

La Hispania antigua y medieval a través del vidrio: la aportación de la arqueometría



Jorge de Juan Ares y Nadine Schibille*

IRAMAT-CEP, UMR5060, CNRS/Université d'Orléans, Orleans, Francia

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 24 de noviembre de 2016

Aceptado el 4 de abril de 2017

On-line el 26 de abril de 2017

Palabras clave:

Vidrio

Arqueometría

Historia

Composición química

RESUMEN

El estudio del vidrio antiguo y medieval ha permitido identificar distintos grupos composicionales que son resultado de las características químicas de las materias primas empleadas en su fabricación. Los análisis arqueométricos permiten determinar la procedencia del vidrio, demostrando que el vidrio primario fue producido y comercializado a gran escala a través del Mediterráneo durante la Antigüedad y la Edad Media. Los talleres hispanos importaron vidrio primario desde Próximo Oriente durante la mayor parte del primer milenio d. C. siguiendo un patrón paralelo al resto del Mediterráneo. Sin embargo, algunos indicios señalan que pudieron convivir con vidrios de fabricación local que merecen ser investigados. En el siglo IX el vidrio de natrón fue sustituido en al-Ándalus por vidrios elaborados con cenizas vegetales y plomo, posiblemente de producción local. Poco se conoce sobre el uso y la producción de vidrio en este periodo para el mundo cristiano peninsular.

El creciente volumen de datos analíticos demuestra el potencial de la arqueometría para profundizar en el conocimiento sobre la producción y comercialización del vidrio en la Península Ibérica en particular, y la economía antigua y medieval en general.

© 2017 SECV. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Ancient and medieval Iberia seen through glass: An archaeometric perspective

ABSTRACT

The study of ancient and medieval glasses has identified distinct compositional groups as a result of the chemical characteristics of the raw materials used for its production. Archaeometric analysis can determine the provenance of the glass, and has demonstrated a large-scale production and commercialisation of raw glass throughout the Mediterranean during the ancient and medieval periods. Secondary workshops on the Iberian Peninsula imported raw glass from the Near East for the better part of the first millennium CE, following a similar pattern observed elsewhere in the Mediterranean region. However, there are some

Keywords:

Glass

Archaeometry

History

Chemical composition

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: nadine.schibille@cnrs-orleans.fr (N. Schibille).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.bsecev.2017.04.001>

0366-3175/© 2017 SECV. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

indications that point to a local production of glass and that deserve further investigation. In the ninth century, natron glass was replaced in al-Ándalus by plant ash and lead-rich glass that may represent a local production. Little is known about the production or use of glass in the Christian parts of the peninsula during this period.

The increasing volume of analytical data on Spanish glass demonstrates the potential of an archaeometric approach to shed light not only on the production and trade of glass on the Iberian Peninsula but also on the ancient and medieval economy more generally.

© 2017 SECV. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

Desde la prehistoria hasta la actualidad las variadas cualidades del vidrio han favorecido su difusión a lo largo de miles de kilómetros como bien de prestigio e intercambio. La procedencia de los vidrios naturales, como la obsidiana, puede establecerse comparando la composición química de sus posibles fuentes de materia prima con la de los hallazgos arqueológicos, siendo desde hace tiempo una herramienta muy útil para investigar las redes comerciales a larga distancia de la prehistoria mediterránea [1,2] o de entornos insulares como las Islas Canarias [3].

El origen de los vidrios artificiales es más difícil de establecer por ser resultado de la fusión de varios componentes. En este caso además hay que tener en cuenta su posible reciclaje, los condicionantes geográficos e históricos, la disponibilidad de materias primas y la diferente evolución de las tradiciones tecnológicas locales. El creciente caudal de datos sobre el vidrio arqueológico en regiones como Próximo Oriente, el norte de África y la Europa central y meridional está transformando radicalmente nuestro conocimiento sobre la tecnología, la producción y la comercialización del vidrio durante la Antigüedad y la Edad Media, demostrando que el análisis químico del vidrio es una fuente de gran utilidad para ofrecer nueva información sobre la evolución de las relaciones comerciales a nivel local, regional y global.

A pesar de los grandes avances de los últimos años, en el contexto ibérico aún no son muy numerosos los trabajos dedicados a estudiar las familias químicas del vidrio y la procedencia de sus materias primas. Todos los indicios parecen señalar que durante la Antigüedad se importó vidrio primario de origen oriental para ser transformado en los talleres hispanos (fig. 1A). Sin embargo, a partir de fuentes textuales y las evidencias proporcionadas por algunos análisis arqueométricos es posible que se diera algún tipo de producción primaria de vidrio durante esta etapa [4]. Algunos autores han propuesto esta posibilidad para el periodo visigodo, como por ejemplo en el caso de Recópolis [5]. Posteriormente, a inicios de la época andalusí parece probable que hubiera producción de vidrio primario al menos en Murcia [6] y en Córdoba [7]. Aún son muchos los interrogantes pendientes de resolver, como el papel desempeñado por la Península Ibérica en la producción y comercialización del vidrio en el Mediterráneo occidental, cuáles fueron los grupos químicos de vidrios predominantes, la manera en que se produjo la difusión del vidrio islámico fabricado con cenizas vegetales o cómo el levante español llegaría a convertirse en un gran exportador de fundentes sódicos

durante la Baja Edad Media y la Edad Moderna [8]. La investigación de la química del vidrio histórico es de gran utilidad para analizar la compleja realidad política y económica de la península medieval, y proporciona datos objetivos sobre la producción, las relaciones comerciales con Europa y la cuenca mediterránea y su evolución a lo largo del tiempo.

El vidrio y sus materias primas en el Mediterráneo antiguo y medieval: la aportación de la arqueometría

La fabricación de vidrio es un proceso caro y complejo que requiere de conocimientos especializados sobre las materias primas, los tiempos de fusión y de enfriamiento. La composición química del vidrio se encuentra determinada por los componentes empleados en su elaboración, que son reflejo de su origen geológico y geográfico. Por consiguiente conocer su composición permite investigar la procedencia de las materias primas con las que fueron fabricados.

Los componentes del vidrio se agrupan en cuatro categorías: vitrificantes, fundentes, estabilizantes y componentes secundarios (colorantes, decolorantes, opalizantes, etc.) [9]. La sílice en forma de arena o guijarros es el principal vitrificante e ingrediente del vidrio. El segundo lugar lo ocupan los fundentes, necesarios para rebajar la temperatura de fusión de la sílice. Pueden obtenerse de la naturaleza en forma mineral (natrón) o en forma de cenizas vegetales [10]. Los fundentes dañan la estabilidad química del vidrio, un efecto compensado con la adición de estabilizantes. En los vidrios antiguos este papel lo desempeñaban principalmente el óxido de calcio y en menor medida de magnesio [11]. Los estabilizantes podían incorporarse a la mezcla como parte de la arena o de las cenizas vegetales o, intencionadamente, en forma de rocas carbonatadas o conchas. El resto de ingredientes forman una parte minoritaria de la composición y pueden ser añadidos como colorantes, decolorantes y opacifantes, o de manera involuntaria en el proceso de producción o reciclaje.

Cada uno de estos ingredientes deja su propia huella química en la composición del vidrio de manera que su análisis permite identificar las materias primas utilizadas en su elaboración, su origen y en ocasiones el lugar donde fue fabricado. Por ejemplo, es posible determinar si se emplearon fundentes minerales o vegetales y establecer su procedencia [12–15]. La composición química del vidrio puede aportar indicios para establecer el origen de los estabilizantes a partir de sus elementos traza y si fueron añadidos al vidrio a partir de rocas

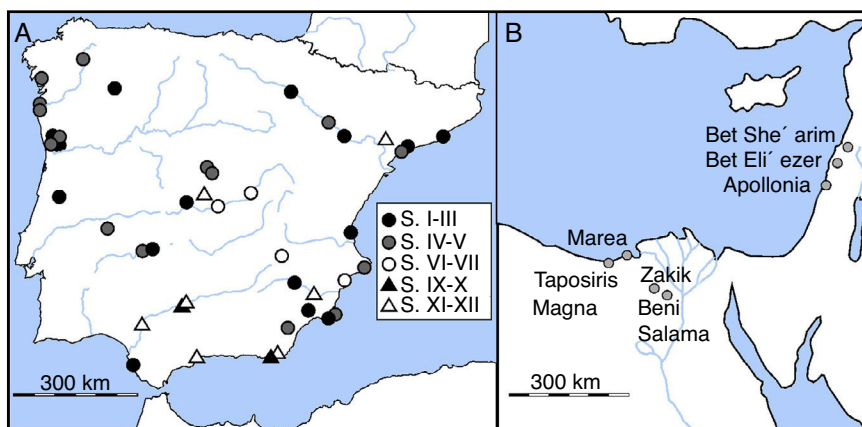


Figura 1 – A) Talleres peninsulares de vidrio (S. I-XII d.C.). Elaboración propia a partir de Duckworth et al. [7] y Sánchez et al. [40]. B) Hornos primarios de vidrio en Próximo Oriente. Fuente: Freestone et al. [16] y Freestone et al. [20].

continentales fosilizadas o de conchas marinas contemporáneas comparando sus valores isotópicos de estroncio [16]. La identificación de los componentes secundarios permite cartografiar las diferentes tradiciones técnicas y trazar su evolución a lo largo del tiempo.

Las investigaciones realizadas en el Mediterráneo han permitido reconocer un reducido número de grupos de vidrio con composiciones químicas muy homogéneas que se difundieron por toda la geografía del Imperio Romano y dominaron los repertorios arqueológicos durante la mayor parte del primer milenio (tabla 1). En la actualidad se considera que durante este periodo tan solo existieron unos pocos centros productores de vidrio primario en la costa sirio-palestina y en Egipto que fabricaban vidrio a partir de materias primas locales. Según esta interpretación el vidrio en bruto era exportado desde los talleres primarios al resto de provincias del Imperio para ser utilizado como materia prima en los talleres locales o secundarios. La validez de este modelo de producción y distribución parece corroborada por la homogeneidad generalizada de las composiciones del vidrio. La aparición de tanques de fundición de vidrio en Israel [17–20] y Egipto [21,22] (estructuras completamente desconocidas en Occidente), ha permitido correlacionar la composición de las arenas locales sirio-palestinas y egipcias con las características compositivas e isotópicas de los vidrios producidos en esos talleres [23,24] (fig. 1B). Asimismo, esta interpretación se ha visto apoyada por las investigaciones realizadas sobre pecios romanos y medievales como el Ouest Embiez 1 [25] o el Serçe Limani [26] con cargamentos de varias toneladas de vidrio oriental.

Los análisis arqueométricos parecen confirmar que el Levante Mediterráneo y Egipto mantuvieron su predominio sobre la producción de vidrio primario durante la Tardoantigüedad y los inicios de la Alta Edad Media. A lo largo de este periodo, se detectan variaciones en los grupos químicos que reflejan cambios en las dinámicas productivas locales y la alternancia de los centros productores regionales a lo largo del tiempo (tabla 1). Sin embargo, algunas evidencias parecen sugerir que estos grupos pudieron convivir durante el periodo romano con otros grupos producidos localmente en la Península Ibérica [27].

A lo largo del siglo VIII se produce en Próximo Oriente un cambio sustancial en las recetas de fabricación de vidrio primario. El natrón, que desde la Antigüedad había sido utilizado como fundente, fue sustituido de manera generalizada por cenizas vegetales ricas en sodio [10]. Esta nueva composición se encuentra presente en al-Ándalus al menos desde el siglo IX, por lo que es posible que fuera en esa época cuando se iniciara la producción de vidrio primario a partir de materias primas locales [7].

En la Península Ibérica se han realizado tradicionalmente pocas investigaciones sobre el vidrio arqueológico, existiendo un gran vacío de información sobre su evolución durante este periodo. Las investigaciones realizadas han tenido preferentemente un punto de vista arqueológico y tipológico, aunque en las últimas décadas se han realizado grandes avances. No obstante, el vidrio es un material abundante en las excavaciones arqueológicas, donde en ocasiones se contabiliza por millares de fragmentos, que quedan depositados en los almacenes de los museos. Las nuevas técnicas de análisis permiten poner en valor este material más allá de las posibilidades de su estudio formal, abriendo la posibilidad de investigar en profundidad las relaciones comerciales y la transmisión de saberes tecnológicos durante la Antigüedad y el Medievo. Un motivo por el cual habría de constituirse en una herramienta imprescindible para el estudio de la historia económica de este periodo.

Antes de la arqueometría: tipología, arqueología y fuentes escritas

La etapa romana en la Península Ibérica es la que ha recibido una mayor atención. La cronología y tipología de sus repertorios arqueológicos se encuentra relativamente bien establecida, habiéndose diferenciado características particulares en el caso de algunos talleres regionales [28–30]. Los materiales de la Hispania visigoda y bizantina son menos conocidos a pesar de los avances de los últimos años [5,31–34]. Para el siglo VIII, las características del vidrio son prácticamente ignoradas. La escasez de hallazgos parece indicar una contracción significativa del vidrio en circulación coincidiendo con la conquista islámica. El vidrio andalusí ha sido poco

Tabla 1 – Principales grupos de vidrio en el Mediterráneo, valores medios de sus componentes mayoritarios y presencia en yacimientos peninsulares (S. I-XII d.C.)

Grupos de vidrio en el Mediterráneo y en la Península Ibérica									
Fundente	Grupo de vidrio	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Siglos	Yacimientos en la Península Ibérica
Natron mineral	Vidrios con antimonio Sb ₂ O ₃ 0,35% - 3% Jackson y Paynter [58]	18,6%	1,7%	5,0%	0,4%	0,5%	0,4%	I-IV	Braga [46] Beja [83] Astorga [46] Fronteira [83] * Veranes [46]
	Vidrios con manganeso MnO 0,2% - 1,4% Jackson y Paynter [58]	16,6%	2,5%	7,7%	0,4%	0,6%	0,6%	I-IV	Saucedo [82] Mérida [48,61] La Alcudia [62] Beja [83] Carmona [10] Liria [62] * Tarragona [53] * Fronteira [83] Astorga [46] Braga [46] Vigo [46] Lugo [46] Cubas de la Sagra [63] Centro peninsular [67]
	Antimonio y manganeso (reciclaje) Sb ₂ O ₃ 0,4% - 0,9% MnO 0,19% - 0,54% Jackson y Paynter [58]	18,9%	2,2%	6,1%	0,6%	0,6%	0,5%	I-IV	Beja [83] Carmona [11] Mérida [48,59] Sevilla [60] Lugo [46]
	HIMT MnO 0,83% - 2,66% TiO ₂ 0,12% - 0,68% Jackson y Paynter [58]	18,9%	2,5%	5,9%	1,4%	0,5%	1%	IV-V	Mérida [48] Sevilla [60] * Dehesa de la Oliva [49] Cubas de la Sagra [63] La Alcudia [62] Mazarrón [11] * Tarragona [53] Braga [46] Fronteira [83] Hort de Pepica [64] * Astorga [46] Ciudad de Vascos **
	Levantine I Freestone et al. [20] Citado en Phelps et al., 2016	14,5%	3,0%	8,1%	0,5%	0,5%	0,6%	VI-VII	Tarragona [53] Rosas [66] * Ciudad de Vascos **
	Levantine II Freestone et al. [20] Citado en Phelps et al. [73]	11,6%	3,3%	6,4%	0,6%	0,4%	0,5%	VII-VIII	
	Egypt I Gratuze y Barrandon [85] Citado en Phelps et al. [73]	18,3%	4,1%	3,0%	1,7%	0,4%	0,9%	VII-VIII	
	Egypt II Gratuze y Barrandon [85] citado en Phelps et al. [73]	17,3%	2,2%	9,3%	1%	0,3%	0,6%	VIII-IX	Ciudad de Vascos **

Tabla 1 – (continuación)

Fundente vegetal	Sódicos García-Heras, 2008	19,4%	3,8%	7,4%	0,9%	2,1%	4,9%	V-XII	Toledo [75] Murcia [6] Málaga [76] Ciudad de Vascos ** Albalat **
	Plomo PbO 0,24-44% Duckworth et al., 2015	14,5%	2,5%	6,1%	0,8%	1,7%	3,3%	X-XII	Toledo [75] Córdoba [7] Murcia [6] Ciudad de Vascos ** Albalat **
	Potásicos Alonso et al. 2009	2,6%	1,7%	15,2%	0,7%	12,1%	6,7%	XII-XIII	Burgos [81,86,87]

* Atribución aproximativa a falta de datos suficientemente diagnósticos.

** En preparación.

estudiado por lo que resulta difícil establecer su evolución formal [35,36]. Desde el punto de vista tipológico el vidrio cristiano Pleno y Alto medieval es aún más desconocido y permanece inexplorado.

Son pocas las fuentes escritas que hacen referencia a la producción de vidrio en la Península Ibérica durante este periodo. La más antigua es la mención de Plinio El Viejo a la calidad de las arenas hispanas para la fabricación de vidrio, repetida posteriormente por Isidoro de Sevilla en sus *Etimologías*. Algo más detalladas, aunque tampoco numerosas, son las referencias textuales para el periodo andalusí. A partir de obras de geografía, textos poéticos y tratados de *hisba* sabemos de la existencia de cierto control sobre la calidad de la producción de los talleres en las ciudades andalusí y tenemos noticia de su existencia en Murcia, Sevilla y Almería durante los siglos X, XI y XII. Al-Maqqari, un compilador tardío del siglo XVIII, menciona que en la segunda mitad del siglo IX Ibn Firnās descubrió una nueva forma de fabricar vidrio y «fundó numerosas fábricas en al-Ándalus» [37]. Aun desconociendo cuáles fueron las aportaciones de Ibn Firnās, lo cierto es que los análisis arqueométricos detectan un cambio en las recetas de fabricación durante este periodo. La composición de los vidrios entre los siglos IX y XII indica que para esas fechas ya se había producido la completa sustitución de los vidrios de natrón por los elaborados con cenizas sódicas. En el caso de los reinos cristianos contamos con algunos indicios indirectos que acreditan la existencia de talleres vidrieros en Cataluña y Castilla durante el siglo XII, sin que de momento se hayan estudiado evidencias materiales anteriores al siglo XIII [38,39].

Sobre las manufacturas vidrieras, las investigaciones arqueológicas de los últimos veinte años señalan que a partir de la segunda mitad del siglo I, y con mayor intensidad entre los siglos III y V, se multiplicaron por toda la Península los talleres dedicados a la elaboración secundaria de vidrio (fig. 1A). En la actualidad se conocen para este periodo cerca de treinta y cinco obradores locales. A partir de los siglos VI y VII los vestigios de talleres vidrieros resultan más escasos limitándose a núcleos importantes de población como Recópolis, Cartagena y Alicante [40] y a indicios identificados en El Tolmo de Minateda, en Barcelona y en Toledo [41–43]. Los talleres indican que existió durante este periodo una producción local de objetos de vidrio, aunque por el momento desconocemos con suficiente precisión sus características.

Para el periodo andalusí solo se conocen una decena de posibles talleres, los más antiguos en Almería y Córdoba datados en el siglo IX. Con la información disponible no es posible precisar cuándo aparecieron en la Península los primeros talleres medievales de producción primaria de vidrio, aunque pudo ser en el siglo IX cuando se introdujo el uso de cenizas de plantas como fundente para la fabricación de vidrio local [7]. El mayor número de hornos y de repertorios conocidos para este periodo [7,37] sugiere que a partir de los siglos XI y XII hubo un incremento de la actividad vidriera.

La arqueometría del vidrio en la Península Ibérica

En el año 1864 Ramón Rúa Figueroa publicó el primer análisis arqueométrico de vidrios romanos de la Península Ibérica. En sus comentarios señalaba la gran similitud compositiva entre los vidrios de Río Tinto y Pompeya, proponiendo el uso intencionado de cobre y manganeso para modificar su coloración [44]. Fueron necesarios otros 150 años antes de que los análisis químicos se usaran de forma habitual en el estudio del vidrio ibérico. La mayor parte de estos trabajos se han centrado en la investigación de los procesos de degradación del vidrio con vistas a su conservación y en la evaluación de las técnicas analíticas empleadas [45]. En la Península Ibérica, a pesar de los avances realizados, los conocimientos sobre los grupos químicos de vidrio y el origen de sus materias primas siguen siendo muy limitados. Algunos resultados presentan problemas para su comparación con los de otras regiones mediterráneas por el uso de diferentes metodologías, la ausencia de valores para algunos elementos diagnósticos en el caso de algunos de los grupos conocidos o el empleo de técnicas con intervalos de error demasiado amplios [46,47]. En todo caso, la causa principal de esta limitación es el reducido número de análisis realizados hasta el momento.

Los vidrios de natrón

Si comparamos los vidrios peninsulares con los de otras regiones parece que siguieron una evolución paralela a la del resto del Mediterráneo durante la mayor parte del primer milenio. Las investigaciones sugieren una evolución desde vidrios más

puros de composición homogénea en el Alto Imperio hacia vidrios con más contaminantes como resultado de su reciclaje en época tardía, así como la adición intencionada de colorantes o decolorantes como antimonio, manganeso, cobre, hierro, estaño, plomo o cobalto [46,48–52].

Se ha planteado como hipótesis o para explicar resultados analíticos de problemática interpretación que hubo talleres peninsulares en época romana que utilizaron cenizas vegetales como fundente [53]. Sin embargo, las investigaciones más recientes permiten afirmar que los vidrios con bajos contenidos en magnesio y potasio, indicadores del uso de natrón mineral, fueron los predominantes en la Península desde el siglo I hasta al menos el siglo VII. Un hecho suficientemente demostrado por los análisis realizados en Tarragona, Barcelona, Gerona, Valencia, Sevilla, Zaragoza, Alicante, Madrid, Toledo, Portugal, Galicia, Mérida, León, Murcia o Zamora (tabla 1). En consecuencia, las propuestas iniciales que postulaban una producción primaria de vidrio romano en Hispania a partir de cenizas vegetales han quedado desfasadas ante la confirmación arqueométrica del uso generalizado del natrón mineral. En otros casos no hay por el momento pruebas concluyentes. Los análisis de vidrio en bruto de los talleres de Mérida [48] y del noroeste peninsular parecen indicar un origen sirio-palestino y egipcio de la materia prima. Según esta interpretación, el reciclaje y la manipulación en los talleres daría lugar a subgrupos provinciales con características propias químicamente reconocibles como sucedería en los casos de Braga o Astorga [29,46,54]. Aparentemente, la única excepción al uso del natrón fueron algunos vidrios opacos a los que nos referiremos más adelante.

A día de hoy son pocos los trabajos dedicados a comparar las composiciones de los vidrios peninsulares con los grupos identificados en el resto del Mediterráneo (tabla 1). En la Península Ibérica se puede señalar la existencia de los característicos vidrios del Alto Imperio decolorados con antimonio que presentan cantidades elevadas de sodio y relativamente bajas de calcio y aluminio [55–58]. Este grupo de vidrios se encuentra presente en Hispania desde al menos la segunda mitad del siglo I d.C., siendo más abundantes entre los siglos II y III. Al igual que sucede en el resto del Mediterráneo su presencia es anecdótica con posterioridad al siglo IV [11,46,48,59]. Los vidrios decolorados con manganeso parecen ser los más abundantes durante el periodo romano en el occidente mediterráneo. Se caracterizan por tener una cantidad variable de manganeso, con niveles más altos de aluminio y calcio que los anteriores. En el caso peninsular se ha considerado que las composiciones más tempranas son las más puras con menos manganeso y otros óxidos. Sus formas se asocian comúnmente con productos de importación del siglo I [46,49,60–64].

A partir del siglo IV los vidrios peninsulares tienden a diversificarse presentando características menos homogéneas. Los trabajos publicados mencionan algunos grupos habituales en el occidente mediterráneo aunque por el momento las referencias son reducidas. Se ha señalado la presencia de vidrios HIMT, caracterizados por sus elevados contenidos en hierro, magnesio y titanio y probable origen egipcio, en Mérida y Noheda, así como su preponderancia en los contextos del siglo V en el noroeste peninsular [46,48,65]. Otros autores han identificado algunos vidrios hispanos similares al grupo *Levantine I* [66]. Para el periodo visigodo apenas se han publicado análisis

de vidrios. Tan solo contamos como referencia segura con los realizados sobre joyas de vidrio datadas en el siglo VII que indican la presencia de vidrios de natrón de tradición romana, pero también vidrios potásicos y con altos y medios contenidos en plomo [67–69]. Por el momento poco más se puede añadir, siendo necesario esperar a los resultados analíticos que puedan proporcionar los vidrios de los talleres de Recópolis para atestiguar si, como se ha planteado, existió una producción de vidrio primario [5]. En cualquier caso esta posibilidad merece ser investigada. Aunque no se conozcan hornos de vidrio primario en occidente no pueden pasarse por alto las referencias de Plinio El Viejo a la calidad de las arenas hispanas, ni ignorar los datos isotópicos que indican un origen occidental para los vidrios de Sant Boi de Llobregat (s. I-V) [4,70].

Algunos vidrios opacos utilizados en la elaboración de joyas y mosaicos también merecen atención. Este grupo diverso posiblemente fue realizado con materia prima importada transformada en talleres locales para conseguir coloraciones concretas. Así se ha planteado a partir de los resultados analíticos de vidrios negros del taller de Braga y podría ser el caso de los vidrios rojos opacos analizados en Barcelona y Zaragoza [71]. Señalar que también se ha especulado con la posibilidad de que el antimonato de plomo utilizado en algunos vidrios procediera de las minas de Río Tinto [72]. Entre estos vidrios con características peculiares hay que incluir vidrios de mosaico con fundentes potásicos o con elevadas cantidades de plomo, que también se han identificado en los tesoros visigodos de Guarrazar y Torredonjimeno [68,69] y en contextos extrapeninsulares [58]. Un grupo variado de vidrios para los que de momento es pronto para ofrecer una interpretación sobre su procedencia.

Los vidrios de sosa vegetal

En la Península Ibérica no hay apenas datos sobre la composición de los vidrios durante los siglos VII y VIII, ignorándose la incidencia que tuvieron los grupos tardíos de natrón coincidiendo con la etapa en que fueron sustituidos en Oriente por los elaborados con sosa vegetal [73]. Los primeros análisis sobre el vidrio andalusí del taller murciano del siglo XII de Puxmarina diferenciaron la existencia de dos grupos: vidrios fabricados a partir de cenizas sódicas similares a sus contemporáneos del Mediterráneo oriental y vidrios con alto contenido en plomo posiblemente añadido en el propio taller a los vidrios del grupo anterior [6] (tabla 1).

La amplia difusión de este grupo rico en plomo se ha visto corroborada por los análisis realizados en Córdoba [7], Baleares [74], Albalat, Ciudad de Vascos (en preparación) y en Toledo [75], encontrándose ausente en Málaga [76], y en los siglos XIV y XV de los vidrios bajo medievales de la alcazaba de Almería [77], los de la sinagoga de Lorca [78] o de Beja [79]. Los vidrios cordobeses han retrasado la cronología de estas producciones al siglo IX diferenciándose tres grupos según su contenido bajo, medio o alto en plomo, el último de ellos tan solo identificado en Córdoba y Toledo. Al igual que en el caso de los vidrios murcianos se interpreta que el plomo fue añadido a un vidrio base de sosa vegetal de posible origen local y, en otros casos, incorporado a la composición a través del reciclaje. Las diferencias composicionales entre los vidrios de Murcia y Córdoba en términos de aluminio, hierro y magnesio son interpretadas

como resultado del uso de distintas fuentes de sílice. La probable producción local de estos vidrios parece verse reforzada por la abundancia relativa de estos vidrios con plomo en comparación con los escasos ejemplares conocidos fuera de la Península [7]. La similitud entre los vidriados cerámicos y los vidrios con altos contenidos en plomo parece dejar en evidencia la estrecha relación existente entre estas dos actividades productivas [6]. Una relación que también es puesta de manifiesto por las primeras cerámicas vidriadas del siglo IX que imitan a la perfección las formas y decoraciones de vasos de vidrio como los localizados en Medinat al-Zahra [80]. A los anteriores hay que sumar los vidrios de sosa vegetal sin plomo, que posiblemente fueran el grupo mayoritario.

Sobre la composición de los vidrios cristianos anteriores al siglo XIII solo tenemos información sobre una vidriera del Monasterio de Las Huelgas de Burgos posiblemente datada a finales del siglo XII. En este caso se trata de un vidrio cálcico potásico que sigue modelos europeos contemporáneos y que por el momento no se ha identificado en al-Ándalus [81].

Conclusiones y perspectivas

A inicios del siglo I la Península Ibérica importaba piezas de vidrio de lujo [84], como sucedía en otros lugares del Mediterráneo, instalándose los primeros talleres para trabajar y reciclar el vidrio procedente de Oriente Próximo. En ese momento el vidrio pasa a convertirse en un material común y variado, adaptado en su composición según el uso al que fuera dedicado. Durante el Bajo Imperio aparecen nuevos grupos de vidrios y aumenta el número de talleres locales, descendiendo la calidad del vidrio por las actividades de reciclaje. En estos talleres manipulaban los vidrios orientales para conferirles una coloración determinada y fabricar nuevos objetos [29,46].

En torno al siglo VIII se produce en Próximo Oriente la sustitución de los vidrios de natrón por los de sosa vegetal. Por el momento no contamos con datos analíticos de ese siglo en la Península Ibérica, aunque sabemos que en el siglo IX ya se había producido el relevo de los vidrios de natrón. También se reconocen en este periodo vidrios con elevados contenidos de plomo, previamente identificados en contextos visigodos e islámicos del oriente medieval, pero que a juzgar por las muestras analizadas tuvieron un destacado papel en al-Ándalus y es posible que se fabricaran localmente. Los vidrios cristianos altomedievales apenas son conocidos sabiéndose de la existencia de vidrios potásicos en algunas de las primeras vidrieras hispanas.

La Península era un territorio periférico respecto a los centros productores de vidrio oriental. Su ubicación a caballo de África y Europa era paso obligado para las rutas marítimas que la circunvalan, propiciando que desempeñara un papel crucial como enlace comercial entre el centro del Mediterráneo y los territorios más septentrionales. Buena prueba de ello es el enorme volumen de ánforas y metales ibéricos hispanos que fueron exportados a otras regiones del Imperio y las frecuentes importaciones orientales y norteafricanas que son identificadas en los yacimientos peninsulares. A lo largo del primer milenio la Península fue ocupada por distintas formaciones estatales, desde Roma al Califato Omeya, que conllevaron

importantes transformaciones en las redes de intercambio a distintas escalas, local, regional y global.

La capacidad del análisis químico del vidrio para detectar la procedencia de sus materias primas convierte a la Península Ibérica en sumamente interesante para investigar la evolución de las interacciones comerciales entre territorios muy distantes. A partir de la multiplicación de los análisis y su adecuada comparación seremos capaces de medir con mayor precisión las relaciones comerciales entre las distintas áreas geográficas y evaluar el impacto que sobre ellas tuvieron los distintos acontecimientos históricos. En este sentido, el estudio analítico del vidrio está llamado en los próximos años a realizar una importante contribución al conocimiento del comercio antiguo y medieval dando respuesta a algunos de los interrogantes que a día de hoy permanecen sin resolver.

Financiación

Este trabajo ha sido financiado por el *European Research Council* (ERC) bajo el programa de investigación e innovación Horizon 2020 (grant agreement No. 647315 a Nadine Schibille). La entidad financiadora no ha tenido influencia alguna en el diseño del estudio, la recolección de datos y su análisis, en la decisión de publicar, ni en la preparación del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J.R. Cann, C. Renfrew, The characterization of obsidian and its application to the mediterranean region, *Proc. Prehist. Soc.* 30 (1964) 111–133.
- [2] B. Gratuze, Obsidian characterisation by laser ablation ICP-MS and its application to the Prehistoric Trade in the Mediterranean and the Near East The sources and distribution of obsidian within the Aegean and Anatolia, *J. Archaeol. Sci.* 26 (1999) 869–881.
- [3] C.M. Hernández, B. Galván, Estudio geoquímico de dos centros de producción de obsidianas en la Prehistoria de Tenerife El Tabonal de los Guanches (Icod de los Vinos) y el Tabonal Negro (Las Cañadas), *T.P.* 65 (2) (2008) 151–168.
- [4] P. Degryse, J. Schneider, Pliny the Elder and Sr Nd Isotopes tracing the provenance of raw materials for roman glass production, *J. Archaeol. Sci.* 35 (7) (2008) 1993–2000.
- [5] M. Castro, A. Gómez, La actividad artesanal en Recópolis la producción de vidrio, *Zona Arqueol.* 9 (2008) 117–128.
- [6] M. García-Heras, Estudio arqueométrico de los vidrios andalusíes procedentes del taller de la calle Puxmarina (Murcia), *Verdolay* 11 (2008) 277–302, Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2959573>.
- [7] C.N. Duckworth, R. Córdoba, E.W. Faber, D.J. Govantes Edwards, J. Henderson, *Electron Microprobe Analysis of 9th–12th Century Islamic Glass from Córdoba, Spain*, *Archaeometry*. 57 (1) (2015) 27–50.
- [8] F. Velasco, La sosa-barrilla una seña de identidad del campo de Cartagena en los siglos XVI al XIX, *Rev. Murciana Antrop.* 10 (2004) 145–158, Disponible en: <http://revistas.um.es/rmu/article/view/72361/69791>.
- [9] J.M. Fernández, *El vidrio*, 3.ª ed., CSIC, Madrid, 2003, 129 y ss.
- [10] J.S. Henderson, D. McLoughlin, D.S. McPhail, Radical Changes in Islamic Glass Technology Evidence for Conservatism and Experimentation with New Glass Recipes from Early and Middle Islamic Raqqa, Syria, *Archaeometry*. 46 (3) (2004) 439–468.

- [11] T. Palomar, La interacción de vidrios históricos con medios atmosféricos, acuáticos y enterramientos Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid (2013 [consultado 26 Abr 2017]), Disponible en: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/12962>.
- [12] A. Shortland, L. Schachner, I. Freestone, M. Tite, Natron as a flux in the early vitreous materials industry sources, beginnings and reasons for decline, *J. Archaeol. Sci.* 33 (4) (2006) 521–530.
- [13] N. Schibille, Late Byzantine Mineral Soda High Alumina Glasses from Asia Minor A New Primary Glass Production Group, *PLoS ONE*. 6 (4) (2011), <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0018970>.
- [14] L. Song, Q. Li, F. Gan, Chemical Analyses of Potash-Lime Silicate Glass Artifacts from the Warring States Period in China, *Spectrosc. Lett.* 48 (4) (2015) 302–309.
- [15] J. Henderson, S. Chenery, E. Faber, J. Kröger, The Use of Electron Probe Microanalysis and Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry for the Investigation of 8th–14th Century Plant Ash Glasses from the Middle East, *Microchem. J.* 128 (2016) 134–152.
- [16] I.C. Freestone, Pliny on Roman Glassmaking, en: M. Martín-Torres, T. Rehren (Eds.), *Archaeology, History and Science: Integrating Approaches to Ancient Materials*, Left Coast Press, Walnut Creek, 2008, pp. 77–100.
- [17] Y. Gorin-Rosen, The Ancient Glass Industry in Israel Summary of the Finds and New Discoveries, *TMO*. 33 (1) (2000) 49–63, Disponible en: http://www.persee.fr/doc/mom_1274-6525_2000_act_33_1_1873.
- [18] O. Tal, R.E. Jackson-Tal, I.C. Freestone, New evidence of the production of raw glass at Late Bizantine Apollonia-Asruf Israel, *J. Glass. Stud.* 46 (2004) 51–66.
- [19] G.D. Weinberg, *Excavations at Jalame Site of a Glass Factory in Late Roman Palestine*, University of Missouri Press, Columbia, 1988.
- [20] I.C. Freestone, Y. Gorin-Rosen, M.J. Hughes, Primary glass from Israel and the production of glass in late antiquity and the early Islamic period, en: M.D. Nenna (Ed.), *La Route Du Verre: Ateliers Primaires et Secondaires du Second Millenaire Av. J. C. Au Moyen Age, Maison de l'Orient Méditerranéen*, Lyon, 2000, pp. 65–68, Disponible en: http://www.persee.fr/doc/mom_1274-6525_2000_act_33_1_1874.
- [21] M. D. Nenna, M. Picon, M. Vichy, Ateliers primaires et secondaires en Egypte à l'époque gréco-romaine, in M.D. Nenna (Ed.), *La Route du verre. Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Âge*, *TMO*. 33, 1 (2000) 97–112. Disponible en: http://www.persee.fr/doc/mom_1274-6525_2000_act_33_1_1877.
- [22] M.D. Nenna, M. Picon, V. Thirion-Merle, M. Vichy, Ateliers primaires du Wadi Natrun: nouvelles decouvertes Annales du 16e Congrès de l'Association Internationale pour l'Histoire du Verre, London, 2005, pp. 59–63, Disponible en: <http://www.aihv.org/en/pdf/16-14.pdf>.
- [23] I.C. Freestone, The Provenance of Ancient Glass through compositional analysis, en: P.B. Vandiver, J.L. Mass, A. Murray (Eds.), *Materials Issues in Art and Archaeology VII*, Materials Research Society, Warrendale, 2005, pp. 195–208.
- [24] D. Brems, M. Ganio, K. Latruwe, L. Balcaen, M. Carremans, D. Gimeno, et al., Isotopes on the beach, part 1: strontium isotope ratios as a provenance indicator for lime raw materials used in roman glass-making, *Archaeometry* 55 (2) (2013) 214–234.
- [25] D. Foy, S. Fontaine, La cargaison de verre de l'épave Ouest-Embiez 1, In: *Delestre (dir.) 15 Ans d'archéologie en région PACA. Aix en Provence, Edisud* (2005) 210–211.
- [26] G. Bass, B. Lledo, S. Matthews, R.H. Brill, Serçe Limani Vol 2 *The Glass of an Eleventh-Century Shipwreck*, A&M University Press, Texas, 2009.
- [27] P. Degryse, R.B. Scott, D. Brems, *The Archaeometry of Ancient Glassmaking Reconstructing Ancient Technology and the Trade of Raw Materials, Perspective*. 2 (2014) 224–238.
- [28] A. Fuentes (Ed.), *Jornadas sobre el Vidrio en la España Romana*, Fundación Centro Nacional del Vidrio, La Granja de San Ildefonso, 2004.
- [29] M. Da Cruz, Campanulate bowls from Gallaecia: Evidence for regional glass production in late Antiquity, en: D. Keller, J. Price, C. Jackson (Eds.), *Neighbours and successors of Rome. Tradition of glass production and use in Europe and the Middle East in the later first millennium AD*, Oxbow Books, Oxford, 2014, pp. 58–67.
- [30] J. Price, Roman glass in Spain: the western provincial context, en: A. Fuentes (Ed.), *Jornadas sobre el Vidrio en la España Romana*, Fundación Centro Nacional del Vidrio, La Granja de San Ildefonso, 2004, pp. p13–p31.
- [31] B. Gamo, Un material frágil y olvidado. El Estudio del vidrio de época visigoda en Hispania, *Zona Arqueol.* 11 (2010) 486–487.
- [32] J. Vizcaíno, El vidrio en época bizantina, en *La Presencia Bizantina En Hispania (Siglos VI-VII). La Documentación Arqueológica, Antigüedad y Cristianismo XXIV* (2007) 665–686.
- [33] M.D. Sánchez, La Vajilla de Vidrio durante la Antigüedad Tardía en el Conventus Carthaginiensis, *BSAA Arqueología. LXXV* (2009) 159–200, Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/8986>.
- [34] J.M. Coll, Els vidres d'època visigoda a Catalunya primeres dades Actes del IV Congrès D'Arqueologia Medieval I, Moderna a Catalunya. (2010) 201–209, Disponible en: <http://www.arragosl.com/vidres-de-lantiguitat-tardana-a-catalunya/>.
- [35] P. Cressier (Ed.), *El vidrio en al-Andalus*. Casa de Velázquez-Fundación Centro Nacional del Vidrio, 2000.
- [36] E. Rontomé, P. Pastor, P (Eds.), 1, *El vidrio islámico en al-Andalus*, Real Fábrica de Cristales de La Granja, La Granja de San Ildefonso, 2006.
- [37] P. Jiménez, Talleres, técnicas y producciones de vidrio en al-Andalus', en: E. Rontomé, P. Pastor (Eds.), *El vidrio islámico en al-Andalus*, Real Fábrica de Cristales de La Granja, La Granja de San Ildefonso, 2006, pp. 51–70.
- [38] E. Valero, El negocio del vidrio en la Península Ibérica medieval, *Mirabilia* 15 (2012) 12–23, Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4218292>.
- [39] J. Gudíol, *Els vidres catalans*, Col Monumenta Cataloniae, Barcelona, 1936.
- [40] M.D. Sánchez, M. da Cruz, *La producción de vidrio en Hispania. Una versión actualizada*, XVIII CIAC, Mérida, 2014, pp. 1393–1397.
- [41] S. Gutiérrez, B. Gamo, V. Amorós, Los contextos cerámicos altomedievales del Tolmo de Minateda y la cerámica altomedieval en el sudeste de la Península Ibérica, in L. Caballero, P. Mateos, M. Retuerce (Eds.), *Anejos de AES*. 28 (2003) 119–168.
- [42] J. Beltrán, Las producciones locales e importaciones de cerámica común del yacimiento de la plaza del Rei de Barcelona, entre la época visigoda y el periodo islámico Siglos VI-VIII, *Quarhis*. 4 (2005) 68–89.
- [43] J. de Juan, M.M. Gallego, J. García, La cultura material de la Vega Baja, en *Toletum Visigodo* (Ed.), La Vega Baja de Toledo, Toledo, 2009, pp.113–147.
- [44] R. Rua, Composición de un vidrio de la época romana, *Revista Minera*. 15 (1864) 45–54, Disponible en: <http://doc.igme.es/RevistaMinPDF/revista%2015.pdf>.
- [45] T. Palomar, M. García Heras, M.A. Villegas Broncano, Archaeological and Historical Glasses A Bibliometric Study, *Bol Soc Esp Ceram Vidr.* 48 (4) (2009) 187–194, Disponible en: <http://digital.csic.es/handle/10261/37225>.

- [46] M. da Cruz, O Vidro Romano no Noroeste Peninsular. Um olhar a partir de Bracara Augusta, Universidade do Minho, 2009 [consultado 26 Abr 2017]. Disponible en: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/9883>.
- [47] T. Palomar, J. Peña-Poza, J.F. Conde, Cuentas de vidrio prerromanas y arqueometría: una valoración de los trabajos realizados en la Península Ibérica, *Zephyrus*. 64 (2009) 53–62, Disponible en: <http://revistas.usal.es/index.php/0514-7336/article/view/7208>.
- [48] T. Palomar, M. García-Heras, R. Sabio, J.M. Rincón, M.A. Villegas, Composition, preservation and production technology of Augusta Emerita Roman glasses from the First to the Sixth Century A.D., *MAA* 12 (2) (2012) 193–211, Disponible en: <http://digital.csic.es/handle/10261/115485>.
- [49] N. Carmona, M.A. Villegas, M.A. Castellanos, I. Montero, M. García-Heras, Análisis de vidrios romanos del yacimiento de la Dehesa de la Oliva (Patones, Madrid), VII CIA (2008) 319–328, Disponible en: <http://digital.csic.es/handle/10261/11417>.
- [50] T. Palomar, M. García-Heras, R. Sabio, J.M. Rincón, M.A. Villegas, La evolución del vidrio romano de Emerita Augusta, *Reex*. 67 (3) (2011) 1143–1162.
- [51] J.M. Rincón, Análisis y microestructura de vidrios romanos de Mérida y Segóbriga, *R.A.* 43 (1984) 34–39.
- [52] J. M. Rincón, M. Romero y E. Ruano, El vidrio romano investigado por técnicas arqueométricas, *El vidrio en la España Romana*, Ed. Fundación Centro Nacional del Vidrio y M. Educación y Cultura, La Granja, Segovia, 2004, pp. 393–401.
- [53] F.X. Ruis, M.S. Larrechi, C. Benet, E. Subias, D.L. Massart, A. Thielemans, The application of multivariate techniques to data from Spanish glass-making objects from the Roman Era, *Anal. Chim. Acta*. 225 (1989) 69–81.
- [54] R. García, M.D. Petit-Domínguez, I.S. de Soto, I. Rucandio, Vidrios romanos de Bracara Augusta (Portugal) Análisis Arqueométrico, *ETF, I, Prehistoria y Arqueología*. 7 (2015) 239–256.
- [55] E.V. Sayre, R.W. Smith, Compositional categories of ancient glass, *Science*. 133 (3467) (1961) 1824–1826.
- [56] N. Schibille, A. Sterrett-Krause, I.C. Freestone, Glass groups glass supply and recycling in Late Roman Carthage, *JHAAS*. 7 (2016), <http://dx.doi.org/10.1007/s12520-016-0316-1>.
- [57] D. Foy, V. Thirion-Merle, M. Vichy, Contribution à l'étude des verres antiques décorés à l'antimoine, *Revue d'Archéométrie*. 28 (1) (2004) 169–177.
- [58] C.M. Jackson, S. Paynter, A Great Big Melting Pot Exploring Patterns of Glass Supply, Consumption and Recycling in Roman Coppergate York Glass Supply, Consumption and Recycling in Roman Coppergate York, *Archaeometry* 58 (1) (2016) 68–95.
- [59] J. Lancha, La mosaïque cosmologique de Mérida étude technique et stylistique (I), *MCV*. 19 (1983) 17–68.
- [60] B. Gómez-Tubío, B.M.A. Ontalba, I. Ortega-Feliu, M.A. Respalda, F. Amores Carredano, D. González-Acuña, PIXE-PIGE Analysis of Late Roman Glass Fragments, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B* 249 1 (2) (2006) 616–621.
- [61] M.A. Doménech-Carbó, A. Doménech-Carbó, L. Osete-Cortina, M.C. Saurí-Peris, A Study on Corrosion Processes of Archaeological Glass from the Valencian Region (Spain) and Its Consolidation Treatment, *Microchim. Acta* 154 1 (2) (2006) 123–142.
- [62] M. García-Heras, M.D. Sánchez, N. Carmona, M. Tendero, A.M. Ronda, M.A. Villegas, Analytical study of Roman glasses from Southeastern Spain Polish Academy of Sciences, *APol*. 45 (2007) 63–68, Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/46425>.
- [63] F. Agua, J. Félix, P. Oñate, J. Sanguino, A. Dávila, M. García-Heras, et al., Caracterización y estado de conservación de vidrios tardorromanos del Museo Arqueológico Regional de Madrid procedentes de las necrópolis de Cubas de la Sagra, *Bol. Soc. Esp. Ceram.* V. 54 (2) (2015) 58–68.
- [64] M.A. Ramón, Estudio del vidrio hallado en la villa rústica romana de l'Hort de Pepica (Catarroja, Valencia), *Quad. prehist. arqueol. Castelló*. 23 (2003) 261–286, Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1143137>.
- [65] J.V. Navarro, Aplicaciones de la microscopía electrónica de barrido al estudio de los vidrios arqueológicos: las teselas vítreas de los mosaicos de la Villa Romana de Noheda (Cuenca), *La Ciencia y el Arte III*, Ministerio de Cultura, Madrid, 2010, pp. 105–119. Disponible en: <http://es.calameo.com/read/0000753358e5043d10a48>.
- [66] M. García-Valles, A.M. Puig, D. Gimeno, M. Aulinas, Archeological Glass from the Ciutadella de Roses Site (Empordà, Girona, NE Spain) Chemical Characterization In EGU, General Assembly Conference Abstracts. 14 (2012) 10219, Disponible en: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2012EGUGA.1410219G>.
- [67] L. Ventolà, M. Vendrell-Saz, P. Giraldez, Visigothic Jewellery A Technical Study of Glass Used as Gems in Belt Buckles from a Spanish Necropolis, *Archaeometry*. 56 (5) (2014) 818–827.
- [68] A. Perea (Ed.), *El tesoro visigodo de Guarrazar*, CSIC, Madrid, 2001.
- [69] A. Perea (Ed.), *El tesoro visigodo de Torredonjimeno*, CSIC, Madrid, 2009.
- [70] M. Ganio, S. Boyen, T. Fenn, R. Scott, S. Vanhoutte, D. Gimeno, et al., Roman Glass across the Empire An Elemental and Isotopic Characterization, *J. Anal. At. Spectrom.* 27 (5) (2012) 743–753.
- [71] M. Ganio, V. Devulder, F. Vanhaecke, D. Gimeno, O. Bonnerot, P. Degryse, et al., Archaeometrical characterization of red opaque glasses, 40th International Symposium on Archaeometry, ISA 2014, Program and Abstract Book, p. 128. Disponible en: http://www.ims.demokritos.gr/ISA/_files/ISA%202014%20Program%20and%20Abstracts%20Book%20Online.pdf.
- [72] I.C. Freestone, C.P. Stapleton, V. Rigby, The production of red glass and enamel in the Late Iron Age, Roman and Byzantine periods, en: C. Entwistle (Ed.), *Through a Glass Brightly. Studies in Byzantine and Medieval art and archaeology presented to David Buckton*, Oxbow, Oxford, 2003, pp. 142–154.
- [73] M. Phelps, I.C. Freestone, Y. Gorin-Rosen, B. Gratuze, N. Glass, Production and Supply in the Late Antique and Early Medieval Near East: The Effect of the Byzantine-Islamic Transition, *J. Archaeol. Sci.* 75 (2016) 57–71.
- [74] J.M. Rincón, Microstructure and microanalysis (SEM/EDX) determination of glasses from Mallorca and Menorca caves, *TP*. 50 (1993) 263–266.
- [75] M. González, La puesta en valor de un conjunto de fragmentos de arco decorados con yeserías islámicas hallados en el antiguo convento de Santa Fe de Toledo, *Informes y Trabajos*. 10 (2014) 195–226, Disponible en: https://sede.educacion.gob.es/publiventa/descarga.action?f.codigo_agc=14657C.
- [76] D.J. Govantes, C. Duckworth, R. Córdoba, L. Aparicio, C. Camacho, El vidrio andalusí y su composición química, *B.A.M.* 18 (2014) 31–49.
- [77] M.A. Respalda, I. Ortega-Feliu, B. Gómez-Tubío, F. Capel, A. Suarez, F. Barba, et al., IBA Characterisation of Glasses from the Archaeological Site of 'La Alcazaba' Almería (Spain), *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B*. 266 (8) (2008) 1587–1590.
- [78] J. García, M. Quiñones, J. Gallardo, J.Á. González, Conservación y restauración de las lámparas de vidrio del S. XV procedentes de la Sinagoga de Lorca, *Memorias de Patrimonio, Intervenciones en el Patrimonio Cultural de la Región de Murcia*. 7 (2003–2005) 234–246.

- [79] I. Coutinho, T. Medici, S. Coentro, L. C. Alves, M. Vilarigues, First Archaeometric Study on Medieval Glass Found in Beja (Southern Portugal), *JMIS*. 11 (2016) 1-28. DOI:10.1080/17546559.2016.1205752.
- [80] E. Salinas, *Cerámica vidriada de época emiral en Córdoba*, *Arqym*. 20 (2013) 67–96.
- [81] M.P. Alonso, F. Capel, F.J. Valle Fuentes, A. de Pablos, I. Ortega, B. Gómez, et al., Caracterización de un vidrio rojo medieval procedente de las vidrieras del Monasterio de Las Huelgas de Burgos, *Bol. Soc. Esp. Ceram.* V. 48 (4) (2009) 179–186.
- [82] R. Castelo, C. Gutiérrez, J. Barrio, J. Hurtado, I. Pardo, A. López, et al., Estudio arqueohistórico y analítico de un conjunto de vidrios de la villa romana de El Saucedo (Talavera La Nueva, Toledo), *CUPAUAM*. 37 (38) (2011-12) 687–703, Disponible en: http://www.uam.es/otros/cupauam/pdf/Cupauam37_38/373838.pdf.
- [83] N. Schiavon, A. Candeias, T. Ferreira, M.C. Lopes, A. Carneiro, T. Calligaro, et al., A combined multi-analytical approach for the study of Roman glass from south-west Iberia synchrotron μ -XRF, External-PIXE/PIGE and BSEM-EDS A Multi-Analytical approach for the study of Roman glass, *Archaeometry*. 54 (6) (2012) 974–996.
- [84] J.Á. Paz, E. Ortiz, E. (Eds.), *El Vidrio Romano en el valle medio del Ebro* (Provincia de Zaragoza), *Jornadas sobre el Vidrio en la España Romana*, Fundación Centro Nacional del Vidrio, La Granja de San Ildefonso, 2004, pp. 127-175.
- [85] B. Gratuze, J.N. Barrandon, *Islamic Glass Weights and Stamps Analysis Using Nuclear Techniques*, *Archaeometry* 32. 2 (1990) 155–162.
- [86] F.J. Valle, P. Ortega, L. Pascual, N. Carmona, J.M. Fernández Navarro, *Chemical composition of Medieval stained glasses from the Cathedral of León* (Spain), *Glass Sci. Technol.* 75 (2002) 152–157.
- [87] M.P. Alonso Abad, *Las vidrieras de la Catedral de Burgos*, en: M.A. Villegas, M. García-Heras (Eds.), *Instituto de Historia*, CSIC, Madrid, 2016.