiff y Mikhailik, 2003; Greilich y Wagner, 2006;); este aspecto resuelve – al menos parcialmente – el segundo de los condicionantes arriba señalados. La mayoría de estos ensayos han sido realizados sobre superficies graníticas, aunque Liritzis *et al.* (2008) han fechado calizas en varios casos de estudio.

En el supuesto de que la metodología de datación de superficies sea mejorada y pueda ser estandarizada la perspectiva para el estudio del megalitismo es indudable. La datación directa del sustrato rocoso expuesto a la luz durante los procesos constructivos, la datación de la base de los ortostatos y menhires, e incluso la datación de los túmulos pétreos y muros de piedra seca – por sólo citar algunos posibles ejemplos – sería de este modo posible. Es seguramente en el caso de los monumentos de tipo menhir – de los que menos información disponemos por medio de los procedimientos tradicionales – en los que esta técnica encontraría su más ventajosa aplicación. Como también ha quedado dicho en el caso de la datación de sedimentos, no hemos de infrava-

lorar el papel que la datación LEO de las superficies tendría en la comprensión de las secuencias constructivas en monumentos complejos.

### 4.3. MICRORESTOS DE CUARZO

Pese a que, como comentábamos, se trata de una aproximación muy reciente (Susino, 2010) merece la pena detenerse brevemente sobre las posibles aplicaciones de esta propuesta. En el estudio de las arquitecturas monumentales de la prehistoria europea esta perspectiva tendría dos tipos muy diferentes de aplicación: el estudio cronológico del arte megalítico y el análisis de las actividades de talla relacionadas con los monumentos. En primer lugar, la identificación y datación de los microrestos relacionados con el arte megalítico – para aquellos motivos obtenidos fundamentalmente por piqueteado – sería potencialmente posible para rocas con fracciones de cuarzo o feldspatos (p. e. graníticas). Un primer paso a favor de esta potencialidad viene dado por el análisis tecnológico de las marcas de micropercusión (estudio de los negativos de lascado fruto del proceso de piqueteado), que ya ha sido aplicado al arte megalítico europeo en varias ocasiones y que ha permitido la lectura de la secuencia de los motivos en términos de cronología relativa (Mens, 2004, 2006). La correcta identificación y datación de este tipo de evento tendría obviamente implicaciones importantes, y sería altamente adecuado para el arte al aire libre. En lo que se refiere a los monumentos propiamente dichos, el hallazgo de los microrestos derivados del proceso de piqueteado estaría notablemente limitado por al menos dos factores: la generalmente mala preservación de los depósitos arqueológicos de los monumentos que han llegado hasta nosotros y las sospechas de que – al menos en algunos casos – la decoración pudo ser realizada con anterioridad a su emplazamiento final en el monumento. En segundo lugar, en lo que respecta al proceso de talla lítica, la datación de un objeto y de sus restos relacionados elimina una de las ventajas principales de la datación por LEO de sedimentos y superficies, a saber, la datación de un acontecimiento o evento en lugar de un elemento a éste asociado. En todo caso, esta aproximación constituye una nueva alternativa de datación absoluta en con-

textos con ausencia de material orgánico. Se necesitan muchas más aplicaciones en este caso concreto antes de que podamos evaluar con fiabilidad su adecuación para ésta y otras áreas de investigación.

### 5. DATACIÓN LEO DE MONUMENTOS MEGALÍTICOS: PROYECTOS

A pesar de la larga tradición en el empleo de la datación por luminiscencia en arqueología, y a pesar del notable incremento en las publicaciones y aplicaciones de la LEO en la última década, muy pocos proyectos han emprendido por el momento el análisis del fenómeno megalítico utilizando dicho método.

La más temprana aplicación de la LEO al estudio del megalitismo europeo es el estudio de D. Calado sobre el menhir de Quinta da Queimada en el sur de Portugal (Calado, 2000; Calado *et al.*, 2003). Se obtuvieron dos dataciones para este yacimiento, una en la parte superior de la gruesa capa de sedimentos que sellaba la fosa de implantación y otra en la fosa propiamente dicha. La primera proporcionó una fecha en la transición entre el V y el IV milenio ANE (Shfd 2013: 5925± 175), mientras que la segunda resultó ser más antigua de lo esperado (Shfd 2014: 9095 ±445). Pese a que se especifica que ambas fechas se obtuvieron a partir de sedimentos, en las publicaciones no se ofrece ninguna precisión sobre el modo de recogida de las muestras, sobre su estado y tratamiento ni sobre los procesos analíticos empleados<sup>1</sup>. Los autores toman la primera de las fechas como representativa de un horizonte *ante quem* de la erección del menhir, pero en una publicación posterior (Nocete Calvo *et al.*, 2004: 11) se refieren únicamente a la segunda para defender un modelo de alta complejidad social y territorial en el contexto de las últimas sociedades de cazadores-recolectores del suroeste de la Península Ibérica. Esta propuesta tiene mayores implicaciones (Nocete Calvo, 2001) y ha sido ampliamente criticada desde distintos ámbitos de la investigación. En lo que respecta únicamente ahora a la aplicación de la LEO, y en ausencia de datos precisos sobre los procesos específicos que se emplearon, es muy probable que la muestra del sedimento analizado pudiese contener granos sólo parcialmente expuestos al estímulo

<sup>1</sup> Existen únicamente referencias a un informe inédito de la Universidad de Sheffield elaborado por Bateman (2002).



óptico y, por tanto, con una señal LEO remanente – más antigua –. Este punto podría ser verificado en la actualidad a través de los métodos disponibles (p. e. análisis de los granos individuales) si parte de la muestra original ha sido conservada en el laboratorio responsable de la datación.

El *Instituto Universitario de Xeoloxía Isidro Parga Pondal* (La Coruña) en colaboración con el *Instituto Tecnológico e Nuclear* (ITN) de Lisboa ha realizado la datación por LEO de una necrópolis neolítica en Portugal (comunicación personal de D. Fernández Mosquera y J. Sanjurjo Sánchez). Véase igualmente <http://kalamata.uop.gr/~lais2009/>. Seis muestras de sedimento fueron tomadas a diferentes profundidades en dos hipogeos de la necrópolis de Sobreira da Cima (distrito de Beja). Para el cálculo de la dosis equivalente se aplicó el protocolo SAR, observándose diferencias entre las fechas LEO y fechas C14 obtenidas con anterioridad. Puesto que no se encontraron evidencias de exposición parcial de los sedimentos, los autores sugieren que dichas diferencias pueden deberse a un desequilibrio no detectado en las series de desintegración del uranio ( $^{238}\text{U}$ ).

Otras aplicaciones han sido llevadas recientemente a cabo por C. Scarre (Durham University, com. pers.) en el monumento de corredor de Anta da Lajinha (Maçao, Portugal). A partir de sedimentos del túmulo, de la cámara y de depósitos superiores del corredor varias dataciones fueron obtenidas y procesadas en 2006 por el ITN en Lisboa (véase <http://www.dur.ac.uk/archaeology/research/projects/>). Otras investigaciones en curso por parte de este mismo investigador incluyen la datación por LEO del paisaje megalítico de la isla de Herm, perteneciente al conjunto de islas anglonormandas (<http://www.dur.ac.uk/herm.project/>). Un aspecto interesante de este proyecto tiene que ver con el contexto ambiental y geográfico, una llanura de baja altitud rodeada por dunas y cubierta por arena procedente de la costa. Estos sedimentos han preservado los niveles de ocupación neolíticos, y permitirán la comprensión de los procesos de formación diacrónica del paisaje y su relación con los monumentos de la isla.

Una de las aplicaciones de la LEO al estudio del fenómeno megalítico que mayor impacto ha tenido ha sido sin duda la de la datación de la *Cove Stone* del monumento de Avebury en Inglaterra (Gillings *et al.*, 2008: capítulo 4). Una muestra de sedimento de

los depósitos de la fosa de implantación de la *Stone 2* proporcionó una edad estimada de  $3120 \pm 350$  ANE (protocolo SAR). Durante el proceso de datación se identificaron varios picos de intensidad que podrían corresponder tanto con granos parcialmente expuestos (más antiguos) como con granos intrusivos (más recientes) (Gillings *et al.*, 2008: 165). Además de esto, la muestra tenía un alto contenido en agua. A pesar de que estos condicionantes afectan a la precisión del resultado y han de ser tenidos en cuenta, los resultados globales parecen sólidos, permitiendo situar la construcción de *the Cove* en un momento inicial de la secuencia constructiva del megalitismo en la región.

La investigación de los conjuntos de menhires de pequeño tamaño de Exmoor (Reino Unido) ha sido desarrollada por un equipo de las universidades de Leicester y Bristol (Gillings *et al.*, 2007, 2009). La adscripción cronológica de los bloques de esta región ha planteado tradicionalmente problemas. El descubrimiento de depósitos inalterados en la base del menhir I de Lanacombe permitía ensayar la datación por LEO para obtener una primera datación absoluta. Por otro lado, la identificación durante la campaña de 2009 de objetos de cuarzo en varios depósitos ha conducido a los autores a proponer su posible datación directa por LEO (Gillings *et al.*, 2009: 29). Este aspecto es en parte convergente con la anteriormente mencionada propuesta de datación de microrestos de cuarzo.

En Francia, el alineamiento de Le Pilier (Gâvre, Loire Atlantique) está compuesto por 85 bloques de cuarzo y de cuarcita. El alineamiento se extiende a lo largo de cerca de un kilómetro siguiendo un eje NW-SW (Boujot *et al.*, 2009). Se ha iniciado una colaboración entre el equipo dirigido por S. Cassen (*UMR6566-Université de Nantes*) y el dirigido por P. Guibert (*Centre de Recherche en Physique Appliquée à l'Archéologie, CRPAA*) para desarrollar la datación directa de la superficie de las rocas por LEO. En 2008 se tomaron las primeras muestras de las superficies de los bloques del alineamiento así como medidas sobre la dosis anual de radiación (Boujot *et al.*, 2009: 9).

Por medio de este breve enunciado, por lo demás parcial, queda de manifiesto que la mayoría de los proyectos citados están aún en curso o no han sido objeto de una publicación detallada. Intentar proporcionar una visión global de las dataciones de LEO para el fenómeno megalítico occidental sobre esta

base es, evidentemente, un ejercicio aún imposible. La comparación con otras fechas (fundamentalmente obtenidas por C14) está por el momento ofreciendo el mejor marco de referencia para evaluar los resultados obtenidos.

## 6. CONCLUSIONES

La LEO se ha convertido en un método fiable para la datación de formaciones sedimentarias y ha proporcionado resultados significativos para la investigación de las fases antiguas del período Cuaternario.

Pese a que los proyectos en curso sobre los monumentos de la fachada atlántica europea son escasos, el rango de aplicaciones y problemas relacionados con el empleo de la LEO aparecen perfectamente reflejados en ellos. La datación de sedimentos y el muestreo preliminar para la datación de superficies han sido realizados en la Península Ibérica, en el Reino Unido o en Francia. Esto ha sido hecho tanto para el estudio de los monumentos de carácter tumular como para los monumentos de tipo menhir. La toma de conciencia sobre el método por parte de algunos investigadores está igualmente anticipando futuras aplicaciones (p. e. análisis de objetos de la cultura material, análisis de micro-restos); esta predisposición es especialmente importante puesto que vaticina una permeabilidad y una perspectiva de colaboración en este campo entre arqueólogos y especialistas del ámbito de la arqueometría.

Problemas relativos al contexto sedimentario datado, a la presencia de muestras sólo parcialmente expuestas, al cálculo de la dosis anual de la radiación y al contenido en agua han sido igualmente descritos, identificados y abordados. Tal y como los autores responsables de la datación de la *Cove Stone* en Avebury expresan, “*Clearly, there is significant scope for further OSL dating of similar contexts, and good potential to derive more robust age estimates for this and other megalithic monuments*” (Rhodes y Schwenninger, en Gillings *et al.*, 2008: 165).

A pesar de los problemas citados y del relativamente elevado margen de error en la estimación de las fechas por LEO la potencialidad del método es innegable. Las perspectivas de investigación y los avances logrados en los últimos años apuntan, además, a mejoras futuras a medio y largo plazo. Es importante señalar, como hacen Z. Jacobs y R. G.

Roberts (2007: 221) que “*most of the major advances made in single-grain dating over the past decade have taken place in the context of archaeological applications*”. Esta afirmación no sólo se aplica a la LEO. La investigación arqueológica constituye incontestablemente un vector importante en el desarrollo científico y en la innovación tecnológica. Debemos tener en cuenta que no sólo podemos ser usuarios de una metodología determinada sino que, además, podemos actuar como agentes activos en su proceso de desarrollo y perfeccionamiento. A causa de las cuestiones que se plantean, y teniendo presente el actual contexto de la investigación, el estudio por LEO de las arquitecturas monumentales de la Europa occidental puede constituir uno de los campos con mayor proyección para el desarrollo de esta perspectiva.

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer al Prof. C. Scarre (Durham University), al Dr. M. Gillings (University of Leicester), y a los Drs. D. Fernández Mosquera y J. Sanjurjo Sánchez (Instituto Universitario de Xeoloxía Isidro Parga Pondal) las informaciones proporcionadas sobre sus respectivos proyectos de investigación. Gracias igualmente a los Drs. D. Fernández Mosquera y J. Sanjurjo Sánchez por sus valiosos comentarios y precisiones sobre el texto. Cualquier error u omisión es responsabilidad única del firmante.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AITKEN, M. J. (1985): *Thermoluminescence dating*, Academic Press, Londres.
- BAILIFF, I. K. y MIKHAILIK, V. B. (2003): “Spatially-resolved measurement of optically stimulated luminescence and time-resolved luminescence”, *Radiation Measurements* 37, pp. 151-159.
- BLUSZCZ, A. (2004): “OSL dating in Archaeology”, *Impact of the Environment on Human Migration in Eurasia*, (Scott, E.M., Alekseev, A.Y. y Zaitseva, G. editores), NATO Science Series IV, Earth and Environmental Sciences 42, pp. 137-149.
- BOUJOT, C., CASSEN, S., BALTZER, A., BONNIOL, D., CHAIGNEAU, C., DARDIGNAC, C., FRANÇOIS, P., GUIBERT, P., HINGUANT, S., LANOS, P., LE ROUX, V. E., LORIN, A., MARGUERIE, D., MENIER, D. y ROBIN, G. (2009) : “Recherches archéologiques en cours sur les ouvrages de pierres dressées en Armorique-sud”, *Journée du CReAAH Archéologie Archéosciences*

- Histoire*, (Rennes, 2009), pp. 6-11.
- BRADLEY, R. (2009): *Image and audience: rethinking prehistoric art*, Oxford University Press, Oxford-New York
- BRONK RAMSEY, C. (2008): "Radiocarbon dating: revolutions in understanding", *Archaeometry* 50 (2), pp. 249-275.
- CALADO, D. (2000): "Poblados con menhires del extremo SW peninsular. Notas para su cronología y economía. Una aproximación cuantitativa", *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social* 3, pp. 47-99.
- CALADO, D., NIETO LIÑÁN, J. M. y NOCETE CALVO, F. (2003): "Quinta da Queimada, Lagos, Portugal. Datação do momento de erecção de um monumento megalítico através da luminescência óptica de cristais de quartzo [OSL]", *V Congreso Ibérico de Arqueometría. Libro de Resúmenes de Actas* (Puerto de Santa María, Cádiz), pp. 167-168.
- CARRERA RAMÍREZ, F. y FÁBREGAS VALCARCE, R. (2002): "Datación radiocarbónica de pinturas megalíticas del noroeste peninsular", *Trabajos de Prehistoria*, 59 (1), pp. 157-166.
- CHAPMAN, R. W. (1985): "Ten years after – Megaliths, mortuary practices and the territorial model", *Regional approaches to mortuary ritual* (Beck, L. A., editor), Plenum Press, New York, pp. 29-51.
- FEATHERS, J. K. (2003): "Use of luminescence dating in archaeology", *Measurement Science and Technology* 14, pp. 1493-1509.
- FEATHERS, J. K.; JOHNSON, J. y RODRÍGUEZ KEMBEL, S. (2008): "Luminescence dating of monumental stone architecture at Chavín De Huántar, Perú", *Journal of Archaeological Method and Theory* 15, pp. 266-296.
- FERNÁNDEZ MOSQUERA, D.; DIAS, M. I.; SANJURJO SÁNCHEZ, J.; FRANCO, D.; CARDOSO, G. y PRUDENCIO, M. I. (2008): "Datación absoluta por luminiscencia de material arqueológico: una experiencia ibérica de calibración inter-laboratorios", *Actas del VII Congreso Ibérico de Arqueometría, Madrid 8-10 de octubre de 2007*, (Rovira Llorens, S., García Heras, M., Gener Moret, M. y Montero Ruiz, I., editores), Madrid, pp. 204-210.
- FUCHS, M. y WAGNER, G. A. (2005): "The chronostratigraphy and geoarchaeological significance of an alluvial geoarchive: comparative OSL and AMS <sup>14</sup>C dating from Greece", *Archaeometry* 47 (4), pp. 849-860.
- GILLINGS, M.; POLLARD, J. y TAYLOR, J. (2007): *Excavation and Survey at the Stone Settings of Lanacombe I and III*, University of Leicester (recurso on-line), 37p. <http://www2.le.ac.uk/departments/archaeology/people/gillings/documents/lanacombe-2007-survey-excavation-report.pdf>
- GILLINGS, M.; POLLARD, J.; WHEATLEY, D. W. y PETERSON, R. (2008): *Landscape of the Megaliths: excavation and fieldwork on the Avebury monuments, 1997-2003*, Oxbow Books, Oxford.
- GILLINGS, M.; TAYLOR, J. y POLLARD, J. (2009): *The Miniliths of Exmoor Project: report on the 2009 excavations*, University of Leicester (recurso on-line), 37p. <http://www2.le.ac.uk/departments/archaeology/people/gillings/documents/lanacombe-2009-report.pdf>
- GREILICH, S., GLASMACHER, U. A., y WAGNER, G. A. (2005): "Optical dating of granitic stone surfaces", *Archaeometry* 47, pp. 645-65.
- GREILICH, S. y WAGNER, G. A. (2006): "Development of a spatially resolved dating technique using HR-OSL", *Radiation Measurements* 41, pp. 738-743.
- HUNTLEY, D. J.; GODFREY-SMITH, D. I. y THEWALT, M. L. W. (1985): "Optical dating of sediments", *Nature* 313, pp. 105-107.
- HUNTLEY, D. J. y RICHARDS, M. (1997): "The age of the Diring Quriakh archaeological site", *Ancient TL* 15 (2-3), pp. 48-51.
- JACOBS, Z. y ROBERTS, R. G. (2007): "Advances in Optically Stimulated Luminescence dating of individual grains of quartz from archeological deposits", *Evolutionary Anthropology* 16, pp. 210-223.
- LARGE, J.-M. y MENS, E. (2008): "L'alignement du Douet à Hoedic (Morbihan, France)". *L'Anthropologie* 112, pp. 544-571.
- LIBBY, W. F., ANDERSON, E. C., y ARNOLD, J. R. (1949): "Age determination by radiocarbon content: world-wide assay of natural radiocarbon", *Science* 109 (2827), pp. 227-228.
- LIRITZIS, I. (2000a): "Advances in thermo- and optoluminescence dating of environmental materials (Sedimentary Deposits). Part I: Techniques", *Global Nest: the International Journal* 2 (1), pp. 3-27.
- LIRITZIS, I. (2000b): "Advances in thermo- and optoluminescence dating of environmental materials (Sedimentary Deposits). Part II: Applications", *Global Nest: the International Journal* 2 (1), pp. 29-49.
- LIRITZIS, I.; SIDERIS, C.; VAFIADOU, A. y MITSIS, J. (2008): "Mineralogical, petrological and radioactivity aspects of some building material from Egyptian Old Kingdom monuments", *Journal of Cultural Heritage* 9, pp. 1-13.
- LÓPEZ-ROMERO, E. y MONTERO RUIZ, I. (2006): "Archaeometry and the international evolution of studies on metallurgy: a bibliometrical perspective", *34th Internacional Symposium on Archaeometry*. Institución Fernando el Católico,

- Zaragoza, pp. 195-200.
- MARCHAND, G., DUPONT, C., OBERLIN, C. y DEL-QUEKOLIC, E. (2009) : "Entre 'effet réservoir' et 'effet de plateau': la difficile datation du mésolithique de Bretagne", *Proceedings of the international congress "Chronology and Evolution in the Mesolithic of NW Europe" (Brussels, May 30 - June 1, 2007)*, (Crombé, P., Van Strydonck, M., Sergeant, J., Bats, M. y Boudin, M. editores), Cambridge Scholar Publishing, pp. 307-335.
- MENS E. (2004): "Des crosses transformées en haches dans l'art néolithique armoricain: l'exemple du signe D de Dissignac (Saint-Nazaire, Loire-Atlantique, France)", *L'Anthropologie* 108, pp. 121-136.
- MENS E. (2006): "Méthodologie de l'étude technologique des gravures néolithiques armoricaines", *Origine et développement du mégalithisme de l'ouest de l'Europe. Actes du Colloque international (26-30 octobre 2002)*, (Joussaume, R., Scarre, C. y Laporte, L., editores), Musée des Tumulus de Bougon, pp. 152-155.
- MONTERO RUIZ, I., GARCÍA HERAS, M. y LÓPEZ-ROMERO, E. (2007): "Arqueometría: cambios y tendencias actuales", *Trabajos de Prehistoria* 64 (1), pp. 23-40.
- MULLER, R. A. (1977): "Radioisotope dating with a cyclotron", *Science* 196 (4289), pp. 489-494.
- MURRAY, A. S. y OLEY, J. M. (2002): "Precision and accuracy in the optically stimulated luminescence dating of sedimentary quartz: a status review", *Geochronometria Journal on Methods and Applications of Absolute Chronology* 21, pp. 1-16.
- MURRAY, A. S. y WINTLE, A. G. (2000): "Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol", *Radiation Measurements* 32, pp. 57-73.
- NOCETE CALVO, F. (2001): *III Milenio a.n.e.: relaciones y contradicciones centro/periferia en el Valle del Guadalquivir*, Bellaterra, Barcelona.
- NOCETE CALVO, F.; MARTÍN SOCAS, D.; CÁMALICH MASSIEU, M. D. y CALADO, D. 2004: "Noves perspectives per a la explicació de les primeres societats sedentaries al sud-oest peninsular", *Cota Zero* 19, pp. 10-12.
- OLIN J. S. (ed.) (1982): *Future Directions in Archaeometry. A Round Table*, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.
- PATTON, M. (1993): *Statements in stone: monuments and society in Neolithic Brittany*, Routledge, London y New York.
- PORAT, N.; ROSEN, S. A.; BOARETTO, E. y AVNI, Y. (2006): "Dating the Ramat Saharonim Late Neolithic desert cult site", *Journal of Archaeological Science* 33, pp. 1341-1355.
- RENFREW, C. (1973): *Before Civilisation; the radio-carbon revolution and prehistoric Europe*, Jonathan Cape, London.
- RICHTER, D.; TOSTEVIN, G.; SKRDLA, P. y DAVIES, W. (2009): "New radiometric ages for the Early Upper Palaeolithic type locality of Brno-Bohunice (Czech Republic): comparison of OSL, IRSL, TL and <sup>14</sup>C dating results", *Journal of Archaeological Science* 36, pp. 708-720.
- ROBERTS, R. (1997): "Luminescence dating in archaeology: from origins to optical", *Radiation Measurements* 27 (5-6), pp. 819-892.
- SMITH, B. W., RHODES, E. J., STOKES, S., SPOONER, N. A. y AITKEN, M. J. (1990): "Optical dating of sediments", *Archaeometry* 32, pp. 19-31.
- SOARES, A. (2004): "Identificação e caracterização de eventos climáticos na costa portuguesa, entre o final do Plistocénico e os tempos históricos. O papel do radiocarbono", *Evolução geohistórica do litoral português e fenómenos correlativos. Geologia, História, Arqueologia e Climatologia*, (Tavares A. A., Ferro Tavares, M. J. y Cardoso, J. L., editores), Universidade Aberta, Lisboa, pp. 171-200.
- STEELMAN, K. L., CARRERA RAMÍREZ, F., FÁBREGAS VALCARCE, R., GUILDERSON, T. y ROWE, M. W. (2005): "Direct radiocarbon dating of megalithic paints from north-west Iberia", *Antiquity* 79 (304), pp. 379-389.
- SUSINO, G. J. (2010): "Optical dating and lithic microwaste: Archaeological applications", *Quaternary Geochronology* 5, pp. 306-310.
- VAFIADOU, A., MURRAY, A. S. y LIRITZIS, I. (2007): "Optically stimulated luminescence (OSL) dating investigations of rock and underlying soil from three case studies", *Journal of Archaeological Science* 34, 1659 - 1669.
- VIEILLEVIGNE, E.; GUIBER, P.; ZUCCARELLO, R. y BECHTEL, F. (2006): "The potential of optically stimulated luminescence for medieval building; A case study at Termez, Uzbekistan", *Radiation Measurements* 41 (7-8), pp. 991-994.
- VILLOCH VÁZQUEZ, V. (1998): "Un nuevo menhir en Cristal", *Gallaecia* 17, pp. 107-119.
- WINTLE, A. G. (2008): "Fifty years of Luminescence dating", *Archaeometry* 50 (2), pp. 276-312.
- WINTLE, A. G. y HUNTLEY, D. J. (1982): "Thermoluminescence dating of sediments", *Quaternary Science Reviews* 1, pp. 31-53.
- ZILHÃO, J. (2004): "Radiocarbon evidence for maritime pioneer colonization of the origins of farming in west Mediterranean Europe", *The Mesolithic of the Atlantic Façade: Proceedings of the Santander Symposium, Anthropological Research Papers* 55, (Clark, G. A. y González Morales, M., editores), Arizona State University, Tempe, pp. 121-132.



## OSL DATING OF MEGALITHIC MONUMENTS: CONTEXT AND PERSPECTIVES

### 1. INTRODUCTION

Radiocarbon occupies an important place among physicochemical methods for absolute dating. In the context of the Late Prehistory monuments of the European Atlantic façade this role is especially relevant, for it has been applied regularly since an early stage of its development, significantly contributing to the shift of the previously prevailing paradigm. However, Radiocarbon dating of megalithic monuments faces several constraints which have generated debate in the last decades. On the one hand, acid soils which are present in several regions of the study area make macroscopic organic matter disappear. On the other hand, where such organic matter has been preserved several issues arise. Firstly, with some exceptions (i. e. direct dating of megalithic paintings; Carrera Ramírez and Fábregas Valcarce 2002; Steelman *et al.*, 2005), the elements dated are organic items spatially related to the structures. Secondly, it has been argued (i. e. Zilhão 2004) that many dates should be discarded as they rely on charcoal samples which might come from long-life vegetal species. Thirdly, dating of human bones and the relationship between deposition and architecture is not straightforward for it highly depends on taphonomic and post-depositional processes. Last but not least, dating on shell and bone in coastal contexts is biased by the generally lower C14 concentration of the sea (Marchand *et al.*, 2009: 305; Bronk Ramsey, 2008: 252; Soares, 2004).

In the last few years, the availability of new and improved archaeometric techniques is allowing new approaches to these problems. *Optically Stimulated Luminescence* (OSL) dating of sediments is probably one of the most appropriate examples of this. Several projects dealing with the study of the megalithic phenomenon and involving OSL dating have been recently initiated in different parts of Europe. These projects have usually implemented OSL for solving specific research needs, and have been developed in isolation from each other. At this point, a wider reflection on the method and on its suitability for the study of the Later Prehistoric European monuments becomes necessary. The second European Megalithic Studies Group Meeting, held in Seville and which included a session on

absolute chronology, was the ideal scenario for initiating such a reflection.

This paper does not in any way intend to serve as a kind of user's guide for OSL, nor even to recommend any good manner in its use in Archaeology. It just pretends to incite debate about its use and possibilities in the context of European prehistoric monumental architectures.

### 2. DATING, ARCHAEOLOGY AND ARCHAEOMETRY

The need for ordering the material record of the human past has created, from the beginnings of the Discipline, a special interest in establishing precise chronological series. Independently of relative dating by typological classification and stratigraphic seriation, advances in physicochemical dating of the archaeological record and its sedimentary context represent one of the fields that has the most influenced the development of modern Prehistory.

Since the beginnings of the discovery of radioactivity in the early XXth century, Ernest Rutherford and Frederick Soddy established the possibility of measuring in chronological terms the loss of its intensity in different elements existing in nature. The pivotal moment in the application of radioactivity for chronological purposes was the work of Willard Libby and colleague's (1949). Centred on one carbon isotope (C14), the method enabled the absolute dating of organic matter with a relatively reasonable error margin. The application of this method to the study of the archaeological record catalysed important advances in our interpretation of the past, leading some scholars to speak of a 'Radiocarbon revolution' (Renfrew, 1973). One of the most striking examples of the effects of this 'revolution' was to be found in the study of western European megalithic monuments: radiocarbon dating implied the devaluation of the dominant paradigm obliging reformulation of the general chronological and contextual frameworks of reference (Renfrew, 1973; Chapman, 1985; Patton, 1993: 5; Bradley, 2009: 55).

A further step in the development of radiocarbon dating was taken in the early 80s with the work of R. A. Muller (1977) on the measurement of carbon atoms through a Mass Spectrometer. Among the advantages made possible by the Accelerator Mass Spectrometry (AMS) was the reduction in the time

and quantity of matter necessary for dating. This fact has been crucial for the development of new research lines in the study of megaliths as, for instance, the direct dating of paintings (Carrera Ramírez and Fábregas Valcarce, 2002; Steelman *et al.*, 2005).

Among the other available methods for dating in archaeological research, Thermoluminescence (TL) has occupied a relevant place mainly since the 1970s, although its general principles were set by F. Daniel *et al.* as early as 1953. Initially focused in the analysis of pottery and burnt stone, its generalization was greatly dependent on the research undertaken by the University of Oxford's laboratory from the late 60s (Aitken 1985).

The principles of luminescence are also at the base of the OSL dating, the latter only developed from the 80s (Huntley *et al.*, 1985; Smith *et al.*, 1990). As we will see, this technique is acquiring an increasing importance in the last few years in the framework of the absolute dating of inorganic elements.

The chronological range of OSL varies from almost contemporary (a few decades from now) to about five hundred thousand years (c. 500.000), thus beyond the range of radiocarbon dating, a characteristic that has traditionally made luminescence a useful and widespread method for quaternary research.

Behind this development and application of dating methods from the Natural Sciences to Archaeology there is a parallel history of contact between physicists/chemists and historians/archaeologists. Understanding has not always been easy: Archaeologists have sometimes tended to interpret the results of physicochemical analyses regardless of statistical, sample or even structural technical limitations while, on the other side, physicists and chemists have usually lacked full knowledge of the sample context, and have not systematically taken part in the research process.

The consolidation of this cooperation is related to the expansion of Archaeometry as a discipline, a context in which dating currently occupies a privileged place as one of the most important research fields (Fig. 1). A recently published bibliometric analysis of studies on Archaeometry for the period between 1975 and 2000 (López-Romero and Montero Ruiz, 2006; Montero Ruiz, *et al.*, 2007: 28-32) reveals that

elementary analyses of archaeological finds (Scanning Electron Microprobe, X-Ray Fluorescence, Neutron Activation Analysis, Atomic Absorption Spectrometry, X-Ray Diffraction, Optical Emission Spectroscopy, Proton-Induced X-Ray Emission...) largely dominate archaeometric studies (55.1%). Nonetheless dating represents 12.7% of the overall research papers represented in the sample (n=1440). Luminescence prevails as the most used principle for dating (38.2% of 181 papers on dating). While most of that percentage (34.3%) corresponds to TL dating, only seven papers (3.9%) deal with OSL analyses. However, from 1999 onwards significant advances have been made in OSL dating. The great actuality of the method can be estimated by the increasing number of papers published in archaeometric and other specialized journals; some of these publications are review papers that underline and analyze the inflection moment which represents optical dating.

Although TL and OSL share similar basic principles, there are relevant differences between them. We will succinctly review these and other aspects in the next section.

### 3. OSL DATING: PRINCIPLES AND RECENT TRENDS

In contrast to incandescence, luminescence is the property of some bodies to emit light through mechanisms other than thermal. Light is produced by electrons previously trapped within the body and freed by a given stimulus. Depending on the kind of energy converted into light, luminescence can be classified into several groups (Bluszcz, 2004: 138-139). The most common luminescence-based dating methods belong to the radioluminescence type, for the energy emitted in the form of light was stored by ionising radiation. The stored radiation is most often measured on crystals of quartz or feldspar. Because in some feldspars electrons may escape from their traps, causing an instability generally known as *anomalous fading* (Liritzis, 2000a: 5), quartz crystals are now generally preferred for dating. Several considerations must however be taken with quartz grains of volcanic origin (Jacobs and Roberts, 2007: 221, box 8).

Unlike other physical principles, the mechanism of luminescence itself is not completely understood at the atomic level; in the absence of standardization

inter-laboratory calibration is thus a difficult task (Fernández Mosquera *et al.*, 2008: 207).

Three kinds of events can be dated by luminescence methods; the last cooling of a mineral, its last exposure to light, and its growth process (crystallization) (Liritzis 2000b: 30).

Depending on the stimulus freeing the energy, we will be talking of different types of luminescence. If the stimulus is light within the electromagnetic visible range, we will talk of Optically Stimulated Luminescence; optical stimulation is usually achieved with green or blue light. If the stimulus is light within the electromagnetic infrared range we will talk of Infrared Stimulated Luminescence. If the stimulus is given by heating the crystals, we will be dealing with Thermoluminescence. Once the energy freed by the stimulus (i. e. exposure to sunlight) the process of radiation accumulation starts again, provided the body is cut-off (i. e. by redeposition) from the source that caused the loss of the trapped electrons.

As we have seen before, TL has traditionally dominated luminescence dating methods and has been largely tested in archaeological and geological contexts. However, OSL presents several advantages over conventional TL that need to be considered here. As recent analyses have shown (i. e. Murray and Oley 2002: 3; Vafiadou *et al.*, 2007), in OSL short exposure to daylight is enough to “reset” the luminescence clock; though problems of partial bleaching can be present and need careful consideration, this principle is a key-advantage of optical dating. Unlike TL, no heating of the sample is needed for OSL, making it preferable for the analysis of unheated sediments; this undoubtedly widens the range of potentially datable elements (dunes, loess, maritime sediments, paleosols etc.). Recent developments in the methods allow dating on a small part (aliquot) of the sample (*Single Aliquot Regenerative dose-SAR* protocol, Murray and Wintle, 2000, and *Single Aliquot Additive dose-SAAD* protocol), a part that can now even be comprised of single grains (Feathers 2003; Jacobs and Roberts 2007). This last point allows fine scrutiny of sediment formation processes, reducing the uncertainty of dating mixed deposits.

Beyond sediment dating, a most interesting perspective has to do with the OSL dating of stone

surfaces (Huntley and Richards 1997; Bailiff and Mikhailik 2003; Greilich *et al.*, 2005; Greilich and Wagner 2006; Vafiadou *et al.*, 2007; Liritzis *et al.*, 2008). Quartz and feldspars are present not only in granitic rocks (granite, diorite, granodiorite, quartzdiorite, andesite, porphyry, dacite...) but also in both metamorphic and sedimentary rocks, which are therefore suitable for dating. The underlying OSL principle remains identical, and the dated event could be represented by the construction or the destruction of structures, or by the deposition of stones or boulders, etc. Several experiments have served to verify that the application is feasible, though particular procedures had to be undertaken at the sampling and analytical stages. Several problems have been encountered that demand further research before the application of the technique becomes standardized.

In a similar way, experiences in dating OSL surface signals in brick (Vieilleveigne *et al.*, 2006) and mortar (Feathers *et al.*, 2008) have recently succeeded.

Another new and promising application of OSL consists of the dating of quartz microwastes associated with human activities (Susino, 2010) through a combination of stereomicroscopy, scanning electron microscopy (SEM-EDX) and *Single Aliquot Regenerative dose* OSL. Firstly, microwaste is separated from sediment by means of morphological identification. Filters are used in the microscopy and SEM during this stage in order to avoid bleaching of the samples. Secondly, selected elements are dated. The author of the study underlines the interest of the method for rock art studies (microwaste generated in the pecking/carving process) and lithic studies (microdebitage wastes).

How can all this be summarized in archaeological terms? The natural radiation accumulated since mineral grains were last exposed to light is measurable. The longer the sample has been set apart from light, the greater the radiation is present in it. In OSL exposure to sunlight prior to deposition resets to near-zero values previously acquired radiation, and when the sunlight is cut off by sediment deposition this radiation re-accumulates at a certain rate depending on matter sensitivity and the natural ionizing radiation reaching the crystals. Calculation of these components (total ionizing radiation absorbed since the last zeroing and accumulation rate) enables dating the last time a

body – natural sediment, archaeological soil, object... – was exposed to light:

$$\text{Age (ka)} = \text{Equivalent dose (Gy)} / \text{Dose rate (Gy/ka)}$$

Age is expressed in thousands of years (ka) from present, the equivalent dose (a magnitude of radiation) in grays (Gy) and the dose rate in grays per thousands of years (Gy/ka).

When applicable, OSL and other luminescence methods allow – unlike organic-based techniques such as radiocarbon – direct dating of the archaeological item and/or the depositional environment. This removes uncertainty, for interpretation is direct and not based on spatial correlation.

Taking into account recent progress in luminescence dating methods (advances in instrumentation, in the preferred mineral for dating and the single-aliquot protocol), the error in the calculation of the final age can be estimated at around 5-8%. This global error is the result of the accumulation of uncertainties at several stages of the analytical process (Murray and Oley, 2002: 14). Calculation of the dose rate, differences in the equivalent dose within a sample, and moisture content (which affects ionising radiation) are some of the most important conditioning factors. This aspect may still constitute a source of reticence in the use of OSL for many archaeological cases, especially when compared to the high accuracy of current radiocarbon protocols. In this respect, it has long been stressed that comparisons should be made between luminescence ages and ages obtained by independent methods (Wintle and Huntley, 1982). Some early and recent studies have undertaken such comparisons; though significant matches have been encountered (Porat *et al.*, 2006: 1353; Fuchs and Wagner, 2005) differences in the events being dated may sometimes condition interpretation (Richter *et al.*, 2009: 717).

Current lines of development in the method privilege research on the extension of the age-range by exploring new signals from quartz and feldspars, investigate the application of Bayesian statistics, and look for appropriate procedures for other minerals (Wintle, 2008: 300-303). While OSL protocols are well established for the analysis of sediments, direct dating of different types of rock needs further testing.

## 4. OSL DATING OF MEGALITHIC MONUMENTS: APPLICATIONS

Considering the above-mentioned optical luminescence properties of some minerals, two of the three main applications of OSL (dating of sediments and dating of stone surfaces) seem highly susceptible to being integrated to the study of European megalithic monuments. In fact, as was stated at the beginning, there have already been several implementations in that direction. Direct dating of quartz microwaste can also be discussed in this context.

### 4.1. SEDIMENTS

OSL dating of sediments has already proved to be relevant for Quaternary research, throwing light, for instance, on the history of modern humans (Roberts, 1997: 828). In situations where radiocarbon is not applicable researchers working in that context with other luminescence methods such as TL have quite early tested OSL in the quest for more precise and more reliable chronological frameworks for the Pleistocene. In the case of the Holocene, the methodological constraints are different. Organic dating through radiocarbon, most frequently on bone or charcoal, is possible and preferred. The particular case of European megalithic monuments has followed this tendency, and key advances on its knowledge are highly dependent on advances in the chronological standards propitiated by C14. However, several questions arise in the dating and interpretation of monuments where OSL dating of sediments – in its actual and potential forms – can be of help.

Several kinds of formation processes for sediments have to be considered in this respect. Firstly, there are sediments altered by human activity. Natural sediments from the soil or the substrate may be uncovered, removed and exposed to sunlight during different construction processes. They may subsequently be either discarded or reincorporated (i. e. as packing in the stoneholes or as layers in the covering mound) into the archaeological structure. Other sediments may be carried from a certain distance to play a structural or symbolic role in the configuration of the final monument (i. e. sediments of specific colour in the mounds); during their extraction, transportation and treatment those sediments are susceptible to bleaching by sunlight.



In spite of the high interest concerning this set of sediments altered by human activity, it is worth mentioning that many of them might turn out to contain only partially bleached quartz and feldspars fractions. This is due to the fact that not all grains in the sediment would have been exposed in the same way to light, as sediment could have been extracted and treated in sets of variable size or thickness. In chronological terms this would most probably result in an older than expected OSL date. Single-aliquot regenerative procedure (SAR) and, most critically, single-grain analysis should provide a large number of data to carry on proper statistical analysis in order to help evaluating such an archaeological context. OSL signal analysis and several statistical procedures are also used to avoid such partial bleaching effect on the OSL age.

Secondly, sediment deposition which results from natural processes may be present at the site. Post-depositional events affect site formation at different moments and rates. Although such processes may significantly alter the archaeological record, they are equally susceptible to being read in chronological terms in the context of the evolution, preservation and longevity of the monuments. Fluvial sediments may sometimes seal entire monuments either by progressive or quick deposition (i. e. Villoch Vázquez, 1998: 109). Aeolian processes are especially active in coastal areas, where dune formations are usually present (i. e. Large and Mens, 2008); as they are transported by wind often over long distances, resetting of their luminescence 'clock' is more likely and hence constitutes one of the most appropriate kind of sediment for OSL dating (Murray and Oley 2002: 3). Different marine deposits can also be found in the context of research on European megaliths. Analysis of this last kind of evidence has been less studied than the former, but some results have verified that sufficient bleaching also takes place in that instance. Each of these cases must however be analysed in its particular context. Moreover, it is worth mentioning that fluvial and maritime sediments are dependent on the limiting effect that water content has in the absorption of ionizing radiation. Water content equally influences continental 'dry' sediments, though it is there obviously operating at a different scale.

Thirdly, sediments altered by bioturbation are often encountered during excavation. As for radiocarbon dating, detailed scrutiny of the context is necessary

before sample collection as these processes produce mixture of sediments and may deliver recent dates. Dating of such postdepositional processes may however help in the understanding of archaeological sequences.

#### 4.2. STONE SURFACES

One of the most promising applications of OSL in the context of the study of European megalithic monuments has to do with the dating of stone surfaces. Although sharing the same principles that sediment-based OSL, dating of stone surfaces faces three major problems: calculating the penetration index of light inside the mineral being dated, the difficulty of separating grain fractions from the rocky matrix and the fact that a surface represents a boundary between two different media (Greilich *et al.*, 2005: 647).

Few tests of this technique have so far been performed, but the principle of spatial analysis of the surfaces is already launched (*spatially resolved dating*; Bailiff and Mikhailik, 2003; Greilich and Wagner, 2005); this point partially resolves the second of the limitations mentioned above. Most of those tests have been performed on granitic surfaces, though Liritzis *et al.*, (2008) have dated limestone samples in several case-studies.

If the technique finally improves and becomes standardized, the potential for the analysis of megaliths is undeniable. Direct dating of the rocky substrate eventually exposed during building processes, dating of orthostats and standing-stone sockets, or dating of dry-stone walling in cairns and composite monuments, to cite but a few, would then become possible. It is possible that in the case of standing-stones – where less information is often found through conventional procedures – that the technique could find its most profitable application. We should neither neglect the suitability of OSL dating of stone surfaces for providing support in the understanding of building sequences in multi-phase monuments.

#### 4.3. QUARTZ MICROWASTES

Though this is indeed a very recent approach (Susino, 2010) a few words can be said of its potential use. In

the study of prehistoric European monumental architectures, this perspective would have two very different kinds of applications: megalithic art and flaking activities related to the monuments. Firstly, identification and dating of microwaste activity related to megalithic art – for those motifs obtained by pecking – should be possible for rocks containing fractions of quartz or feldspars (i. e. granitic). Technological analysis of the micro-percussion traces has already been performed for megalithic art in several case-studies, and has enabled interpretation of the relative chronological sequences for the motifs (Mens, 2004, 2006). Correctly identifying and dating such an event would obviously have important implications, and will be highly suitable for open-air rock art. In relation to the monuments themselves, looking for microwastes derived from that process could be certainly biased by at least two factors: the traditionally bad preservation of archaeological deposits in and around the monuments and the suspicion that, for several sites, the decoration process took place before the orthostats were placed in their final location, or perhaps elsewhere. With respect to the lithic debitage, dating of an artefact and its related activity fails to address for the study of megalithic monuments one of the two main advantages of OSL dating of sediments and stone surfaces, that is, dating an event instead of an associated element. Nonetheless, this method constitutes another alternative for absolute dating in contexts where no organic matter remains. Much more research and application is needed before we could assess its suitability for this and other research areas.

## 5. OSL DATING OF MEGALITHIC MONUMENTS: PROJECTS

In spite of the long tradition of luminescence dating in Archaeology, and despite the notable increase in OSL applications and publications in the last decade, very few projects relying on this technique have for the moment engaged the study of megaliths.

The earliest application of OSL dating to European megalithic monuments is David Calado's study of Quinta da Queimada standing-stone in southern Portugal (Calado, 2000; Calado, *et al.*, 2003). Two dates were obtained for the site, one in the upper

half of the thick soil layer overlaying and sealing the implantation pit and another in the stonehole itself. The first provided a date in the transition of the 5th to the 4th millennium BC (Shfd 2013: 5925± 175 BT), while the second resulted in a higher than expected date (Shfd 2014: 9095 ±445 BT). Although it is stated that both dates were obtained on sediments, no precision on the sample collection, sampling conditions or analytical procedures are offered in the publications<sup>1</sup>. The authors take the first of the dates as a valid *ante quem* horizon for the erection of the standing stone, but in a later publication (Nocete Calvo *et al.*, 2004: 11) they only refer to the second one for supporting high degrees of complexity and territoriality in the context of hunter-gatherer societies in southwest Iberia. Such a proposal has wider implications (Nocete Calvo, 2001) and has been largely criticized under different perspectives. Concerning OSL application, and in lack of precise data on the particular procedures undertaken in this case, it seems most probably that the aliquot in the analysed sediment contained a set of only partially bleached minerals, and thus a remaining – older – OSL signal. This point could be checked via currently available methods (i. e. single-grain analysis) if some aliquots from the same sample had been preserved by the dating laboratory.

The *Instituto Universitario de Xeoloxía Isidro Parga Pondal* (Coruña, Spain) in collaboration with the *Instituto Tecnológico e Nuclear* (ITN) at Lisbon, has undertaken the OSL dating of a Neolithic necropolis in Portugal (D. Fernández Mosquera and J. Sanjurjo Sánchez pers.com. See also <http://kalamata.uop.gr/~lais2009/>). Six samples of sediment were taken at different depths from two Neolithic tombs excavated in the rock – hypogeum – at the necropolis of Sobreira da Cima (Beja, Portugal). The SAR protocol was applied to calculate equivalent doses. Differences between OSL and previously obtained C14 dates were found; as there was no evidence for partial bleaching of the sediments, the authors suggest that this could be indicative of undetected disequilibrium in the <sup>238</sup>U decay series.

Further work has recently been developed in Portugal (Anta da Lajinha passage grave) by C. Scarre (pers. com.). Several OSL dates were obtained and processed by the ITN at Lisbon in 2006 for sediments in the mound, in the chamber and in

<sup>1</sup> There are only references to an unpublished report by Bateman (2002) from the University of Sheffield.

the upper deposits in the passage (see also <http://www.dur.ac.uk/archaeology/research/projects/>). Ongoing research by a team from Durham University under the direction of C. Scarre is also engaged in the collection of samples for OSL dating of the megalithic landscape in the island of Herm (<http://www.dur.ac.uk/herm.project/>). An interesting point within this project has to do with its environmental context, a low-lying plain fringed by coastal dunes and covered by wind-blown sand. Those sediments have preserved Neolithic occupation levels and will allow the understanding of the long-term formation processes of the landscape and their relation to the megalithic monuments in the island.

One of the most echoed applications of OSL dating to the study of European megaliths has been the study of the Avebury Cove stone (Gillings *et al.*, 2008: Chapter 4). A sample of sediment from the deposits in the stone-hole of Stone II provided an OSL age estimate of 3120 ± 350 BC (SAR protocol). Several peaks of intensity were identified during the dating process which could correspond with both non-zeroed (older) and intrusive (younger) grains (op. cit.: 165). Added to this, the sample was dependent of a projected dose rate value and included high water content. Though these two conditionings are to be taken into account and affect precision, the overall result seems sound, and serves to situate the construction of the Cove in an early moment of the megalithic stone-built sequence in Britain.

Research in the standing stones' ensembles in Exmoor (UK) has been driven by a team from the universities of Leicester and Bristol (Gillings *et al.*, 2007, 2009). The stone settings – referred to as 'miniliths' – in this region have traditionally posed problems for chronocultural classification. Discovery of a sealed deposit at the base of Lanacombe I standing stone's stonehole seemed suitable for OSL dating in order to provide a first absolute chronology for the monuments. Furthermore, identification of quartz artefacts in several archaeological deposits from the site in 2009 has led the authors to propose its eventual direct dating through OSL (Gillings *et al.*, 2009: 29). This point partly converges with the previously-mentioned dating of quartz microwastes, and is a perspective worth taking into consideration.

In France, the standing stone alignment of Le Pilier (Gâvre, Loire Atlantique) consists of 85 quartz and

quartzite blocs. The stones are aligned for around 1Km following a NW-SE axis (Boujot *et al.*, 2009). A collaboration between the team directed by S. Cassen (UMR6566-Université de Nantes) and the team directed by P. Guibert (*Centre de Recherche en Physique Appliquée à l'Archéologie, CRPAA*) has been engaged in order to develop the OSL direct dating of stone surfaces. Rock sampling and annual dose measurements were collected in 2008 (Boujot *et al.*, 2009: 9).

From this brief account, incomplete as it may be, it is quite evident that most of the projects mentioned are still ongoing or have not yet been the object of detailed publication. Providing a general overview of OSL dates for megalithic monuments is hence still not possible. Comparison with other reference dates (mainly C14) is for the moment providing the better reference framework to evaluate the results obtained.

## 6. CONCLUSIONS

Optically Stimulated Luminescence has become a reliable technique for the dating of sediment formations and has already provided significant results in Quaternary research.

Although the projects so far undertaken for the study of European megaliths are few, they epitomise both the range of applications and the problems related to OSL dating. Dating of sediments and preliminary sampling for direct dating of stone surfaces has already been done in the Iberian Peninsula, in the UK or in France. This has also been performed indistinctly for both funerary monuments and standing stones. Awareness by several researchers is also anticipating further applications of the OSL principle (i. e. analysis of quartz artefacts, analysis of microwastes); this is an important point for it presumes a good beforehand permeability and a prospective of collaboration in this field between Archaeologists and Archaeometrists. Problems with the sedimentary context dated, with the presence of partially bleached aliquots, with the calculation of the dose rate and with the water content have also been encountered, identified and faced. As the authors responsible for the dating of the Cove Stone in Avebury state, "Clearly, there is significant scope for further OSL dating of similar contexts, and good potential to derive more robust age estimates for this

and other megalithic monuments” (Rhodes and Schwenninger, in Gillings *et al.*, 2008: 165).

Despite the problems already mentioned and the relatively large uncertainty in the estimated OSL ages, the potential of the method is undeniable. The research perspectives and the advances operated in the last few years point to future improvements in the medium and long terms. It is important to note as Z. Jacobs and R. G. Roberts (2007: 221) remark that “most of the major advances made in single-grain dating over the past decade have taken place in the context of archaeological applications”. This statement applies not only for OSL. Archaeological research undoubtedly constitutes an important vector for scientific and technological innovation. Addressing the correct questions to the archaeological record leads to an increase in the availability, applicability and improvement of physico-chemical methods for the study of European Prehistory. We must be aware that not only we can be users of a given methodology, but that we can be active agents of the wider process of its development and refinement. Because of the questions being addressed, and considering the current research context, it seems that the study of European monumental architectures through OSL constitutes one of the fields where this perspective can be the better achieved.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The author wants to thank Prof. C. Scarre (Durham University), Dr. M. Gillings (University of Leicester), Dr. D. Fernández Mosquera and Dr. J. Sanjurjo Sánchez (Instituto Universitario de Xeoloxía Isidro Parga Pondal) for kindly providing information on their research projects. Thanks are also due to Dr. D. Fernández Mosquera and Dr. J. Sanjurjo Sánchez for their valuable comments and precisions on the text. All omissions or mistakes are obviously mine.

## 7. REFERENCES

- AITKEN, M. J. (1985): *Thermoluminescence dating*, Academic Press, Londres.
- BAILIFF, I. K. and MIKHAILIK, V. B. (2003): “Spatially-resolved measurement of optically stimulated luminescence and time-resolved luminescence”, *Radiation Measurements* 37, pp. 151-159.
- BLUSZCZ, A. (2004): “OSL dating in Archaeology”, *Impact of the Environment on Human Migration in Eurasia*, (Scott, E.M., Alekseev, A. Y. and Zaitseva, G. editors), NATO Science Series IV, Earth and Environmental Sciences 42, pp. 137-149.
- BOUJOT, C., CASSEN, S., BALTZER, A., BONNIOL, D., CHAIGNEAU, C., DARDIGNAC, C., FRANÇOIS, P., GUIBERT, P., HINGUANT, S., LANOS, P., LE ROUX, V. E., LORIN, A., MARGUERIE, D., MENIER, D. and ROBIN, G. (2009): “Recherches archéologiques en cours sur les ouvrages de pierres dressées en Armorique-sud”, *Journée du CReAAH Archéologie Archéosciences Histoire*, (Rennes, 2009), pp. 6-11.
- BRADLEY, R. (2009): *Image and Audience: Rethinking Prehistoric Art*, Oxford University Press, Oxford-New York
- BRONK RAMSEY, C. (2008): “Radiocarbon dating: revolutions in understanding”, *Archaeometry* 50 (2), pp. 249-275.
- CALADO, D. (2000): “Poblados con menhires del extremo SW peninsular. Notas para su cronología y economía. Una aproximación cuantitativa”, *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social* 3, pp. 47-99.
- CALADO, D., NIETO LIÑÁN, J. M. and NOCETE CALVO, F. (2003): “Quinta da Queimada, Lagos, Portugal. Datação do momento de erecção de um monumento megalítico através da luminescência óptica de cristais de quartzo (OSL)”, *V Congreso Ibérico de Arqueometría. Libro de Resúmenes de Actas* (Puerto de Santa María, Cádiz), pp. 167-168.
- CARRERA RAMÍREZ, F. and FÁBREGAS VALCARCE, R. (2002): “Datación radiocarbónica de pinturas megalíticas del noroeste peninsular”, *Trabajos de Prehistoria*, 59 (1), pp. 157-166.
- CHAPMAN, R. W. (1985): “Ten years after: megaliths, mortuary practices and the territorial model”, *Regional Approaches to Mortuary Ritual* (Beck, L. A., editor), Plenum Press, New York, pp. 29-51.
- FEATHERS, J. K. (2003): “Use of luminescence dating in archaeology”, *Measurement Science and Technology* 14, pp. 1493-1509.
- FEATHERS, J. K., JOHNSON, J. and RODRÍGUEZ KEMBEL, S. (2008): “Luminescence dating of monumental stone architecture at Chavín De Huántar, Perú”, *Journal of Archaeological Method and Theory* 15, pp. 266-296.
- FERNÁNDEZ MOSQUERA, D., DIAS, M. I., SANJURJO SÁNCHEZ, J., FRANCO, D., CARDOSO, G. and PRUDENCIO, M. I. (2008): “Datación absoluta por luminiscencia de material arqueológico: una experiencia ibérica de calibración inter-laboratorios”, *Actas del VII*

- Congreso Ibérico de Arqueometría, Madrid 8-10 de octubre de 2007*, (Rovira Llorens, S., García Heras, M., Gener Moret, M. and Montero Ruiz, I., editors), Madrid, pp. 204-210.
- FUCHS, M. and WAGNER, G. A. (2005): "The chronostratigraphy and geoarchaeological significance of an alluvial geoarchive: comparative OSL and AMS <sup>14</sup>C dating from Greece", *Archaeometry* 47 (4), pp. 849-860.
- GILLINGS, M., POLLARD, J. and TAYLOR, J. (2007): *Excavation and Survey at the Stone Settings of Lanacombe I and III*, University of Leicester (recurso on-line), 37p.  
<http://www2.le.ac.uk/departments/archaeology/people/gillings/documents/lanacombe-2007-survey-excavation-report.pdf>
- GILLINGS, M., POLLARD, J., WHEATLEY, D. W. and PETERSON, R. (2008): *Landscape of the Megaliths: excavation and fieldwork on the Avebury monuments, 1997-2003*, Oxbow Books, Oxford.
- GILLINGS, M., TAYLOR, J. and POLLARD, J. (2009): *The Miniliths of Exmoor Project: report on the 2009 excavations*, University of Leicester (on-line resource), 37p.  
<http://www2.le.ac.uk/departments/archaeology/people/gillings/documents/lanacombe-2009-report.pdf>
- GREILICH, S., GLASMACHER, U. A., and WAGNER, G. A. (2005): "Optical dating of granitic stone surfaces", *Archaeometry* 47, pp. 645-65.
- GREILICH, S. and WAGNER, G. A. (2006): "Development of a spatially resolved dating technique using HR-OSL", *Radiation Measurements* 41, pp. 738-743.
- HUNTLEY, D. J., GODFREY-SMITH, D. I. and THEWALT, M. L. W. (1985): "Optical dating of sediments", *Nature* 313, pp. 105-107.
- HUNTLEY, D. J. and RICHARDS, M. (1997): "The age of the Diring Quriakh archaeological site", *Ancient TL* 15 (2-3), pp. 48-51.
- JACOBS, Z. and ROBERTS, R. G. (2007): "Advances in Optically Stimulated Luminescence dating of individual grains of quartz from archeological deposits", *Evolutionary Anthropology* 16, pp. 210-223.
- LARGE, J. M. and MENS, E. (2008): "L'alignement du Douet à Hoedic (Morbihan, France)", *L'Anthropologie* 112, pp. 544-571.
- LIBBY, W. F., ANDERSON, E. C., and ARNOLD, J. R. (1949): "Age determination by radiocarbon content: world-wide assay of natural radiocarbon", *Science* 109 (2827), pp. 227-228.
- LIRITZIS, I. (2000a): "Advances in thermo- and opto-luminescence dating of environmental materials (Sedimentary Deposits). Part I: Techniques", *Global Nest: the International Journal* 2 (1), pp. 3-27.
- LIRITZIS, I. (2000b): "Advances in thermo- and opto-luminescence dating of environmental materials (Sedimentary Deposits). Part II: Applications", *Global Nest: the International Journal* 2 (1), pp. 29-49.
- LIRITZIS, I., SIDERIS, C., VAFIADOU, A. and MITSIS, J. (2008): "Mineralogical, petrological and radioactivity aspects of some building material from Egyptian Old Kingdom monuments", *Journal of Cultural Heritage* 9, pp. 1-13.
- LÓPEZ-ROMERO, E. and MONTERO RUIZ, I. (2006): "Archaeometry and the international evolution of studies on metallurgy: a bibliometrical perspective", *34th International Symposium on Archaeometry*, Institución Fernando el Católico, Zaragoza, pp. 195-200.
- MARCHAND, G.; DUPONT, C.; OBERLIN, C. and DELQUEKOLIC, E. (2009): "Entre 'effet réservoir' et 'effet de plateau': la difficile datation du mésolithique de Bretagne", *Proceedings of the International Congress "Chronology and Evolution in the Mesolithic of NW Europe" (Brussels, May 30 - June 1, 2007)*, (Crombé, P., Van Strydonck, M., Sergant, J., Bats, M. and Boudin, M. editors), Cambridge Scholar Publishing, pp. 307-335.
- MENS E. (2004): "Des crosses transformées en haches dans l'art néolithique armoricain: l'exemple du signe D de Dissignac (Saint-Nazaire, Loire-Atlantique, France)", *L'Anthropologie* 108, pp. 121-136.
- MENS E. (2006): "Méthodologie de l'étude technologique des gravures néolithiques armoricaines", *Origine et développement du mégalithisme de l'ouest de l'Europe. Actes du Colloque international (26-30 octobre 2002)*, (Joussaume, R., Scarre, C. and Laporte, L. editors), Musée des Tumulus de Bougon, Bougon, pp. 152-155.
- MONTERO RUIZ, I., GARCÍA HERAS, M. and LÓPEZ-ROMERO, E. (2007): "Arqueometría: cambios y tendencias actuales", *Trabajos de Prehistoria* 64 (1), pp. 23-40.
- MULLER, R. A. (1977): "Radioisotope dating with a cyclotron", *Science* 196 (4289), pp. 489-494.
- MURRAY, A. S. and OLEY, J. M. (2002): "Precision and accuracy in the optically stimulated luminescence dating of sedimentary quartz: a status review", *Geochronometria Journal on Methods and Applications of Absolute Chronology* 21, pp. 1-16.
- MURRAY, A. S. and WINTLE, A. G. (2000):



- "Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol", *Radiation Measurements* 32, pp. 57-73.
- NOCETE CALVO, F. (2001): *III Milenio ane: relaciones y contradicciones centro/periferia en el Valle del Guadalquivir*, Bellaterra, Barcelona.
- NOCETE CALVO, F., MARTÍN SOCAS, D., CÁMALICH MASSIEU, M. D. and CALADO, D. 2004: "Noves perspectives per a la explicació de les primeres societats sedentaries al sud-oest peninsular", *Cota Zero* 19, pp. 10-12.
- OLIN J. S. (ed.) (1982): *Future Directions in Archaeometry. A Round Table*, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.
- PATTON, M. (1993): *Statements in stone: monuments and society in Neolithic Brittany*, Routledge, London and New York.
- PORAT, N., ROSEN, S. A., BOARETTO, E. and AVNI, Y. (2006): "Dating the Ramat Saharonim Late Neolithic desert cult site", *Journal of Archaeological Science* 33, pp. 1341-1355.
- RENFREW, C. (1973): *Before Civilisation: The Radiocarbon Revolution and Prehistoric Europe*, Jonathan Cape, London.
- RICHTER, D., TOSTEVIN, G., SKRDLA, P. and DAVIES, W. (2009): "New radiometric ages for the Early Upper Palaeolithic type locality of Brno-Bohunice (Czech Republic): comparison of OSL, IRSL, TL and <sup>14</sup>C dating results", *Journal of Archaeological Science* 36, pp. 708-720.
- ROBERTS, R. (1997): "Luminescence dating in archaeology: from origins to optical", *Radiation Measurements* 27 (5-6), pp. 819-892.
- SMITH, B. W., RHODES, E. J., STOKES, S., SPOONER, N. A. and AITKEN, M. J. (1990): "Optical dating of sediments", *Archaeometry* 32, pp. 19-31.
- SOARES, A. (2004): "Identificação e caracterização de eventos climáticos na costa portuguesa, entre o final do Plistocénico e os tempos históricos. O papel do radiocarbono", *Evolução geohistórica do litoral português e fenómenos correlativos. Geologia, História, Arqueologia e Climatologia*, (Tavares A. A., Ferro Tavares, M. J. and Cardoso, J. L. editors), Universidade Aberta, Lisboa, pp. 171-200.
- STEELMAN, K. L., CARRERA RAMÍREZ, F., FÁBREGAS VALCARCE, R., GUILDERTSON, T. and ROWE, M. W. (2005): "Direct radiocarbon dating of megalithic paints from north-west Iberia", *Antiquity* 79 (304), pp. 379-389.
- SUSINO, G. J. (2010): "Optical dating and lithic microwaste: Archaeological applications", *Quaternary Geochronology* 5, pp. 306-310.
- VAFIADOU, A., MURRAY, A. S. and LIRITZIS, I. (2007): "Optically stimulated luminescence (OSL) dating investigations of rock and underlying soil from three case studies", *Journal of Archaeological Science* 34, 1659 - 1669.
- VIEILLEVIGNE, E., GUIBER, P., ZUCCARELLO, R. and BECHTEL, F. (2006): "The potential of optically stimulated luminescence for medieval building; A case study at Termez, Uzbekistan", *Radiation Measurements* 41 (7-8), pp. 991-994.
- VILLOCH VÁZQUEZ, V. (1998): "Un nuevo menhir en Cristal", *Gallaecia* 17, pp. 107-119.
- WINTLE, A. G. (2008): "Fifty years of Luminescence dating", *Archaeometry* 50 (2), pp. 276-312.
- WINTLE, A. G. and HUNTLEY, D. J. (1982): "Thermoluminescence dating of sediments", *Quaternary Science Reviews* 1, pp. 31-53.
- ZILHÃO, J. (2004): "Radiocarbon evidence for maritime pioneer colonization of the origins of farming in west Mediterranean Europe", *The Mesolithic of the Atlantic Façade: Proceedings of the Santander Symposium, Anthropological Research Papers* 55, (Clark, G. A. and González Morales, M. editors), Arizona State University, Tempe, pp. 121-132.