

ESTUDIO ARQUEOMÉTRICO DE CUENTAS DE VIDRIO PROCEDENTES DE LA NECRÓPOLIS DE NUMANCIA (SIGLO II a.C)

ARCHAEOLOGICAL STUDY OF GLASS BEADS FROM THE 2nd CENTURY BC CEMETERY OF NUMANTIA

MANUEL GARCÍA HERAS (*)
JESÚS M.^a RINCÓN LÓPEZ (**)
ALFREDO JIMENO MARTÍNEZ (***)
M^a ÁNGELES VILLEGAS BRONCANO (*)

RESUMEN

La reciente excavación de la necrópolis celtibérica de Numancia (Garray, Soria) ha permitido recuperar un conjunto de cuentas de vidrio del siglo II a.C. Las cuentas, junto con otros objetos de metal y cerámica, formaban parte de las ofrendas depositadas con el difunto, siendo de tipología anular y coloreadas en azul oscuro, ámbar y blanco semitransparente. Este trabajo presenta los resultados obtenidos en la caracterización química y microestructural de una muestra representativa de este conjunto. El objetivo principal de la investigación consistió en recabar información sobre su tecnología de manufactura y evaluar su posible procedencia. Asimismo, también se investigaron sus mecanismos de corrosión para determinar si la cremación había inducido cambios en su estructura. Los resultados indican que las cuentas azules y ámbar se realizaron con vidrio de silicato sódico cálcico y las blancas semitransparentes con vidrio de aluminosilicato, utilizando óxidos de metales de transición como cromóforos y óxido de plomo para la decoración.

ABSTRACT

Recent archaeological fieldwork undertaken in the Celtiberian cremation necropolis of Numantia (Soria, Spain) has provided a group of glass beads from the 2nd century BC.

(*) Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), CSIC. Avda. Gregorio del Amo, 8. 28040 Madrid.

(**) Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción (IETcc), CSIC. Serrano Galvache, s/n. 28033 Madrid.

(***) Departamento de Prehistoria, Universidad Complutense. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid.

Recibido: 17-XII-02; aceptado: 17-II-03

Such glass beads were part, together with other metallic and ceramic items, of the offerings deposited with the dead. They are ring-shaped in typology and deep-blue, amber, or semi-transparent white in colour. This paper reports results derived from the chemical and microstructural characterisation carried out on a representative sample set of this group of beads. The main goal of the research was to find out about their production technology to explore their probable provenance. In addition, corrosion mechanisms were also assessed to determine the influence of cremation on the beads' structure. The resulting data suggest that these blue and amber beads were made using soda-lime silicate glass, whereas semi-transparent white ones were manufactured from alumino-silicate glass. It has also determined that some transition metal oxides were used as chromophores, as well as lead oxide for decoration.

Palabras clave: Cuentas de vidrio celtibéricas. Vidrio coloreado prerromano. Caracterización químico-física. Tecnología del vidrio antiguo.

Key words: Celtiberian glass beads. Pre-Roman coloured glass. Chemical-physical characterisation. Ancient glass technology.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La existencia de numerosas cuentas de vidrio de diferentes tipologías es un hecho bien documentado en zonas del este y del sur de la Península Ibérica en los últimos siglos del primer milenio a.C. Prin-

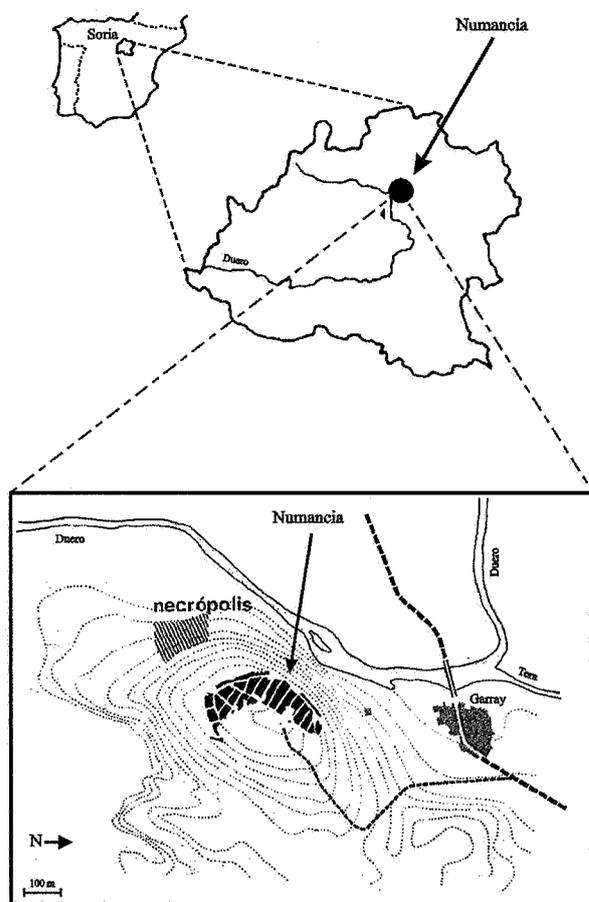


Fig. 1. Localización de la necrópolis de Numancia.

cialmente, se han hallado en contextos funerarios ibéricos y púnicos en los que normalmente aparecen junto a otros elementos votivos de metal, cerámica, hueso, etc. Dado que, en general, su presencia es muy restringida, a menudo han sido consideradas como expresiones simbólicas de estatus o también como objetos con un carácter profiláctico, sobre todo en el caso de aquellas cuentas que presentan decoraciones oculadas (Ruano *et al.* 1995). Sin embargo, todavía se conocen pocos ejemplos en otras zonas del interior peninsular (p.e. Lorrío 1997; Sanz Mínguez 1998). Estos ejemplares también proceden de contextos funerarios y quizás pudieron alcanzar estos territorios como resultado de prácticas de comercio o intercambio con las comunidades de la costa o con otras localizadas entre ambas regiones.

Las recientes excavaciones arqueológicas efectuadas en la necrópolis celtibérica de Numancia (Garray, Soria) han permitido recuperar un conjun-

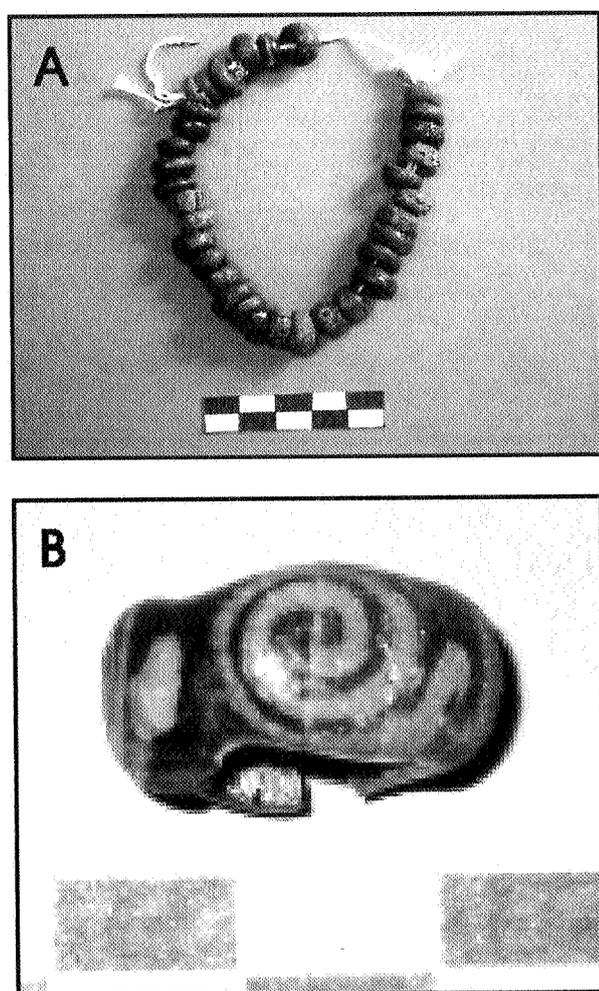
to excepcional de cuentas de vidrio coloreadas, con diferentes grados de opacidad, en un contexto del siglo II a.C. Las cuentas son de tipología anular y se hallaron asociadas a un reducido número de tumbas. El azul oscuro y el ámbar son los colores predominantes, aunque también hay algunos ejemplares blancos semitransparentes. Como en la mayoría de las necrópolis de cremación contemporáneas, las cuentas formaban parte, junto a otros objetos, de las ofrendas depositadas con el difunto.

Teniendo en cuenta la importancia de estos restos tanto para el estudio de la Prehistoria final como para el conocimiento científico de la tecnología del vidrio antiguo en la Península Ibérica, se ha caracterizado química y microestructuralmente una muestra representativa de estos materiales con el propósito de recabar información sobre su tecnología de manufactura y evaluar, en función de estos datos, su posible procedencia. Asimismo, un objetivo principal del trabajo consistió en determinar la naturaleza vítrea de estas cuentas para corroborar si efectivamente se realizaron con vidrio o si se trataba de un material elaborado con pasta vítrea. Una vez clarificado este punto, también se investigaron sus mecanismos de corrosión para determinar si el ritual celtibérico de cremación había inducido cambios en la estructura de estas cuentas.

1. 2. La necrópolis celtibérica de Numancia

La necrópolis, con una extensión aproximada de 10000 m², se localiza en la ladera SO del cerro en el que se asienta la antigua ciudad de Numancia (Fig. 1). Hasta el momento, su excavación ha proporcionado un total de 155 tumbas que presentan una estructura muy simple compuesta por un pequeño hoyo excavado en el suelo limitado, y a su vez protegido, por piedras irregulares que forman una especie de caja. Algunas tumbas están marcadas con una piedra vertical o estela. El cuerpo del difunto, junto con sus objetos personales, era quemado en una pira funeraria. Los restos de esta cremación, compuestos por cenizas y hueso quemado, eran después introducidos directamente en el hoyo junto con diferentes ofrendas votivas como armas de hierro, objetos de adorno de bronce y, a veces, pequeñas vasijas cerámicas (Jimeno Martínez 1996: 58-59).

A lo largo de las distintas campañas de excavación han aparecido un total de 56 cuentas vítreas



Lám. I. A) Reconstrucción tentativa de un collar con las cuentas de vidrio halladas en la tumba nº 93 de la necrópolis de Numancia. B) Detalle de una cuenta azul decorada con un motivo oculado blanco. Escalas en cm.

entre las 155 tumbas descubiertas. Las cuentas se concentraban en nueve tumbas de las que sólo dos presentaban más de un solo ejemplar. De hecho, en sólo dos de estas nueve tumbas se concentraban 7 y 42 ejemplares respectivamente. Por ello, es probable que éstas formaran parte de un brazalete o quizás de un collar como se ha reconstruido tentativamente en la Lám. IA. Entre las 56 cuentas, 44 eran de color azul oscuro (78,6 %), 9 eran de color ámbar (16.1 %) y sólo 3 eran de color blanco semitransparente, con tamaños que oscilaban entre los 6-20 mm de diámetro y 3-5 mm de grosor. Por otro lado, sólo 4 (7.1 % del total) del conjunto de cuentas azules presentaban decoración en su superficie compuesta por motivos oculados (Lám. IB).

2. MUESTREO Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Debido al elevado valor arqueológico y contextual de estas cuentas, las muestras analizadas se seleccionaron siguiendo el principio de una mínima afectación a las mismas, interviniendo preferentemente en fragmentos y piezas rotas. Tras una primera inspección macroscópica, se determinó que las cuentas azules y ámbar presentaban dos estados distintos de conservación: uno que se correspondía con un avanzado nivel externo de corrosión y otro que mostraba una superficie menos alterada. Por ello, se seleccionaron 2 cuentas azules y 2 ámbar, cada una representado un estado distinto de conservación. Por el contrario, las 3 cuentas blancas semitransparentes, que pertenecían a ejemplares completos, presentaban un aceptable estado de conservación, por lo que sólo se seleccionó una muestra para ser analizada por técnicas no destructivas. Finalmente, también fue seleccionada una cuenta azul que presentaba un motivo oculado con el fin de caracterizar este tipo de decoración.

Las muestras se caracterizaron a través de las siguientes técnicas complementarias: microscopía óptica (MO) (microscopio Olympus DP-11), difracción de rayos X (DRX) (difractómetro Siemens D-5000, 40 kV y 30 mA), microscopía electrónica de barrido (MEB) (microscopio Jeol JXA-840) con microanálisis de dispersión de energía de rayos X (microanalizador Rontec con detector de silicio-litio, 15-20 kV), fluorescencia de rayos X (FRX) (espectrómetro de rayos X de dispersión de longitudes de onda Philips PW-1404 con tubo de rodio), análisis térmico diferencial (ATD) (analizador Shimadzu DTA-50 con soporte de platino, velocidad de calentamiento de 10°C/min desde temperatura ambiente hasta 1100°C) y espectrofotometría en la región visible y del infrarrojo próximo (espectrofotómetro Shimadzu UV-VIS-NIR 3100).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de DRX demostraron que las cuentas se realizaron con vidrio, ya que los difractogramas presentaban el típico fondo amorfo característico de los materiales vítreos en el que no aparecen fases cristalinas. Este hecho también indicó que no se produjo ninguna desvitrificación inducida por la pira funeraria.

Óxidos	Ámbar (- atacada)		Ámbar (+ atacada)		Azul (- atacada)		Azul (+ atacada)		Blanca EDX	Azul (decoración) EDX
	FRX	EDX	FRX	EDX	FRX	EDX	FRX	EDX		
Na ₂ O	15,86	0,7- 15,6*	16,41	4,7	16,63	16,0	16,33	9,7	15,4	7,5
MgO	0,34	0,4	0,39	0,6	0,39	0,7	0,54	1,3	3,1	0,4
Al ₂ O ₃	5,00	5,6	1,75	12,3	2,22	5,3	2,11	10,3	12,9	9,3
SiO ₂	71,16	84,2	69,39	62,2	67,25	65,8	70,21	65,2	64,6	60,0
SO ₂	0,109	0,1	0,164	0,4	0,23	0,1	0,20	0,4	---	---
PbO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	8,1
Cl	1,15	1,1	1,50	1,2	1,39	0,6	1,44	0,5	0,3	0,5
K ₂ O	1,50	0,9	1,59	2,5	0,66	0,7	0,74	1,9	0,6	1,9
CaO	4,21	4,5	7,87	4,8	8,91	8,7	5,81	6,3	2,6	5,8
MnO	---	---	---	---	---	---	0,47	---	---	---
TiO ₂	---	---	0,10	0,2	---	---	0,083	0,1	---	---
Fe ₂ O ₃	0,72	0,4	0,82	8,5	1,96	1,8	1,63	3,3	0,5	4,9
CoO	---	---	---	---	0,13	---	0,31	---	---	---
CuO	---	---	0,024	2,6	0,15	0,3	0,20	1,0	---	1,6

* Intervalo de variación

Tab. 1. Resultados de los análisis de las cuentas mediante FRX y EDX (% en peso).

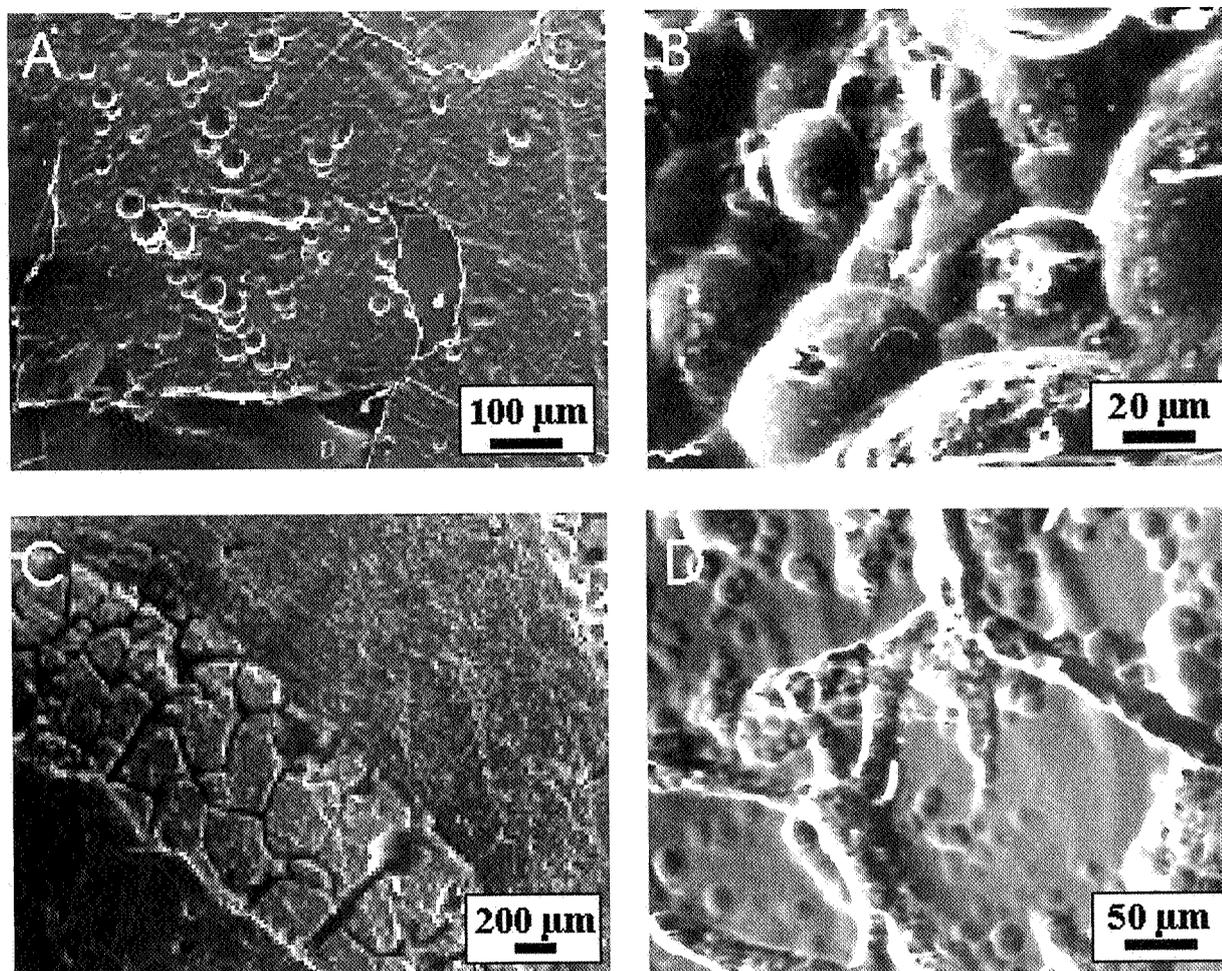
3.1. Cuentas ámbar

Los resultados del análisis químico realizado mediante FRX (Tab. 1) muestran la típica composición de un vidrio de silicato sódico cálcico. El componente principal es SiO₂, óxido que actúa como formador de la red vítrea, y cuyos valores están comprendidos entre 69,39% en la muestra más alterada y 71,16% en la menos alterada. El Na₂O, un óxido alcalino modificador de la red vítrea, muestra concentraciones relativamente altas (entre 15,86 y 17,41%, respectivamente), mientras que el CaO, que actúa como estabilizador de dicha red, se concentra entre 4,21 y 7,87%. Otros óxidos modificadores de red como el MgO (0,34-0,39%) y el K₂O (0,59-1,5%) se hallan en bajas concentraciones. Los contenidos de Al₂O₃, óxido que también se considera formador de red, oscilan desde 1,75% en la cuenta más alterada hasta 5% en aquella que presenta una menor alteración. Otros componentes son el SO₂ (0,109-0,164%) y óxidos de metales de transición como el Fe₂O₃ (0,72-0,82%) y el CuO. Por último, también se ha detectado una concentración relativamente alta de Cl (1,15-1,5%). Exceptuando las concentraciones de Al₂O₃ y CaO, ambas muestras presentaron una composición química muy similar.

Las diferencias en el estado de conservación de las cuentas ámbar pueden discutirse sobre la base

de sus diferentes porcentajes en óxidos formadores de red. Así, la muestra menos alterada presenta unos mayores contenidos en SiO₂ y Al₂O₃ en relación con el ejemplar más alterado. Ésta puede ser la razón por la que, bajo condiciones de humedad durante el enterramiento, la mayor concentración de estos óxidos formadores de red diera como resultado un vidrio más estable, puesto que la presencia de porcentajes de Al₂O₃ próximos al 3% en peso mejoran la resistencia hidrolítica de los vidrios de silicato sódico cálcico (Fernández Navarro 1985: 141).

A pesar de las abundantes grietas, cráteres y burbujas que se aprecian en las micrografías MEB obtenidas en una cuenta ámbar poco alterada (Lám. IIA) y que sugieren un afinado imperfecto del vidrio durante la fusión, el ejemplar presenta una superficie relativamente homogénea y bien conservada. Por el contrario, las piezas más alteradas presentaban una microestructura escamada que se corresponde con un estado más avanzado de corrosión. Las determinaciones efectuadas con EDX apoyan estas observaciones (Tab. 1). De esta forma, la pieza menos alterada presenta en superficie un decrecimiento leve de óxidos alcalinos (Na₂O y K₂O) y un ligero incremento de SiO₂ en comparación con los análisis de FRX realizados con una muestra de la pieza completa. Las concentraciones de Na₂O, sin embargo, mostraban una amplia variabilidad según el área microanalizada. Estos datos



Lám. II. Micrograffías MEB de la supercicie de las cuentas de vidrio. A) Cuenta ámbar poco alterada. B) Cuenta azul con una alteración más avanzada. C) Decoración de una cuenta azul. D) Detalle de la decoración de una cuenta azul.

sugieren que pudo haberse formado una capa protectora de gel de sílice como resultado de la hidratación y del ataque ácido ocurrido durante el enterramiento, que podría explicar la pérdida por lixiviación de iones Na^+ y K^+ de la superficie. El incremento en SiO_2 no se detectó en la muestra más alterada, aunque ésta presentaba un mayor decrecimiento en Na_2O . Una posible explicación a este fenómeno puede ser que el vidrio se viera afectado por un ataque químico más vigoroso debido a su composición menos estable. Así, a medida que la corrosión iba avanzando se fue destruyendo la capa de gel de sílice, produciéndose una desalcalinización más intensa.

En la muestra más alterada también se detectaron concentraciones relativamente elevadas de Fe_2O_3 y CuO (Tab. 1). Dado que los óxidos de hie-

ro y cobre están presentes normalmente como cromóforos o impurezas de las materias primas y teniendo en cuenta que estos óxidos no forman parte de la formulación básica del vidrio (Fernández Navarro 1985), éstos pudieron ser inducidos durante el enterramiento o, más probablemente, depositados en la cremación. En este sentido, conviene no olvidar que la mayoría de ofrendas depositadas en las tumbas de la necrópolis de Numancia están compuestas por armas de hierro y adornos de bronce (Jimeno Martínez 1996). El incremento de azufre en la superficie podría también estar relacionado con este hecho.

Los resultados de ATD muestran que sólo un pequeño efecto exotérmico, que comienza en torno a los 1040°C , se produce en la muestra más alterada. Dicho efecto puede ser atribuido a un fenó-

meno de cristalización, quizás inducido por una mayor hidratación de la superficie que reordenaría las unidades estructurales OH⁻ para formar núcleos cristalinos a partir de la despolimerización de la red vítrea. El decrecimiento superficial de Na₂O y, consecuentemente, la pérdida de iones Na⁺ observada en EDX (Tab. 1) podría conectarse también con este fenómeno.

3.2. Cuentas azules

Para estas cuentas, los resultados de FRX reflejan igualmente la típica composición de un vidrio de silicato sódico cálcico con la única diferencia, en comparación con las cuentas ámbar, que muestran mayores concentraciones en óxidos de metales de transición como Fe₂O₃ (1,63% en la pieza menos alterada y 1,96% en la más alterada) y CuO (0,15-0,20%, respectivamente) (Tab. 1). Por otro lado, también se detectó la presencia en bajas concentraciones (0,13-0,31%) de óxido de cobalto (CoO), que puede considerarse como el cromóforo responsable del color azul como se verá más adelante, y una pequeña cantidad de MnO (0,47%) sólo presente en la muestra más alterada.

Las cuentas azules mostraron unas características microestructurales muy similares a las cuentas ámbar, aunque con un mayor número de burbujas y una microestructura más esponjosa que podría relacionarse con un proceso de hinchamiento (Lám. IIB). Asimismo, las determinaciones de EDX (Tab. 1) también reflejaron un considerable empobrecimiento de Na₂O en la superficie, especialmente en el ejemplar más alterado, así como un aumento de la concentración de Al₂O₃ debidos a los mismos procesos discutidos anteriormente. De igual forma, en las cuentas azules también se detectó un importante incremento superficial de óxidos de metales de transición (Fe₂O₃ y CuO) probablemente depositados durante la cremación. Por último, las curvas de ATD obtenidas resultaron también muy similares a las de las cuentas ámbar, aunque en este caso el efecto exotérmico que se origina en la cuenta más alterada comienza a temperaturas algo menores (990°C).

3.3. Cuentas blancas semitransparentes

La composición química de estas cuentas muestra algunas diferencias con respecto a las cuentas azules y ámbar, ya que los óxidos mayoritarios son

SiO₂ (64,6%), Na₂O (15,4%) y Al₂O₃ (12,9%) respectivamente (Tab. 1). Además, también presentan una mayor concentración de MgO (3,1%). El óxido de magnesio estabiliza considerablemente la estructura de los vidrios de silicato, evitando la desvitrificación y la formación de núcleos cristalinos (Fernández Navarro 1985: 140). Como se mencionaba en un apartado anterior, la ausencia de fragmentos de cuentas blancas impidió la realización de análisis de FRX y ATD y la observación microestructural mediante MEB. En cualquier caso, los datos de los microanálisis EDX indican que estas cuentas se realizaron con vidrio de aluminosilicato. El óxido de aluminio puede actuar tanto como formador o como modificador de la red vítrea dependiendo de su concentración en la matriz del vidrio. A medida que entra en dicha red, se produce un cerramiento progresivo de los oxígenos puente mejorando la resistencia del vidrio frente al ataque hidrolítico y a los medios alcalinos (Fernández Navarro 1985: 595-597). La concentración relativamente alta de Al₂O₃ en las cuentas blancas podría ser, por tanto, la razón por la cual presentan un aceptable estado de conservación. Este punto estaría también apoyado por la elevada concentración de Na₂O que indicaría que no tuvo lugar un proceso de lixiviación en el que se produciría la extracción de óxidos alcalinos que habrían dado lugar a un enriquecimiento superficial del óxido de aluminio.

3.4. Decoración

Las micrografías de las láminas IIC y IID muestran las distintas microestructuras observadas entre la decoración y la superficie de una cuenta azul. La capa de decoración presentaba grietas interconectadas más profundas y de mayor tamaño que las de la superficie de la pieza. Asimismo, esta capa tenía un escaso relieve y aparecía fuertemente adherida a dicha superficie. Mediante EDX se detectó un alto contenido en óxido de plomo (en torno a 8%) (Tab. 1). No obstante, exceptuando este último óxido, la capa de decoración estaba formada por los mismos componentes en el mismo intervalo de concentraciones que la superficie no decorada. Este hecho sugiere que la decoración pudo realizarse con un material rico en plomo, quizás minerales o sales ricas en este elemento, utilizando el mismo tipo de vidrio sódico cálcico como matriz o vehículo adherente. Por otro lado, el alto grado de alteración que

presenta esta capa rica en óxido de plomo puede deberse a su menor estabilidad química en comparación con la del vidrio base.

4. TECNOLOGÍA Y POSIBLE PROCEDENCIA

4.1. Materias primas

El análisis de estas cuentas vítreas ha permitido determinar que se utilizaron dos tipos básicos de vidrio. Un vidrio de silicato sódico cálcico en las cuentas azules y ámbar y un vidrio de aluminosilicato en las cuentas blancas semitransparentes. El SiO₂ pudo obtenerse a partir de arenas de cuarzo que contenían impurezas de hierro y otros óxidos de metales de transición, en las que se añadieron cantidades variables de materias primas alcalinas (Na₂O) y alcalinotérreas (CaO). Desde un punto de vista estructural, es importante tener en cuenta que cuanto mayor es el contenido de sílice mejor es la cohesión de la matriz vítrea y mejores son las propiedades del vidrio relacionadas con la resistencia mecánica y la estabilidad química. Sin embargo, a medida que aumenta el contenido de sílice mayor es también la temperatura de fusión del vidrio, por lo que se hace necesario el uso de fundentes como el Na₂O y el CaO que favorecen la formación de vidrio a temperaturas inferiores (Fernández Navarro 1985: 127-139). El óxido de sodio pudo obtenerse a partir de cenizas de plantas ricas en sodio o, incluso, de *trona*, un mineral natural que suele contener altos porcentajes de carbonato de sodio. El óxido de calcio, por otro lado, pudo haberse obtenido a partir de materiales ricos en calcio como calizas o calcita, mientras que el resto de los componentes determinados (MgO, TiO₂, Fe₂O₃ o CuO) pueden ser considerados como impurezas de las materias primas empleadas. Por lo demás, el óxido de aluminio utilizado en la manufactura de las cuentas blancas pudo obtenerse a partir de feldespatos ricos en aluminio como la anortita u otros tipos de plagioclasas.

4.2. Cromóforos o colorantes

En este trabajo se ha determinado la presencia de tres cromóforos. Como se aprecia en la Tab. 1, el color azul se origina a partir de la pequeña concentración de óxido de cobalto (CoO), ya que los iones Co²⁺ poseen una alta capacidad de coloración, dan-

do un color azul intenso al vidrio. Comúnmente, estos iones adoptan una coordinación tetraédrica que produce dos bandas triples de absorción. Una en la región visible del espectro en torno a 540 nm, 590 nm y 640 nm respectivamente; y otra en la región del infrarrojo próximo en torno a 1400 nm, 1600 nm y 1800 nm respectivamente (Fernández Navarro 1985: 490-491). Por lo tanto, los datos sugieren que el color azul se obtuvo de forma deliberada añadiendo alguna fuente de Co²⁺ a la matriz vítrea de las cuentas, mediante alguna sal mineral rica en cobalto u otros materiales ricos en este elemento. En este sentido, es importante resaltar que la coloración azul cobalto en masa fue ampliamente utilizada en la antigüedad en toda la cuenca mediterránea (p.e., Rehren 2001).

El cromóforo ámbar puede atribuirse al Fe₂O₃ y, específicamente, a los iones Fe³⁺ en presencia de azufre. Estos iones adoptan normalmente una coordinación tetraédrica compuesta por tres iones oxígeno y un ión sulfuro. No obstante, para obtener el cromóforo ámbar, la fusión debe realizarse en condiciones reductoras (Fernández Navarro 1985: 511). En las cuentas ámbar se detectaron mediante FRX tanto Fe₂O₃ como SO₂ (Tab. 1), por lo que su presencia en la matriz vítrea puede atribuirse a los óxidos de hierro presentes como impurezas en las materias primas o, más probablemente, a la adición deliberada de materiales ricos en azufre como la pirita u otros minerales de hierro.

Por último, el color de las cuentas blancas semitransparentes (levemente verdoso) debe atribuirse al contenido residual en óxido de hierro de la arena que se utilizó como materia prima. Como es sabido, la presencia de iones Fe²⁺ proporciona a los vidrios una leve tonalidad azul debido a las bandas de absorción próximas a 1100 nm. Este color azul se va transformando en verde a medida que la relación Fe²⁺/Fe³⁺ disminuye, ya que los iones Fe³⁺ proporcionan un color amarillo que se corresponde con bandas de absorción en torno a 380 nm, 420 nm y 440 nm (Fernández Navarro 1985: 489). En la actualidad, el contenido total de hierro y en particular la relación Fe²⁺/Fe³⁺ en los vidrios convencionales de silicato sódico cálcico (en torno al 0,1% en un vidrio común de ventana) produce un color verdoso residual muy similar al que muestran las cuentas blancas. Por ello, su color puede ser atribuido al contenido residual en óxido de hierro similar al que presentan los vidrios de silicato sódico cálcico actuales. En cualquier caso, la baja concentración de óxido de hierro de las cuentas blancas semitranspa-

rentes sugiere que éste estaría presente como impureza en las arenas de cuarzo y en los feldespatos utilizados en su manufactura, más que haber sido añadidos a partir de un material rico en hierro. La ausencia de azufre (Tab. 1) podría también apoyar este argumento.

4.3. Posible procedencia y significación social

A pesar de que se han documentado un gran número de cuentas prerromanas en distintos contextos funerarios de la Edad del Hierro del este y sur peninsulares, todavía no es posible contar con datos analíticos en muchos de ellos (Ruano *et al.* 1997). Por consiguiente, sólo hay disponibles unos pocos ejemplos sincrónicos con los que realizar comparaciones.

En contextos romanos contemporáneos se han hallado frecuentemente vidrios de silicato sódico cálcico y de aluminosilicato no sólo en la Península Ibérica (Rincón 1984), sino también en otras partes del Imperio (p.e. Mirti *et al.* 1993; Velde y Gendron 1980). Sin embargo, estas composiciones no se han detectado, al menos en los trabajos publicados hasta ahora, ni en contextos púnicos ni en ibéricos. En el primer caso, se documentan cuentas de vidrio coloreadas con composiciones pertenecientes a los sistemas $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{PbO}-\text{SiO}_2$ y $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, ambos con contenidos en Fe_2O_3 superiores al 5% (Rincón 1993); mientras que en el segundo caso, las cuentas se adscriben al sistema $\text{CaO}-\text{PbO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (Ruano *et al.* 1995, 1997). A partir de estos datos, no es probable que las cuentas numantinas procedieran de lugares del este peninsular. Su origen habría que buscarlo en otras zonas del noreste o, quizás, fueran importadas de Italia u otras áreas del Mediterráneo oriental, ya que la ausencia de restos de manufactura de vidrio en el yacimiento de Numancia no permite sostener la hipótesis de una producción local para estas cuentas. En todo caso, serán necesarios más datos analíticos para confirmar o rebatir esta interpretación provisional.

Los resultados indican, por lo demás, una tecnología altamente especializada en la producción de vidrio que implica, entre otras cosas, que los vidrieros tenían un buen conocimiento de las materias primas y de sus proporciones aproximadas y que conscientemente las seleccionaban para obtener propiedades específicas, como la adición de óxidos alcalinos para rebajar el punto de fusión y hacer más trabajable el vidrio, o la utilización de óxidos de

metales de transición como cromóforos para obtener colores en masa. Asimismo, parece fuera de toda duda que las cuentas de vidrio tuvieron una relevancia social específica entre los celtíberos, puesto que sólo se concentran en unas cuantas tumbas. Esta concentración espacial, junto al hecho de que pudieran considerarse como objetos exóticos obtenidos a través de un comercio o intercambio inter-regional, hace pensar que las cuentas satisfacían la demanda de una élite local y que servirían como símbolos de estatus para diferenciar distintos grupos sociales.

5. CONCLUSIONES

Aunque existe una amplia variedad de cuentas de vidrio documentadas tanto en zonas del este y sur como en áreas del interior de la Península Ibérica durante los últimos siglos del primer milenio a.C., todavía son escasos los datos analíticos disponibles sobre su tecnología o sobre sus posibles procedencias. Los resultados de esta investigación proporcionan nuevos datos sobre estos aspectos, en relación con un importante conjunto de cuentas de vidrio coloreadas recientemente descubiertas en la necrópolis celtibérica de Numancia, dentro de un contexto del siglo II a.C. Las cuentas son de tipología anular, coloreadas en azul oscuro, ámbar y blanco semitransparente, y se hallaron asociadas a un reducido número de tumbas.

El empleo de varias técnicas complementarias de caracterización quimicofísica ha permitido determinar dos composiciones distintas en las cuentas de vidrio analizadas, que se asocian al sistema $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ en el caso de las cuentas azules y ámbar; y al sistema $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ en el caso de las blancas semitransparentes. Asimismo, también se ha determinado la utilización de óxidos de metales de transición para obtener colores en masa, como los iones Co^{2+} para el color azul, los iones Fe^{3+} en presencia de azufre y condiciones reductoras durante el proceso de fusión del vidrio para el color ámbar y el efecto producido por la distinta relación $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ que proporciona a las cuentas blancas un color verdoso residual muy similar al que presentan los vidrios de silicato sódico cálcico actuales. La decoración de las cuentas se realizó, por otro lado, utilizando el mismo tipo de vidrio sódico cálcico como matriz o vehículo adherente, al que se le añadió una importante cantidad de óxido de plomo que confiere el color blan-

co opaco de la decoración. Los datos obtenidos también han servido para determinar que el vidrio de estas cuentas presentaba una buena estabilidad química, ya que exceptuando un leve proceso de desalcalinización superficial, no se detectó ningún otro mecanismo de corrosión o desvitrificación. Este aceptable estado de conservación fue verificado en particular en las cuentas blancas de vidrio de aluminosilicato.

Finalmente, dada la falta de datos analíticos con los que comparar los obtenidos en este trabajo, las cuentas de vidrio numantinas se pueden considerar como el resultado de prácticas de comercio o intercambio más que haber sido producidas localmente. Por lo demás, los resultados indican que se empleó una tecnología altamente especializada en la producción de los vidrios que probablemente satisfacía la demanda de una élite local y que servía para diferenciar el estatus de distintos grupos sociales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo institucional de la Red Temática de Patrimonio Histórico y Cultural del CSIC. El trabajo del Dr. García Heras ha sido financiado con un contrato postdoctoral I3P (CSIC-FSE).

BIBLIOGRAFÍA

FERNÁNDEZ NAVARRO, J.M^a. 1985: *El vidrio. Constitución, fabricación, propiedades*. CSIC. Madrid.

- JIMENO MARTÍNEZ, A. 1996: "Numancia: relación necrópolis-poblado". *Archivo Español de Arqueología* 69: 57-76.
- LORRIO, A.J. 1997: *Los Celtiberos*. Universidad Complutense, Complutum Extra 7. Madrid.
- MIRTI, P.; CASOLI, A. y APPOLONIA, A. 1993: "Scientific analysis of Roman glass from Augusta Praetoria". *Archaeometry* 35 (1): 225-240.
- REHREN, Th. 2001: "Aspects of the production of cobalt-blue glass in Egypt". *Archaeometry* 43 (4): 483-489.
- RINCÓN, J. Ma. 1984: "Análisis y microestructura de vidrios romanos de Mérida y Segóbriga". *Revista de Arqueología* 43: 34-39.
- 1993: "Microstructure and microanalysis (SEM/EDX) determination of glasses from Mallorca and Menorca caves". *Trabajos de Prehistoria* 50: 263-266.
- RUANO, E.; HOFFMAN, P. y RINCÓN, J. Ma. 1995: "Aproximación al estudio del vidrio prerromano: los materiales procedentes de la necrópolis ibérica de El Cigarralejo (Mula, Murcia). Composición química de varias cuentas de collar". *Trabajos de Prehistoria* 52 (1): 189-206.
- 1997: "Primeros resultados de los análisis químicos comparativos entre materiales de vidrio prerromano procedentes de diferentes áreas españolas". *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología* 37: 121-137.
- SANZ MÍNGUEZ, C. 1998: *La necrópolis de Las Ruedas. Padilla de Duero (Valladolid)*. Junta de Castilla y León, Arqueología en Castilla y León 6. Valladolid.
- VELDE, B. y GENDRON, C. 1980: "Chemical composition of some Gallo-Roman glass fragments from central western France". *Archaeometry* 22: 183-197.