

# EVOLUCIÓN DE LA LEY (AG/CU) EN MONEDAS ÁRABES DURANTE LOS SIGLOS VIII AL X D.C. MEDIANTE SEM-EDX Y TXRF

*R. Fernández Ruiz<sup>(1)</sup>, E. Salvador Rueda<sup>(1)</sup> y A. Canto García<sup>(2)</sup>*

## Resumen

En este trabajo se presenta el estudio analítico, mediante fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF) y microscopía electrónica de barrido con análisis de energía dispersiva de rayos X (SEM-EDX), de un amplio grupo de monedas islámicas (532 piezas), con el fin de establecer una correlación entre la ley de la moneda islámica en España y los acontecimientos históricos más relevantes ocurridos durante los siglos VIII al X d.C. Los resultados analíticos obtenidos han permitido establecer el proceso de devaluación en la riqueza de la aleación Ag/Cu, en este período. Las tendencias observadas se correlacionan con el déficit de plata sufrido por el estado Omeya de Córdoba. Por otro lado, la combinación de las técnicas de TXRF y SEM-EDX ha permitido caracterizar de forma concluyente la tecnología de la producción, así como la evolución histórica sufrida por este tipo de materiales.

**Palabras clave:** moneda islámica, TXRF, SEM-EDX, ley en plata.

## 1. INTRODUCCIÓN

La historia monetaria de al-Andalus entre los siglos VIII y X d.C. tiene tres fases bien definidas: la primera es la de Conquista (92-138H./711-755 d.C.), la segunda corresponde al Emirato Omeya de al-Andalus (138-300 H./755-912 d.C.) y la tercera al Califato (300-403H./912-1012 d.C.). En cada una de ellas la moneda de plata, el dirhem, es la unidad básica del sistema monetario, siendo la pieza más abundante y cuya presencia es la más frecuente en los hallazgos. Los estudios sobre la evolución metalúrgica de estos períodos han sido frecuentes [1 y 2], siendo mucho menos abun-

<sup>(1)</sup> Servicio Interdepartamental de Investigación. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. 28049-Madrid. España

<sup>(2)</sup> Dpto. Prehistoria y Arqueología. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Autónoma de Madrid. 28049-Madrid. España

dantes los relativos a los contenidos metálicos [3]. Habida cuenta de que la moneda en al-Andalus es emitida por el estado con la función de ser la principal herramienta fiscal del mismo, la información que se pueda obtener de su contenido en plata es indispensable para comprender las relaciones de cambio entre las distintas especies monetarias en el mediterráneo occidental. Las diferentes tasas de cambio aplicadas a la relación oro-plata sólo pueden ser comprendidas dentro del equilibrio entre el peso de la moneda y la proporción de metal precioso presente en ella.

Por otra parte, cualquier material que posea un alto interés arqueológico, no debe ser analizado con técnicas analíticas destructivas, como por ejemplo AAS o ICPS, donde la muestra debe de ser digerida previamente. Por estas razones, se empleó la técnica de SEM-EDX, no destructiva, para realizar el análisis químico del grueso de las piezas. Para realizar una correcta cuantificación por SEM-EDX, es necesario conocer previamente la composición de la matriz problema, con el fin de que la corrección de autoabsorción ZAF, sea la adecuada. Debido a esto, se hizo necesario encontrar una técnica analítica cuantitativa que fuese capaz de analizar la composición de un conjunto reducido de monedas, representativas de cada uno de los períodos de interés, para que, a partir de estas, se pudiesen evaluar de forma no destructiva las variaciones de la composición en el resto de piezas con perfiles composicionales similares. La técnica utilizada fue la de TXRF, cuyos requisitos de cantidad de muestra eran suficientemente pequeños como para que su utilización no implicase una pérdida significativa de material. La cantidad necesaria para evaluar la ley de una moneda por TXRF se encuentra en el orden de los microgramos, pero se prefirió utilizar más cantidad, 5 mg, con el fin de realizar un análisis en volumen más significativo.

Las monedas omeyas estudiadas son, principalmente, de procedencia española, en su mayoría de la Comunidad Andaluza. El análisis del conjunto de 532 piezas estudiado, se llevó a cabo gracias al convenio de colaboración existente entre la U.A.M., el Museo Casa de la Moneda de Madrid y la European Science Foundation. Las muestras estudiadas fueron obtenidas de los ejemplares contenidos en las colecciones del citado Museo.

## 2. INSTRUMENTACIÓN

En la realización de este estudio se han utilizado dos técnicas claramente diferenciadas, la microscopía electrónica de barrido con análisis de dispersión de energía (SEM-EDX) y la fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF). El análisis por SEM-EDX es un método conocido y empleado habitualmente en estudios arqueométricos. Trabajos como los de Maniatis [4] o García Heras [5], ilustran algunas de las aplicaciones existentes en la bibliografía. La técnica de TXRF es menos conocida dentro del campo de la arqueometría. Los trabajos de Fernández Ruiz y García Heras [6 y 7] muestran su aplicación exitosa al estudio arqueométrico de materiales cerámicos con interés arqueológico, en especial en la caracterización de cerámicas numantinas [8] y navarras [9].

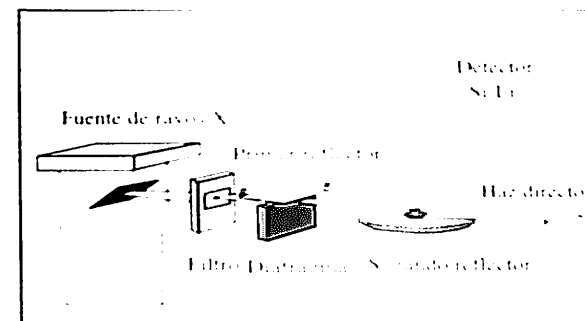


Figura 1. Geometría de TXRF. El ángulo de incidencia del haz de rayos X primario sobre la muestra es de cuatro minutos de arco.

portamuestras a partir de la evaporación de una disolución ácida (lixiviado) o de una suspensión de micropartículas.

El equipo utilizado para el análisis por TXRF fue el modelo EXTRA-II de Seifert & Co., Ahrensburg, Germany, equipado con dos líneas de rayos X de foco fino (SF 60-K), con ánodos de Mo y W, detector de Si(Li) con un área activa de 80 mm<sup>2</sup> y resolución de 157 eV a 5.9 KeV (Mn K<sub>α</sub>). La cámara de reflexión total la forman dos líneas ópticas de rayos X con un ángulo de incidencia de cuatro minutos de arco para conseguir la condición de reflexión total, tal y como muestra la figura 1.

## 2.2. LA TÉCNICA DE SEM-EDX

El equipo utilizado fue un microscopio electrónico de barrido Philips XL30 equipado con un analizador de rayos X secundarios modelo EDAX D<sub>x</sub>4i (ver figura 2). Las condiciones de medida en todos los análisis realizados fueron de 20 kV de potencial de aceleración, con una emisión electrónica de 50 μA. El tiempo de adquisición por moneda fue de 120 segundos con un tiempo muerto del 20%.

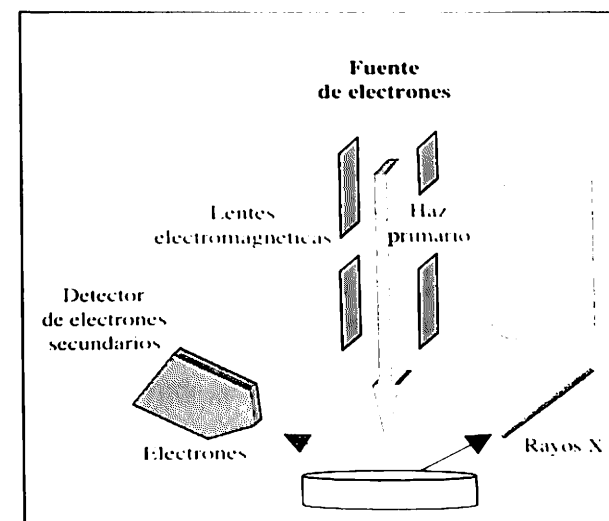


Figura 2. Diagrama de bloques de un equipo de SEM-EDX.

## 2.1. LA TÉCNICA DE TXRF

A diferencia de la XRF convencional, donde el ángulo de incidencia de los rayos X sobre la muestra es de 45°, el ángulo de incidencia en la técnica de TXRF es solo de unos pocos minutos de arco. En estas condiciones el haz primario no interactúa con el portamuestras, produciéndose una drástica reducción del fondo y una considerable mejora en la relación señal-ruido. La muestra se deposita en forma de lámina delgada sobre el

## 3. METODOLOGÍA

Para obtener unas composiciones patrón de las monedas, se analizaron, mediante TXRF, cinco piezas datadas en distintas épocas, con el fin de conseguir, de forma cuantitativa, una estimación correcta de la relación Ag/Cu presente. Mediante un útil mecánico se cortaron, en profundidad, cinco esquirlas de cada una de ellas, con un peso aproximado de 5 mg por esquirla. Posteriormente, éstas se introdujeron durante dos minutos en baño de ul-

trasonidos con una disolución 0,05 M de  $\text{HNO}_3$ , para eliminar las posibles inducciones producidas por el útil mecánico. Las esquirlas así preparadas fueron digeridas, en medio nítrico, de forma completa; 5  $\mu\text{l}$  de cada una de las preparaciones fueron depositadas mediante calor en los reflectores portamuestras. En esas condiciones fueron analizadas por TXRF, utilizando la línea de rayos X de molibdeno, con unas condiciones de adquisición de 50 kV y 15 mA, durante 500 segundos y con un tiempo muerto del 35%. La figura 3 muestra los resultados obtenidos en las monedas utilizadas como patrón cuantitativo. Las desviaciones estándar obtenidas varían entre un 0,8% y un 1,5%, mostrando una gran homogeneidad en la aleación constituyente de cada una de las monedas.

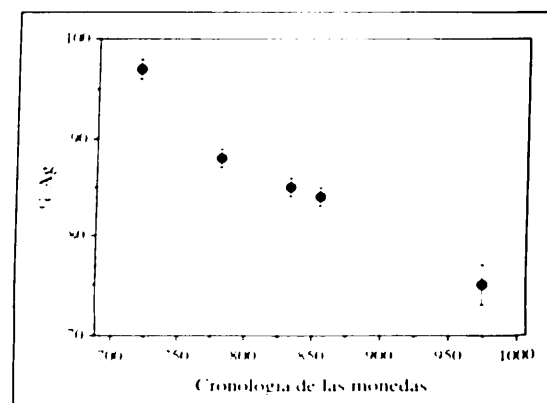


Figura 3. Resultados de TXRF de las cinco monedas utilizadas como patrones de calibración según sus cronologías.

Posteriormente, por SEM-EDX, se analizaron las 532 monedas, que constituyen el amplio conjunto de estudio, determinándose la ley de cada una de ellas. La cuantificación se realizó aplicando la corrección ZAF, tomando como patrones para el calibrado de autoabsorción, las monedas cuantificadas anteriormente por TXRF. Se analizaron tres zonas de 4  $\text{mm}^2$  de área por moneda, durante un tiempo de 120 segundos, con el fin de promediar la ley suponiendo una distribución homogénea de los elementos. Con el fin de obtener una ley promedio anual, se cuantificaron tres monedas por año, siempre que ello fue posible. La figura 4 muestra el resultado de dicho estudio. La ley se ha promediado por décadas y las desviaciones obtenidas corresponden a un conjunto de aproximadamente 30 monedas.

#### 4. CORRELACIÓN ARQUEOLÓGICA

La figura 4 muestra tres conjuntos, relativamente homogéneos, para cada una de las tres fases históricas abarcadas en este estudio, Conquista, Emirato y Califato. La secuencia de fechas analizadas en el período de la Conquista, no es muy amplia, pero se ajusta al alto nivel de pureza en plata que caracteriza las emisiones del califato Omeya de Damasco. Es cierto que los ejemplares con ceca al-Andalus han demostrado tener un nivel algo inferior al de otros talleres orientales, ya sea Damasco o la prolífica ceca de Wasit, pero aún así se mantienen en unos niveles superiores al 95% de riqueza en plata.

Más interesantes son los resultados del Emirato Omeya de Córdoba, el estado independiente formado por Abd al-Rahman I, desde el 138H./755 d.C. En este período, se aprecia un descenso sustancial respecto a la etapa anterior, articulado en dos secciones bastante claras. La primera entre el 150H./767d.C. y el 204H./820 d.C., en el

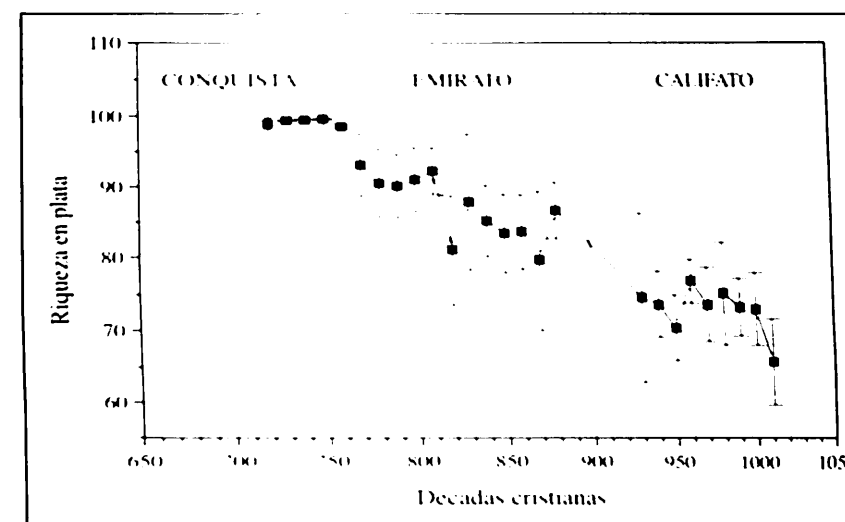


Figura 4. Resultados globales obtenidos por SEM-EDX, promediados por décadas.

que la calidad media de las monedas emitidas se sitúa en un intervalo comprendido entre el 90% y el 95% de riqueza en plata. La segunda sección, posterior al 820 d.C., muestra una degradación con valores en torno al 85% de riqueza. Si los resultados obtenidos se comparan con los estudios metroológicos, podemos apreciar que este descenso de la calidad de las monedas emitidas es coincidente con el descenso del peso en los mismos años. Estos hechos podrían encontrarse correlacionados con la existencia de un aumento del volumen de las emisiones de monedas, a tenor de la abundancia en piezas encontradas en los hallazgos conocidos.

Finalmente el período del Califato ha presentado los resultados más llamativos. Es un hecho conocido que la intensidad de la producción de moneda durante el siglo X fue muy alta, con un ritmo de fabricación muy superior al existente en el período del Emirato. Este aumento de producción no es anómalo para las rentas fiscales que recibe el estado califal, ateniéndonos a lo que las fuentes escritas y las arqueológicas nos han legado. Otra cuestión sería precisar si el volumen de moneda emitida sufrió las alteraciones que hemos percibido, debido a los altos niveles de producción de moneda exigida. Se pone de manifiesto una fuerte alteración general de la calidad de la moneda, que desciende a niveles comprendidos entre el 70% y el 80% en plata, con intensas fluctuaciones entre reinados y momentos históricos concretos.

Son de especial interés las alteraciones producidas en dos etapas del reinado de Abd al-Rahman III y en los años finales del Califato. La primera etapa se refiere al período que discurre entre los años 322H./933 d.C. y el 330H./941 d.C. En este período se produce la actuación de Said b. Yassas, prefecto de la ceca, cuya actuación al frente de la misma mereció la sanción y su encierro en prisión, por las manipulaciones realizadas a la moneda. Le sucedería en el cargo Qasim b. Jalid, cuyas medidas tendentes a restaurar la confianza en la moneda fueron elogiadas por las autoridades y reconocidas por la población. En la figura 5 se puede observar un descenso paulatino de la calidad de la moneda de Said, que llega a niveles inferiores al 60% en

el año 327H./938 d.C., aunque manifiesta una recuperación en el año 329H./940 d.C. Las emisiones de Qasim, por el contrario, se sitúan en un rango en torno al 75%, con escasas variaciones, que parece ser la media normal en el reinado de Abd al-Rahman III, salvo otra excepción que comentaremos a continuación. Por todo ello se puede concluir que la información que las fuentes dan sobre las anomalías producidas en la ceca entre los años citados es correcta y se manifiesta, no sólo en el aspecto metrológico, sino en el de la pureza de la moneda.

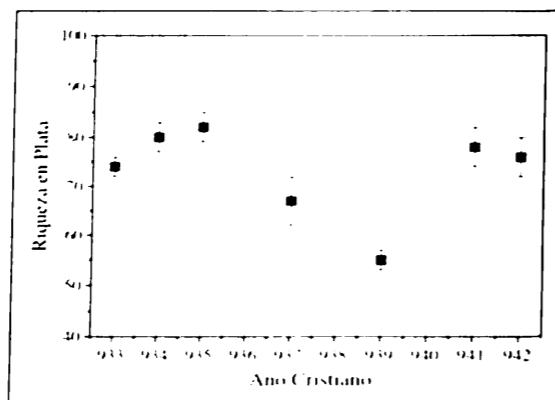


Figura 5. Ley anual promedio de las monedas emitidas en el periodo 933/941 d.C.

Un segundo momento de interés es el descenso muy marcado a finales del gobierno de Abd al-Rahman III. Los últimos seis años del reinado del citado califa parecen estar caracterizados, en lo que se refiere a la calidad de la moneda, por otro proceso de degradación constante, muy intenso entre los años 344-347H./955-958 d.C., siendo Ahmad prefecto de la ceca, con una notable recuperación en los dos años finales. Sabemos que su sucesor Al-Hakam II, al subir al trono, adoptó medidas contra los responsables de finanzas de su padre y realizó cambios sustanciales en el aspecto de la moneda. El mal estado físico de Abd al-Rahman III, en sus últimos años, pudo haber favorecido este descontrol al que su sucesor intentó poner solución. Frente a las bajadas, cercanas a niveles del 60%, de los años de Ahmad, las primeras emisiones de moneda de Al-Hakam (bajo el prefecto Yahya) indican la búsqueda de un nivel en torno al 75%, más acorde con lo habitual en la moneda califal.

Los años finales del califato de Córdoba, tras el año 399H./1008 d.C., son convulsos y una sucesión de tres califas (Hisam II, Muhammad al-Mahdi, Sulayman al-Mustain y, de nuevo, Hisam II) conduce a la crisis de la guerra civil que terminará con el Califato de Córdoba. Como es natural en un momento tan conflictivo y con las urgentes necesidades de moneda por los diferentes gobernantes, es el más idóneo para asistir a todo tipo de manipulaciones de la moneda. Los años finales de este trabajo recogen niveles inferiores al 60% de plata, los más bajos de todo el siglo X, aunque con notables diferencias entre años, califas y talleres. En este caso es necesario un análisis más detallado e individualizado para determinar las diferencias precisas.

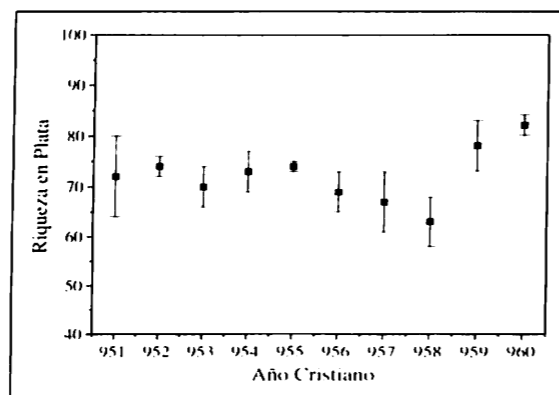


Figura 6. Ley anual promedio de las monedas emitidas en el periodo 950/960 d.C.

## 5. CONCLUSIONES

El estudio realizado muestra la información más completa (532 monedas analizadas) de que se dispone, hasta la fecha, sobre la evolución de la calidad de las emisiones de moneda en al-Andalus entre el siglo VIII y el X d.C. Los resultados obtenidos mediante la aplicación de las técnicas analíticas de TXRF y SEM-EDX han demostrado ser una potente herramienta para entender el funcionamiento del sistema monetario Omeya en al-Andalus. Por otra parte, la rapidez y el bajo costo con el que se pueden realizar los análisis sobre materiales metalúrgicos, convierten la metodología utilizada en una opción adecuada a la hora de abordar problemas con características similares en el campo de la arqueología. En las situaciones históricas puntuales consideradas, 933-941 d.C. y 950-960 d.C., se puede concluir que la información que las fuentes históricas muestran, respecto a las anomalías producidas en las cecas, entre los años citados, es correcta y se correlaciona, no sólo en el aspecto metrológico, sino en el de la pureza en plata de la moneda. Por último, las fuertes diferencias que se aprecian en el contenido en plata anual, suponemos que deben tener relación con los procesos de fabricación utilizados y creemos que debería ser analizadas con un estudio más amplio.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la Universidad Autónoma de Madrid, el Museo Casa de la Moneda de Madrid y a la European Science Foundation, que nos permitió la realización de este trabajo, gracias a la financiación de las medidas analíticas así como por el acceso al material estudiado, proveniente de las colecciones del citado Museo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Canto García, A. y Marsal Moyano, E., 1986. On the metrology of the silver coinage of the Spanish Amirate, *Problems of Medieval Coinage in the Iberian Area* 2, 167-180.
- [2] Canto, A., Cardito, L. y Martínez, C., 1998. La metrología del Califato de Córdoba: las emisiones de plata de las cecas de al-Andalus y madinat al-Zahra en el período 321-399H./933-1088(9), *Gaceta Numismática* 94-95, 41-54.
- [3] Savage, E. y Gordus, A.A., 1998. Dirhams for the Empire, en *Gènesis de la ville islamique en al-Andalus et au Maghreb occidental*, *Casa de Velázquez/C.S.I.C.*, 377-402.
- [4] Maniatis, Y., et al., 1993. New evidence of the nature of the attic black gloss, *Archaeometry* 35, 23-34.
- [5] García Heras, M. y Rincón, J.M., 1996. Microestructural and microanalytical study (SEM-EDX) of celtiberian Potsherds from the spanish central meseta, *Geoarcheology* 11, 329-344.
- [6] García Heras, M., Fernández Ruiz, R. y Tornero, J.D., 1997. Analysis of archaeological ceramics by TXRF and contrasted with NAA, *Journal of Archaeological Science* 24, 1003-1014.

- [7] Fernández Ruiz, R., García Heras, M. y Tornero, J.D., 1998. New developments in the analysis of archaeological ceramics by Total reflection X-Ray Fluorescence (TXRF). *41th International Symposium on Archaeometry*. Hungría, 27 de abril al 1 de mayo de 1998 (en prensa)
- [8] García Heras, M. y Fernández Ruiz, R., 1997. Primeros resultados de la caracterización arqueométrica de la cerámica Numantina del s. I a.C. *Caesaraugusta* 73, 59-66.
- [9] Olaetxea, C., Fernández Ruiz, R., García Heras, M. y Sesma, J., 1997. Análisis composicional mediante TXRF de producciones cerámicas navarras. 4th European Meeting on Ancient Ceramics. Noviembre de 1997, Andorra. *Actas del 5º Curso de Arqueología de Andorra*, 212-223, Servei de Recerca Històrica, Govern de Andorra.