

Dra. Anna Gutiérrez Garcia-M. *en Arqueologia*
Directora responsable de la Unidad de Estudios Arqueométricos
Dra. Marie Claire Savin *en Arqueologia y Geología*
Técnico responsable de la Unidad de Estudios Arqueométricos

Dra. M^a Pilar Lapuente Mercadal *en Geología*
Profesora Titular de Petrología y Geoquímica (Unizar)
Investigadora Senior adscrita al ICAC

Dra. Isabel Rodà de Llanza *Catedrática emérita de Arqueología UAB*
Investigadora Senior adscrita al ICAC

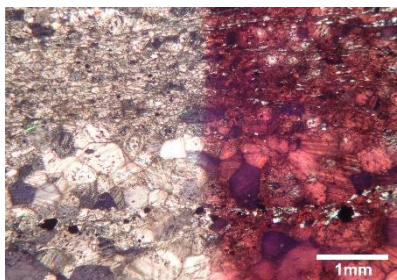
ESTUDIO ARQUEOMÉTRICO DE MÁRMOL



Protocolo analítico empleado

METODOLOGÍA

MUESTREO EN EL PÓRTICO DE LA GLORIA



1 TOMA DE MUESTRA

La toma de muestras se realiza después de un **examen visual exhaustivo** y la valoración general de cada uno de los elementos a estudiar. En aquellos casos en los que se considere oportuno, se procede a la extracción de una muestra una vez comprobado que no entraña un riesgo potencial de degradación para la pieza. Este examen permite:

- Establecer la textura, naturaleza y estado de conservación del mármol, así como las variables que lo caracterizan a escala macroscópica (color uniforme o con veteados, tipo de vetas/bandas, brillo, translucidez, tamaño de grano).
- El punto de extracción idóneo, que se documenta fotográficamente antes de la toma de muestra, como testigo del estado de la pieza antes de la actuación.

Una vez elegido el punto de extracción idóneo, se procede a la **extracción de una pequeña esquirla** de material de cada una de las piezas. La extracción se efectúa mediante **golpes controlados de cincel** y aprovechando superficies de rotura previas que presenten suficiente irregularidad superficial y/o microfisuras, evitando así daño alguno en ellas o en elementos decorativos y/o de trabajo antiguo.

El **muestreo** lo realizan la Dra. Lapuente o bien la Dra. Gutiérrez García-M., especialistas en este tipo de toma de muestras. Si bien también puede ser extraído por el personal técnico de la Institución en cuestión, pero siempre bajo la presencia de cualquiera de ellas. El resultado debe ser inapreciable estéticamente, siendo el punto exacto de extracción documentado de nuevo una vez efectuada la actuación.

El **tamaño de la muestra** se determina por el tipo de análisis a aplicar. Como mínimo se necesitan **esquirlas** que tengan una superficie plana de **varios milímetros** para asegurar la elaboración de una lámina delgada.

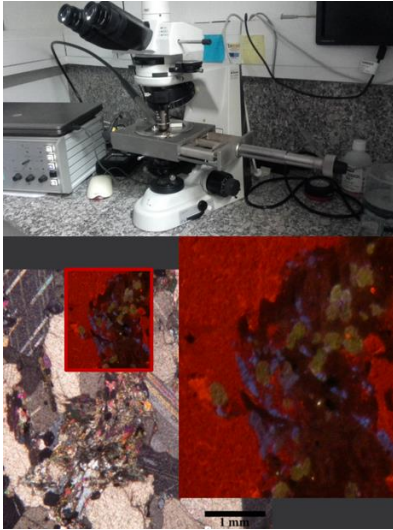
No obstante, se procura obtener una muestra de tamaño ligeramente mayor para las determinaciones geoquímicas (especialmente espectrometría de masas de las relaciones isotópicas de C y O), para lo que se requiere una **mínima cantidad de polvo**. En algunos casos, se recupera también una mínima cantidad de granos mediante el raspado con una espátula, una vez eliminada la superficie externa o pátina de alteración.

2 ANÁLISIS PETROGRÁFICO

Para completar la identificación de los mármoles empleados en cada una de la pieza se necesita llevar a cabo un **análisis petrográfico**, a partir de la elaboración de las correspondientes láminas delgadas que permitan su observación en el **microscopio óptico de luz polarizada transmitida**. Su uso ofrece información sobre los minerales presentes en la roca (calcita y/o dolomita; tamaño, forma de los límites de los granos, deformaciones, etc.), a la vez que nos muestra la estructura (bandeados, alineaciones, etc.) y textura de la roca (relaciones intergranulares, signos de deformación, etc.). La composición y textura del mármol pueden ser determinante a la hora de identificar su cantera de procedencia.

La mayoría de los mármoles blancos clásicos son calcíticos y muy pocos son puramente dolomíticos (con dolomita > 95%). Observados al microscopio petrográfico, en **lámina delgada de 30 µm de espesor**, son muy parecidos y, por tanto, de difícil diferenciación. Un método para distinguirlos es la tinción previa de la muestra mediante Alizarina roja S (La calcita se tiñe de rojo mientras que la dolomita permanece sin teñir). Adicionalmente, el mármol puede presentar **minerales accesorios** ya sean propios del protolito sedimentario original o bien pueden haberse originado durante el metamorfismo, por reacción progradada o retrógrada de los componentes de la roca primitiva. Su distribución puede contribuir a la discriminación de algunos mármoles.

3 CATODOLUMINISCENCIA



El protocolo habitual de este tipo de estudio multimétodo conlleva un análisis adicional de **catodoluminiscencia (CL)** aprovechando las mismas láminas delgadas. La CL es un complemento del estudio petrográfico de gran utilidad, ya que, con la misma lámina delgada sin cubrir, puede observarse el comportamiento luminiscente de algunos minerales al ser bombardeados por electrones en una cámara al vacío. En la imagen ampliada de la derecha se observan cristales rojos de carbonato, feldespato (en azul) y apatito (en verde).

En los carbonatos, determinados elementos traza, especialmente Mn^{2+} y Fe^{3+} son los que potencian su luminiscencia. Habitualmente se observan y caracterizan fotográficamente tres parámetros (color, intensidad y distribución de la luminiscencia), constituyendo en casos particulares a que el registro fotográfico de sus catodomicrofacies ayuden a la identificación complementaria de algunos mármoles (Lapuente y Royo, 2016; Blanc *et al*, 2020).

4 ANÁLISIS ISOTÓPICOS

Por último, la experiencia en estos estudios nos marca la necesidad de completar el estudio analítico al menos con otra técnica geoquímica, entre la que valoramos el uso de **la espectrometría de masas** para determinar las **relaciones isotópicas de C y O**.

Para ello, se precisa una mínima cantidad de muestra en polvo, libre de cualquier alteración. Esta técnica mide las relaciones entre los isótopos estables de $^{18}O/^{16}O$ frente a la relación de los del $^{13}C/^{12}C$ mediante un espectrómetro de masas. Los datos se expresan, por comparación con un patrón internacional, el Pee Dee Belemnite (PDB), como la desviación (δ) de los valores de este patrón convencional en partes por mil (‰).

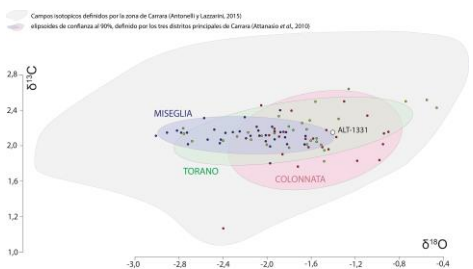
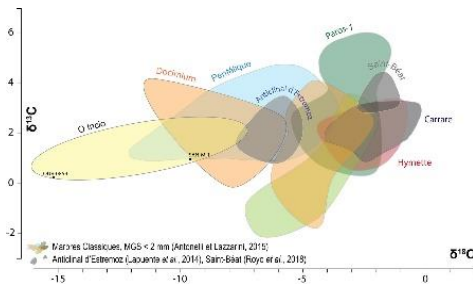
Su aplicación al estudio de procedencia se basa en el hecho de que los mármoles de una determinada región pueden presentar características isotópicas únicas y diagnósticas. Los valores de cada cantera, representados en un gráfico ($\delta^{13}C$ frente a $\delta^{18}O$), ocupan un campo característico del diagrama, con valores relativamente uniformes para estas desviaciones.

Son muchos los autores que han aportado datos de la variabilidad isotópica de los mármoles clásicos (Desde los pioneros Craig 1972, Manfra *et alii* 1975, Coleman y Walker 1979, Germann *et alii* 1979, hasta las valiosas aportaciones de Herz 1987, Moens *et alii* 1992 y las más recientes de Gorgoni *et alii* 2002, Antonelli y Lazzarini 2015 Brilli *et alii* 2018; Wielgosz-Rondolino *et alii* 2020) donde se intenta circunscribir con mayor precisión las variaciones de las relaciones isotópicas para cada cantera.

Actualmente, es la técnica más utilizada y la que más fiabilidad presenta a la hora de concretar una procedencia geológica, siempre y cuando se combine con otras técnicas, como la petrografía. Ya que por sí misma, proyectando en un gráfico donde los valores isotópicos de la mayoría de canteras se solapan, es obvio que sólo con los datos isotópicos de C y O, no es suficiente para diferenciar el origen de un mármol. Por ello, es preciso remarcar la valiosa información que esta técnica aporta, cuando se utiliza como complemento verificando las observaciones petrográficas.

Nuestro equipo ha contribuido a caracterizar las relaciones isotópicas de los mármoles hispanos, aspecto de gran importancia para asegurar su correcta discriminación de los clásicos.

DIAGRAMAS ISOTÓPICOS



LITOTECA MARMÓREA



⑥ COMPARACIONES DE LOS RESULTADOS CON LAS BASES DE DATOS ANALÍTICAS DE MÁRMOLES DISPONIBLES

Una vez analizadas las muestras arqueológicas, se comparan los parámetros determinados con los que presentan los mármoles de cantera. En la actualidad nuestra **colección de referencia**, formada por más de 7.500 muestras y en continua ampliación, contempla los peninsulares más importantes explotados desde época romana, así como los pirenaicos de las vertientes francesa y española. Se cuenta además con una amplia colección de mármoles clásicos de toda la cuenca mediterránea, gracias a la disponibilidad de varias litotecas marmóreas (Colecciones LEMLA/UAB-ICAC-Unizar). Por todo ello, no solo contamos con el conjunto de referencia actualmente más completo en España, sino que además disponemos de sus parámetros identificativos usando el **mismo protocolo analítico** desde los años 90 del siglo pasado.



BIBLIOGRAFIA

PUBLICACIONES DE REFERENCIA SOBRE METODOLOGÍA DE ESTUDIO EN LA CARACTERIZACIÓN DE MÁRMOLES ARQUEOLÓGICOS CLÁSICOS

- (1) Antonelli, F., Lazzarini, L. (2015). An updated petrographic and isotopic reference database for white marbles used in antiquity. *Rendiconti Lincei* 26, 399–413.
- (2) Coleman, M., Walker, S. (1979). Stable isotope identification of Greek and Turkish marbles. *Archaeometry* 21, 107–112.
- (3) Brilli, M., Lapuente M.P., Giustini F., Royo, H. (2018). Petrography and mineralogy of the white marble and black stone of Göktepe (Muğla, Turkey) used in antiquity: new data for provenance determination. *Journal Archeological Science: Report*, 19, 625-642.
- (4) Craig, H., Craig, V. (1972). Greek Marbles: Determination of Provenance by Isotopic Analysis. *Science, New Series* 176, 401–403.
- (5) Germann, K., Holzmann, G., Winkler, F.J. (1980). Determination of marble provenance: limits of isotopic analysis. *Archaeometry* 22, 99–106.
- (6) Gorgoni, C., Lazzarini, L., Pallante, P., Turi, B. (2002). An updated and detailed mineropetrographic and CO stable isotopic reference database for the main Mediterranean marbles used in antiquity, in: Herrmann, J.J., Herz, N., Newman, R. (Eds.), *Proceedings of the Fifth International Conference of the ASMOSIA* (Boston, June 1998). Archetype Publications, London, pp. 115–131.
- (7) Herz, N. (1987). Carbon and oxygen isotopic ratios: a data base for classical Greek and Roman marble. *Archaeometry* 29, 35–43.
- (8) Moens, L., Roos, P., De Paepe, P., Scheurleer, R.L. (1992). Provenance Determination of White Marble Sculptures from the Allard Pierson Museum in Amsterdam, Based on Chemical, Microscopic and Isotopic Criteria, in: Waelkens, M., Herz, N., Moens, L. (Eds.), [ASMOSIA II] *Ancient Stones: Quarrying, Trade and Provenance. Interdisciplinary Studies on Stones and Stone Technology in Europe and Near East from the Prehistoric to the Early Christian Period.*, Acta Archaeologica Lovaniensia. Leuven University Press, Leuven, Belgium, pp. 269–276.
- (9) Wielgosz-Rondolino, D., Antonelli, F., Bojanowski, M.J., Gładki, M., Göncüoğlu MC, Lazzarini L. (2020). Improved methodology for identification of Göktepe white marble and the understanding of its use: A comparison with Carrara marble. *J. Archaeol. Sci.* 113, 105059.

PUBLICACIONES, EN ORDEN CRONOLÓGICO, SOBRE METODOLOGÍA DE ESTUDIO EN LA CARACTERIZACIÓN DE MÁRMOLES ARQUEOLÓGICOS, REALIZADAS POR EL EQUIPO

- (1) Lapuente Mercadal, M.P. (1991). Petrología-Arqueología. En: "Zaragoza. Prehistoria y Arqueología. Área de Cultura. Ayuntamiento de Zaragoza. 60 -61.
- (2) Lapuente Mercadal, M.P. (1994). La aplicación de técnicas mineralógicas-petrologías a material arqueológico. Estudio preliminar de elementos de las Cinco Villas. *Suessetania*, 14, 126 - 133.
- (3) Lapuente Mercadal, M.P. (1994). Técnicas mineralógicas y geoquímicas para la identificación de la procedencia de los mármoles clásicos. Su aplicación en Conservación y en el control de la Autenticidad. X Congreso Nacional de Conservación y restauración de Bienes Culturales, 553 - 564.
- (4) Lapuente Mercadal, M. P. (1996). La Mineralogía aplicada en Arqueometría: una disciplina nueva. *Geogaceta*, 20, 1240 - 1242.
- (5) Lapuente Mercadal, María Pilar. (1996). Estudio del material lítico en Arqueometría. En Pérez-Arantegui et al "Arqueometría y caracterización de materiales arqueológicos". 81 - 93. ISBN 84-88549-29-6.
- (6) Pérez Arantegui, J., Aguarod, M. C., Lapuente, M. P., Feliú, M., Pernot, M. (1996). *Arqueometría y Caracterización de materiales arqueológicos*. 93pp. ISBN 84-88549-29-6.
- (7) Lapuente, M.P., Auqué, L.F., Cuchí, J.A., Igea, J., Royo, H. (2011). Petrología y Geoquímica aplicadas a Patrimonio (PGPA). Ciencia y Tecnología para la Conservación del patrimonio Cultural, 49 - 52. ISBN 978-84-694-6137-2.
- (8) Lapuente, P.; Álvarez, A. (2012). Métodos para la identificación de los mármoles. En V. García-Entero (ed.), "El marmor en Hispania. Explotación, uso y difusión en época romana". UNED Madrid, 75 - 92. ISBN 978-84-362-6593-4.
- (9) Lapuente, P., Álvarez, A., Royo, H. (2014). Métodos analíticos en el estudio del mármol estatuario. ¿Es local o importado?. CIAC, Proceedings XVIII International Congress of Classical Archaeology. Centre and Periphery in the Ancient World. 131 - 134. ISBN 978-84-606-7624-9.
- (10) Lapuente Mercadal, M.P. (2014). Archaeometry on stones. Multi-method approach to investigate stone provenance. Studied cases from Roman Hispanic marmora. *Archaeometriai Muhely*. 11 - 3, 149 - 158.
- (11) Lapuente Mercadal, M.P., Royo Plumed, H., Brilli, M., Cuchí Oterino, J.A. (2016). Mármoles escultóricos romanos del patrimonio de Aragón. Nuevas aportaciones arqueométricas. I Congreso CAPA. Arqueología y Patrimonio Aragonés, 539 - 548. ISBN 978-84-608-8580-1.
- (12) Lapuente, P., Royo, H. (2016). Cathodoluminescence for the characterization of ancient marble: problems and research perspective. In: T. Ismaelli and G. Scardozzi, (Ed.) "Ancient quarries and building sites in Asia Minor. Research on Hierapolis in

Phrygia and other cities in south-western Anatolia: archaeology, archaeometry, conservation”, Edipuglia, Bari. 541-548. ISBN: 978-88-7228-819-1. DOI: 10.4475/819.

- (13) Lapuente Mercadal, P. (2017). Mármoles en época romana: transporte, mercado, identificación. En Giráldez P. y Vendrell, M. (Coord.) "BELLA PEDRA VELLA. Explotación, usos y conservación en el ámbito de la Corona de Aragón" ISBN 978-84-938711-6-1. 115-129.
- (14) Gutiérrez García-M, A., Savin, M.-C., Lapuente, P., Florian, P., Franceschi, M., Chapoulie, R., Pianet, I. (2019). NMR as a tool of the future for cultural heritage. Application to the origin of antic white marbles. *Archaeometry*, <https://doi.org/10.1111/arcm.12456>
- (15) Pianet, I., Gutiérrez García-M., A., Savin, M.-C., Lapuente, P., Sánchez de la Torre, M. and Le Bourdonnec, F-X. (2019). Sourcing and nuclear magnetic resonance: new applications for old materials. *Star: Science & Technology of Archaeological Research*, <https://doi.org/10.1080/20548923.2019.1643549>
- (16) Lapuente Mercadal, P. (2019). Arqueometría para la determinación del origen de materiales. En "Espacios de Canteras Históricas". Capítulo 2. 19-26. IGME – EEA, CSIC. Serie: Recursos Minerales Nº 10.
- (17) Pianet, I., Gutiérrez-García M. A. et Lapuente Mercadal, P. (2020). Approche archéométrique pour l'identification de la provenance des marbres blancs. *Aqvitania*, 36, 289-300.
- (18) Blanc, P., Lapuente Mercadal, M.P., Gutiérrez García-Moreno, A. (2020). A New Database of the Quantitative Cathodoluminescence of the Main Quarry Marbles Used in Antiquity, *Minerals*. 10, 381. <https://doi.org/10.3390/min10040381>.

PUBLICACIONES, EN ORDEN CRONOLÓGICO, SOBRE CARACTERIZACIÓN DE MÁRMOLES DE CANTERA, REALIZADAS POR EL EQUIPO

- (1) Lapuente Mercadal, M.P. (1988). Características petrográficas de los mármoles hispanos. En: M. Cisneros, "Mármoles Hispanos: su empleo en la Hispania romana". Apéndice, 142 - 147. ISBN 84-600-70103-7.
- (2) Lapuente M.P., Cisneros, M., Ortiga M. (1988). Contribución a la identificación de mármoles españoles empleados en la antigüedad. Estudio histórico y petrológico. *Noticiario arqueológico hispano*, 30, 255 - 274. ISSN 0211-1748.
- (3) Lapuente Mercadal, M.P. (1994). Catodoluminiscencia de los mármoles blancos de la Península Ibérica. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*. 17 - 1, 39 - 40. ISSN 0210-6558.
- (4) Lapuente Mercadal, M.P. (1995). Mineralogical, Petrographic and Geochemical characterization of white marbles from Hispania. En Y. Maniatis (ed.) "The Study of Marble and Other Stones used in Antiquity". 151 - 160. ISBN 1-8731-32-01-8.
- (5) Lapuente, M.P., Turi, B. (1995). Marbles from Portugal: Petrographic and isotopic characterization. *Science and Technology for Cultural Heritage*, 4 - 2, 33 - 42. ISSN 1121-9122.
- (6) Lapuente, M.P., Turi, B. (1998). Caracterización isotópica de los mármoles clásicos de canteras Galo-Hispánicas. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*. 21 - 1-A, 124 - 125. ISSN 0210-6558.
- (7) Lapuente Mercadal, M.P., Turi, B., Blanc, Ph. (1998). Criterios de diferenciación para los mármoles de la provincia de Málaga. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía* 21 - 1-A, 126 - 127. ISSN 0210-6558.
- (8) Lapuente Mercadal, M. P. (1999). Problemas petrográficos en la identificación de mármoles clásicos: Diferenciación de Carrara y Borba. *Caesaraugusta*. 73, 279 - 288. ISSN 0007-9502.
- (9) Lapuente, M.P., Turi, B., Blanc, P. (2000). Marbles from Roman Hispania - Stable-Isotope and Cathodoluminescence Characterization. *Applied Geochemistry*. 15 - 10, 1469 - 1493. ISSN 0883-2927.
- (10) Lapuente, P., Blanc, Ph. (2002). Marbles from Hispania: scientific approach based on Cathodoluminescence. En J. J. Herrmann, N. Herz & R. Newman (eds.) "Interdisciplinary studies on ancient stones", London, 143 - 151. ISBN 1-873132-08-5.
- (11) Lapuente, P., Preite-Martinez, M., Turi, B., Blanc, Ph. (2002). Characterization of dolomitic marbles from the Malaga province (Spain). En J. J. Herrmann, N. Herz & R. Newman (eds.) "Interdisciplinary studies on ancient stones", London, 152 - 162. ISBN 1-873132-08-5.
- (12) Lapuente, M.P., Gimeno, M.J., Auqué, L.F., Asta, M.P. (2005). Parámetros de color de los mármoles "blancos" de Saint Béat, Alto Garona (Francia). *Macla*, 3, 121 - 122. ISSN 1885-7264.
- (13) Gutiérrez García-M, A. (2008). Recursos lapídeos del noreste de la península ibérica en época romana: canteras y ciudades. *Bollettino di Archeologia On Line volume speciale*, 13-33.
- (14) Álvarez, A., Domènech, A., Lapuente, P., Pitarch, A., Royo, H. (2009). Marbles and stones of Hispania. Exhibition Catalogue. 143 pp. ISBN 978-84-93680961.
- (15) Gutiérrez García-M., A., Royo Plumed, H., González Soutelo, S. (2014). Archaeometric Characterization and First Distribution Study of a Spanish Marble used in Antiquity: The Marble from O Incio. 40th International Symposium on Archaeometry (ISA2014), Abstract Book, Los Angeles, 98-99.
- (16) Brilli, M.; Giustini, F.; Conte, A. M.; Lapuente Mercadal, P.; Quarta, G.; Royo Plumed, H.; Scardozzi, G.; Belardi, G. (2015). Petrography, geochemistry, and cathodoluminescence of ancient white marble from quarries in the southern Phrygia and northern

Caria regions of Turkey: Considerations on provenance discrimination. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 4, 124 - 142. ISSN 2352-409X.

- (17) Royo H., Lapuente, P., Ros, E., Cuchí, J. A., Preite-Martinez, M. (2015). Discriminating criteria of Pyrenean Arties marbles (Aran Valley) from Saint-Béat marbles: evidence of Roman use. En P. Pensabene & E. Gasparini (eds.) "Proceedings of ASMOSIA X Interdisciplinary Studies on ancient stone". 671 - 680. ISBN 978-88-913-0770-5.
- (18) Gutiérrez García-M. A., Royo Plumed, H., González Soutelo, S., Savin, M.C., Lapuente, P.; Chapoulie, R. (2016). The marble of O Incio (Galicia, Spain): Quarries and first archaeometric characterization of material used since Roman times. *Archeosciences- Revue d Archeometrie*, 40, 103 - 117. ISSN 1960-1360.
- (19) Brilli, M., Conte, A.M., Giustini, F., Lapuente Mercadal, M.P., Melica, D., Quarta, G., Royo-Plumed, H., Scardozi, G. (2016). Archeometric characterization of the white marbles from the ancient quarries in the territory of Hierapolis and in the southern sector of the Denizli basin, with an appendix on the Aphrodisian marble. In: T. Ismaelli and G. Scardozi, (Ed.) "Ancient quarries and building sites in Asia Minor. Research on Hierapolis in Phrygia and other cities in south-western Anatolia: archaeology, archaeometry, conservation", Edipuglia, Bari. 101-118. ISBN: 978-88-7228-819-1. DOI: 10.4475/819.
- (20) Lapuente, P., Nogales-Basarrate, T., Royo, H. and Brilli, M., Savin, M.C. (2018). Grey and greyish banded marbles from the Estremoz Anticline in Lusitania. In: Daniela Matetić Poljak and Katja Marasović (Eds.) Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. Proceedings of the XI ASMOSIA Conference (Split 2015), 391-399. 2018. ISBN 978-953-6617-49-4 (Arts Academy in Split). ISBN 978-953-6116-75-1 (Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy). DOI: 10.31534/XI.asmosia.2015/02.24
- (21) Brilli, M., Lapuente M.P., Giustini F., Royo, H. (2018). Petrography and mineralogy of the white marble and black stone of Göktepe (Muğla, Turkey) used in antiquity: new data for provenance determination. *Journal Archeological Science: Report*, 19, 625-642. DOI: 10.1016/j.jasrep.2018.03.037
- (22) Royo, H., Lapuente, P. Cuchí, J.A., Brilli, M., Savin, M.-C. (2018). Updated characterization of the white and greyish Saint-Béat marbles. Parameters of its discrimination from classical marbles. In: Daniela Matetić Poljak and Katja Marasović (Eds.) Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. Proceedings of the XI ASMOSIA Conference (Split 2015), 379-389. ISBN 978-953-6617-49-4 (Arts Academy in Split). ISBN 978-953-6116-75-1 (Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy). DOI: 10.31534/XI.asmosia. 2015/02.23
- (23) Brilli, M., Lapuente, P., Giustini, F., Royo, H. (2019). Reply to «Comments on the paper «Petrography and Mineralogy of the white marble and black stone of Göktepe (Muğla, Turkey) used in antiquity: new data for provenance determination" by M. Brilli, M.P. Lapuente, F. Giustini and H. Royo Plumed, JAS Reports 2018, 19, 625-642) JASREP_2019_292.
- (24) Lapuente Mercadal, M.P., Cuchí Oterino, J.A., Blanc, Ph., Brilli, M. (2021). Louvie-Soubiron Marble: Heritage Stone in the French Pyrenean Ossau Valley- First Evidence of the Roman Trans-Pyrenean Use, *Geoheritage*. 13, 17. DOI: 10.1007/s12371-021-00534-2.
- (25) Savin M.-C. (2021). Exploitation et usage du marbre sur le territoire galicien de l'époque romaine à l'achèvement de la cathédrale romane de Saint-Jacques-de-Compostelle (I^{er}- XIII^e siècles p.C.), Tesis Doctoral inédita, Universidad de Zaragoza y Universidad de Bordeaux-Montaigne.
- (26) Savin, M.-C., Gutiérrez García-M, A., Lapuente Mercadal, P., Pianet, I., Royo, H., Chapoulie, R., González Soutelo, S. (en prensa) Marble resources in the NW of Spain: a scarce and poor-quality stone?, in: Natural stone for cultural heritage: local resources with a global impact, Springer.
- (27) Lapuente, P. (en prensa) "El Pirineo, una fuente principal de mármol en el occidente romano" in: Barcino-Tarraco-Roma. Poder y prestigio en mármol. Libro homenaje a Isabel Rodà de Llanza (en revisión).

PUBLICACIONES, EN ORDEN CRONOLÓGICO, SOBRE CARACTERIZACIÓN DE MÁRMOLES DE PIEZAS ARQUEOLÓGICAS, REALIZADAS POR EL EQUIPO

- (1) Lapuente, P.; Ortiga, M.; Cisneros, M. (1985). Nueva aportación al estudio del sarcófago romano de Tarazona. *Turiaso VI*, pp. 407. ISSN 0211-7207.
- (2) Lapuente, M. P., Turi, B., Lazzarini, L., Mostalac, A. (1996). Provenance determination of marbles of three Paleochristian Sarcophagi from Aragon (Spain). En G. Summers (ed.), 29th International Symposium on Archaeometry. Ankara, 127 - 132. ISBN 975-9491-907.
- (3) Lapuente, M.P., Turi, B., Lazzarini, L., Nogales, T. (1999). Provenance investigation of white marble sculptures from Augusta Emerita, Hispania. En M. Schvoerer (ed.), Archéomatériaux. Marbles et autres roches. Bordeaux, 111 - 116. ISBN 2-86781-244-5.
- (4) Nogales, T.; Lapuente, M.P.; de la Barrera, J.L. (1999). Marbles and others stones used in Augusta Emerita, Hispania. En M. Schvoerer (ed.), Archéomatériaux. Marbles et autres roches. Bordeaux. ISBN 2-86781-244-5.
- (5) Nogales-Basarrate, T., Gonçalves, L.J., Lapuente, P. (2008). Materiales lapídeos, mármoles y talleres en Lusitania. En T. Nogales Basarrate & J. Beltrán (ed.), "Marmora Hispana: explotación y uso de los materiales pétreos en la Hispania Romana". Hispania Antigua. Serie Arqueológica, 2. L'Erma Di Bretschneider, 407-466. ISBN 978-88-8265-453-5.

- (6) Lapuente, P., Turi, B., Blanc, Ph. (2009). Marbles and coloured stones from the Theatre of Caesaraugusta (Hispania). Preliminary study. *ASMOSIA VII*, 509 - 522. ISBN 978-2-86958-207-1.
- (7) Royo, H.; Lapuente, P.; Nogales, T. (2010). Primeros resultados arqueométricos en el estudio de los programas estatuarios del foro de Regina (provincia *Baetica*). *Actas VIII Congreso Ibérico de Arqueometría*, 147 - 156. ISBN 978-84-8854-9389.
- (8) Gutiérrez García-M. A. y Rodà de Llanza, I. (2012). El mármol de Luni-Carrara en la fachada mediterránea de Hispania. En S. Keay, (ed.) "Rome, Portus and the Mediterranean", 21, *Archaeological Monographs of The British School at Rome*, London. 293-312.
- (9) Lapuente, P., Cuchí, J.A., Royo, H., Preite-Martinez, M., Blanc Ph., Garcés C. (2012). Study of provenance of the Roman sarcophagus known today as the tomb of King Ramiro II of Aragon. En A. Gutiérrez García-M., P. Lapuente, I. Rodà, (eds.), *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. IX ASMOSIA Conference Tarragona Documenta*, 23, ICAC, 419 - 425. 2012. ISBN 978-84-939033-8-1.
- (10) Lapuente, P., León, P., Nogales, T., Royo, H., Preite-Martinez M., Blanc Ph. (2012). White sculptural materials from Villa Adriana. Study of provenance. En A. Gutiérrez García-M., P. Lapuente, I. Rodà, (eds.), *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. IX ASMOSIA Conference Tarragona Documenta*, 23, ICAC, 364 - 375. ISBN 978-84-939033-8-1.
- (11) Lapuente, P., León, P., Nogales Basarrate, T., Royo, H., Preite-Martinez, M., Blanc, Ph. (2012). Black sculptural materials from Villa Adriana: Study of provenance. En A. Gutiérrez García-M., P. Lapuente, I. Rodà, (eds.), *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. IX ASMOSIA Conference Tarragona Documenta*, 23, ICAC, 376 - 383. ISBN 978-84-939033-8-1.
- (12) González Soutelo, S., Gutiérrez García-M, A., Royo Plumed, H. (2013). [poster] El mármol de O Incio: proyecto de caracterización y estudio de la explotación y uso de un marmor local en la Galicia romana.
- (13) Lapuente, P., León, P., Nogales-Basarrate, T. (2013). Variedades de mármol escultórico de Villa Adriana. Un ejemplo de estudio arqueométrico. Roma, Tibur, Baetica. *Investigaciones Adrianeas*, 210 - 225. ISBN 978-8447214709.
- (14) Lapuente, P., Cuchí, J.A., Royo, H.; Garcés, C. (2013). Estudio arqueométrico del sarcófago romano hoy tumba del rey aragonés Ramiro II el Monje. *Bolskan*, 24, 73 - 84. 2013. ISSN 0214-4999.
- (15) González Soutelo, S., Gutiérrez García-M, A., Royo Plumed, H. (2014). El mármol de O Incio: proyecto de caracterización estudio de la explotación y uso de un marmor local en la Galicia romana. Presented at the CIAC XVIII Congreso Internacional de Arqueología Clásica, de 13 al 17 maig 2013, Mérida, pp. 323–326.
- (16) Lapuente, P.; Nogales-Basarrate, T.; Royo, H.; Brilli, M. (2014). White marble sculptures from the National Museum of Roman Art (Mérida, Spain): Sources of local and imported marbles. *European Journal of Mineralogy*, 26 - 2, 333 - 354. ISSN 0935-1221.
- (17) Antonelli, F.; Lapuente, M. P.; Dessandier, D.; Kamel, S. (2015). Petrographic characterization and provenance determination of the crystalline marbles used in the Roman City of Banasa (Morocco): New data on the import OF Iberian Marble in Roman North Africa. *Archaeometry*, 57 (3), 405 - 425. ISSN 0003-813X.
- (18) Lapuente, P. Royo, H., Cuchí, J.A., Justes, J., Preite-Martinez, M. (2015). Local stones and marbles found in the territory of "Alto Aragon" (Hispania) in Roman Times. En P. Pensabene & E. Gasparini (eds.) "Proceedings of ASMOSIA X Interdisciplinary Studies on ancient stone". 183 - 192. ISBN 978-88-913-0770-5.
- (19) Andreu, J., Lapuente, P. Royo H., Brilli, M. (2015). Imported marbles from the Roman cities of Cinco Villas de Aragón (Zaragoza), North of Hispania Citerior. En P. Pensabene & E. Gasparini (eds.) "Proceedings of ASMOSIA X Interdisciplinary Studies on ancient stone", 13 - 22. ISBN 978-88-913-0770-5.
- (20) Nogales Basarrate, T.; Lapuente, P.; Royo, H.; Preite-Martinez M. (2015). Stone materials in Lusitania reflecting the process of Romanization. En P. Pensabene & E. Gasparini (eds.) "Proceedings of ASMOSIA X Interdisciplinary Studies on ancient stone", 233 - 242. ISBN 978-88-913-0770-5.
- (21) Royo, H.; Ruiz, F.J.; Cuchí, J.A; Lapuente, P. Estudio arqueométrico de mármoles procedentes del Teatro Romano de Huesca. (2015). Lucas Mallada. 17, pp. 45 - 57. ISSN 0214-831560.
- (22) Ahrens, S., Brilli, M., Caglia, M.P., Cox, J., Maniatis, Y., Quarta, G., Lapuente, P., Scardozzi, G., Tambakopoulos, D. and Van Keuren, F. (2016). Marble sarcophagi from the St. Philip Church of Hierapolis and the North-East Necropolis: Archaeometric characterization and marble provenance identification. In: T. Ismaelli and G. Scardozzi, (Ed.) "Ancient quarries and building sites in Asia Minor. Research on Hierapolis in Phrygia and other cities in south-western Anatolia: archaeology, archaeometry, conservation", Edipuglia, Bari. 259-276. ISBN: 978-88-7228-819-1. DOI: 10.4475/819.
- (23) González Soutelo, S.G., Álvarez, S.V., Garcia, A.G., Plumed, H.R. (2016). La placa de Amiadoso (Allariz, Ourense): Nuevos datos sobre el uso del mármol local en el noroeste de Hispania a partir de un estudio interdisciplinar= The Amiadoso plaque (Allariz, Ourense): New Data from an Interdisciplinary Studyabout the Use... *Espacio Tiempo y Forma. Serie I, Prehistoria y Arqueología* 99–121. DOI: 10.5944/etfi.9.2016
- (24) Gutiérrez García-M., A., Royo Plumed, H., González Soutelo, S., Savin, M.-C., Lapuente, P., Chapoulie, R., (2016). The marble of O Incio (Galicia, Spain): Quarries and first archaeometric characterisation of a material used since roman times. *ArcheoSciences. Revue d'archéométrie* 103–177. DOI: 10.4000/archeosciences.4783
- (25) Lapuente Mercadal, M.P., Royo Plumed, H., Brilli, M., Cuchí Oterino, J.A. (2016). Mármoles escultóricos romanos del patrimonio de Aragón. Nuevas aportaciones arqueométricas. I Congreso CAPA. *Arqueología y Patrimonio Aragonés*, 539 - 548. ISBN 978-84-608-8580-1.

- (26) Royo Plumed, H.; Cuchí Oterino, J.A.; Alagón Castán, A.; Lapuente Mercadal, M.P.; Brilli, M. (2016). Estudio arqueométrico de un conjunto romano de placas de mármol halladas en un solar de Osca". I Congreso CAPA. Arqueología y Patrimonio Aragonés, 609 - 615. 2016. ISBN 978-84-608-8580-1.
- (27) Quarta, G., Brilli, M., Giustini, F., Melica D., Lapuente, M.P., Royo, H., Ismaelli, T., Scardozi, G. (2016). Provenance of the marbles used in the monuments of Hierapolis through an archaeometric approach: Petrography, Isotopes and Cathodoluminescence. In: T. Ismaelli and G. Scardozi, (Ed.) "Ancient quarries and building sites in Asia Minor. Research on Hierapolis in Phrygia and other cities in south-western Anatolia: archaeology, archaeometry, conservation", Edipuglia, Bari. 183-230. ISBN: 978-88-7228-819-1. DOI: 10.4475/819
- (28) Vidal Álvarez, S., García-Entero, V., Gutiérrez García-M., A. (2016). La utilización del mármol de Estremoz en la escultura hispánica de la Antigüedad tardía: los sarcófagos. Actas del XI Congreso Ibérico de Arqueometría (Évora, Portugal). *Digitar* 3, 119-128.
- (29) Nogales-Basarrate, T., Lapuente, P., Rodà, I. (2017). Dos nuevos retratos de Caesaraugusta (Zaragoza). In: Actes XIV Colloque International sur l'Art Provincial Romain. June 2015, Dijon, France. *Iconographie du quotidien dans l'art provincial romain: Modèles régionaux*, 44e suppl. à la *Revue Archéologique de l'Est*, 261-270.
- (30) Gutiérrez García-M., A., Royo Plumed, H., González Soutelo, S. (2018). New Data on Spanish Marbles: The Case of Gallaecia (nw Spain), in: D. Matetić Poljak, K. Marasović (Eds.), [ASMOSIA XI] Interdisciplinary Studies on Ancient Stone: Proceedings of the Eleventh International Conference of ASMOSIA, Split, 18-22 May 2015, University of Split - Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, Split, Croatia, 2018: pp. 401-411.
- (31) Lapuente Mercadal, P. (2018). Analíticas marmóreas: Actualización de las variedades escultóricas de Villa Adriana. En: P. León y T. Nogales (Ed.) "Villa Adriana. Escultura de los almacenes". *Hispania Antigua, Serie Arqueológica*, 9, L'Erma di Bretschneider, pp. 401-416.
- (32) Lapuente, M.P., Rodà I., Koppel, E., Aguarod, C. (2018). Reflexiones sobre un pie escultórico de mármol de la Colonia Caesar Augusta. Actas II Congreso CAPA Arqueología y Patrimonio Aragonés. Zaragoza, 9-10 Noviembre 2017. Sesión2. *Arqueología Clásica*.2.12. 319-324. ISBN: 978-84-09-02130-7.
- (33) Pollini, J., Lapuente, P., Nogales-Basarrate, T., Podany, J. (2018). A new Roman imperial relief said to be from Southern Spain: Problems of style, iconography and marble type in determining provenance. In: Daniela Matetić Poljak and Katja Marasović (Ed.) "Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. Proceedings of the XI ASMOSIA Conference (Split 2015)", 413-425. 2018. ISBN 978-953-6617-49-4 (Arts Academy in Split). ISBN 978-953-6116-75-1 (Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy). DOI: 10.31534/XI.asmosia.2015/02.26
- (34) Brilli, M., Savin, M.-C. (2019). Provenance study of the white marbles of the "Baths of Elagabalus" at the Palatine Hill in Rome, *Archaeol Anthropol Sci*. DOI: 10.1007/s12520-019-00895-4.
- (35) Gutiérrez García-M., A., Lapuente Mercadal, P., Di Febo, R. (2019). Análisis arqueométrico de la pieza escultórica. En "Las Termas Imperiales de Toletum. Investigaciones 2004-2018". Sánchez-Chiquito, S. y Fernández, C. (coords.). *Los Monográficos del Consorcio 7, Capítulo IX*. 213-224. Consorcio de Toledo.
- (36) Aguarod Otal, C., Lapuente Mercadal, M.P. (2020). La ornamentación marmórea de la natatio de las termas centrales de Caesaraugusta y su procedencia, in: Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón (Ed.), III Congreso CAPA arqueología patrimonio aragonés, actas 14 y 15 noviembre de 2019, Zaragoza, pp. 303-312.
- (37) González Soutelo, S., Gutiérrez García-M., A., Lapuente Mercadal, P., Rodà de Llanza, I. (2020). Un busto inédito procedente de Abegondo (A Coruña), in: *Escultura romana en Hispania IX, EDITUM*. Ediciones de la Universidad de Murcia, Murcia, pp. 273-286.
- (38) González Soutelo, S., Gutiérrez García-Moreno, A., González Bordas, H., Savin, M.-C. (2020). Estudio epigráfico y arqueométrico de la placa funeraria de Cela (Mos, Pontevedra): nuevas propuestas de interpretación., *Estudos Do Quaternário / Quaternary Studies*. 71-84. DOI: doi.org/10.30893/eq.v0i20.193.
- (39) González Soutelo, S., Gutiérrez García-Moreno, A. (2020). El proyecto "Marmora Galicia": identificación y estudio de la explotación, empleo y circulación de los mármoles en el NW peninsular en época romana y tardorromana, *Monografías de Prehistoria y Arqueología UNED*. 1, 191-264. DOI: 10.5944/monografias.prehistoria.arqueologia.2020.08.
- (40) González Soutelo, S., Gutiérrez García-M., A., Lapuente Mercadal, P., Rodà de Llanza, I. (2020). Un busto inédito procedente de Abegondo (A Coruña), in: *Escultura romana en Hispania IX, EDITUM*. Ediciones de la Universidad de Murcia, Murcia, pp. 273-286.
- (41) Gutiérrez García-M., A., Lapuente Mercadal, P., Di Febo, R. (2020). Procedencia del mármol de la pila bautismal de la Catedral románica de Barcelona: Estudio arqueométrico. En: *La Basílica de la Santa Creu i Santa Eulalia: La Catedral abans de la Catedral*. IV Jornades de les basíliques històriques de Barcelona (2 i 3 de maig de 2019), Barcelona 2020, 71-77.
- (42) Lapuente Mercadal, P.L., Savin, M.C., García Soutelo, S., Gutiérrez García-M., A., Chapoulie, R., Marqueze, A.L., García, P. (2020). Marble Pieces in the Romanesque Portal of Glory of the Santiago de Compostela Cathedral. New Data through a Multi-Analytical Approach, *Inter. Journal of Architectural Heritage*. 14, 1239-1251. DOI: 10.1080/15583058.2019.1602683.
- (43) Carreras Monfort, C., Guàrdia Felip, J., Guitard i Duran, J., Gutiérrez García-Moreno, A., Lapuente Mercadal, M.P., di Febo, R. (2021). El descubrimiento del Fórum de Iulia Libica (Llívia) y de sus vestigios de estatuaria. *Marider Mitteilungen*, 62, 430-456.

- (44) Gutiérrez Garcia-M. A., Lapuente Mercadal, P. and Di Febo, R. **(2021)**. Provenance identification of a white marble head from the Roman era, found in Caldes de Montbui (Barcelona, Spain), using multimethod analysis. *People Abroad Anthology*. Tübinger Arcäologische Forschungen, Johannes Lipps (Ed).
- (45) Lapuente, P., Rodà I., Gutiérrez Garcia-M., A., Brilli, M. **(2021)**. Addressing the controversial origin of the marble source used in the Phoenician anthropoid sarcophagi of Gadir (Cadiz, Spain). *Archaeometry*, 63, 3, 467-480. doi: 10.1111/arcm.12623.
- (46) Lapuente Mercadal, M.P., Nogales-Basarrate, T., Carvalho, A. **(2021)**. Mineralogical Insights to Identify Göktepe Marble in the Sculptural program of Quinta Das Longas Villa (Lusitania), *Minerals*, 11, 1194, DOI:10.3390/min11111194.
- (47) Rodà, I., Lapuente, P., Gorostidi, D., Blanc, Ph. **(en prensa)**. Multimethod marble identification for three Augustan inscriptions in Emporiae (NE Hispania). *ASMOSIA XII International Conference Proceedings*, Izmir (Turkey), 8-14 October 2018. Under review.
- (48) Ruiz, J.C., Lapuente, P., Gorostidi, D., Brilli, M. **(en prensa)**. Marble fragments of monumental inscriptions from the Tarraco Circus (Hispania Citerior). *ASMOSIA XII International Conference Proceedings*, Izmir (Turkey), 8-14 October 2018. Under review.