



Received: 30/05/2024
Accepted: 15/06/2024

Gestión de residuos en la restauración de la puerta de alcalá: retos y soluciones sostenibles Waste management in the restoration works of the “puerta de alcalá”: challenges and sustainable solutions.

Natalia Gonzalez Pericot^a; Alvaro Mesa Martín^a

^a COAATM, Madrid, España. npericot@aparejadoresmadrid.es; alvaro.mesa.martin@gmail.com

Resumen-- La restauración del patrimonio plantea desafíos únicos en la gestión de residuos, ya que estos difieren significativamente de los de la construcción convencional. Este estudio analiza la gestión sostenible de residuos en la restauración de la Puerta de Alcalá, monumento emblemático de Madrid y Patrimonio de la Humanidad. Dado que no existe una bibliografía específica sobre la gestión de residuos en restauración patrimonial, se considera relevante compartir las estrategias empleadas para futuras restauraciones de bienes culturales. Durante el proceso de restauración se realizaron inspecciones y muestreos para caracterizar los residuos y evaluar su valorización o disposición final. Estos datos se compararon con el plan de gestión de residuos, permitiendo un análisis de los retos y oportunidades presentados. También se intentó reutilizar el plomo de las cubiertas, fundido y purificado in situ con éxito, y el silicato de aluminio proyectado, cuya reutilización fue descartada por problemas técnicos.

El hierro original en las estructuras escultóricas se restauró por su alta calidad, empleando hierro recuperado cuando fue necesario. Este enfoque, junto con la colaboración con empresas especializadas en materiales históricos, resultó crucial para reducir los residuos.

La experiencia muestra que técnicas como la separación en origen, la reutilización y la valorización de materiales históricos son esenciales para minimizar residuos, aunque algunas prácticas requieren ajustes para ser más efectivas. La adopción de prácticas sostenibles no solo preserva el patrimonio cultural, sino que fomenta la sostenibilidad y la economía circular en el ámbito de la construcción.

Palabras clave— Gestión de residuos; Patrimonio; Plomo; Reutilización in situ.

Abstract— The restoration of heritage sites presents unique challenges in waste management, as these differ significantly from conventional construction waste. This study analyzes sustainable waste management in the restoration of the Puerta de Alcalá, an emblematic monument in Madrid and a UNESCO World Heritage Site. Given the lack of specific literature on waste management in heritage restoration, it is valuable to share the strategies used for future cultural heritage restorations. During the restoration process, inspections and sampling were conducted to characterize the waste and assess its potential for recycling or disposal. This data was compared with the waste management plan, enabling an analysis of the challenges and opportunities encountered. An attempt was made to reuse lead from the roofing—melted and purified on-site successfully—as well as projected aluminum silicate, which was ultimately discarded due to technical issues.

The original iron in the sculptural structures was restored due to its high quality, with additional iron sourced from other restorations when needed. This approach, along with collaboration with companies specializing in historical materials, proved essential for waste reduction. The experience demonstrates that practices such as source separation, reuse, and the valorization of historical materials are crucial for waste minimization, though some methods need adjustments to improve their effectiveness. Adopting sustainable practices not only preserves cultural heritage but also promotes sustainability and circular economy principles within the construction sector.

Index Terms— Waste management, Heritage, Lead, In-situ reuse.

I. INTRODUCCIÓN

A. Restauración sostenible del patrimonio

Un edificio histórico es un lugar oficial donde se conservan piezas de historia política, militar, cultural o social por su valía (Salem, Hezagi & Dessouky, 2021) y ello es precisamente lo que dota a la Puerta de Alcalá de un mérito sobresaliente, y justifica su máximo nivel de protección.

Conocida la valía del monumento objeto del trabajo, el estudio para su restauración debe incorporar parámetros de sostenibilidad y longevidad, con el fin de reparar, reforzar y alargar la vida de estructuras y materiales (Meryman, 2005). Si bien los artesanos tradicionales tenían un íntimo conocimiento de los materiales, desde el inicio se pudo comprobar que las distintas intervenciones que tuvieron lugar a lo largo de la historia de la Puerta de Alcalá planteaban serios daños que era preciso corregir para garantizar su preservación.

Para lograrlo, se plantea un enfoque holístico e interdisciplinar mediante la colaboración entre expertos y el uso de nuevas tecnologías combinado con la tradición de los oficios artesanales, con el objeto de alcanzar una rehabilitación sostenible del patrimonio (Sayin, Akçay, Yildizlar, Bilir & Bozkurt, 2016). Las cualidades y particularidades de los materiales de construcción utilizados en patrimonio histórico les otorgan un valor intrínseco que en muchos casos los hacen insustituibles, y los artesanos especializados lo tienen muy en cuenta en sus intervenciones. La valorización de los residuos metalíferos mediante su recuperación y reciclado es la forma de gestión de estos más racional y ecológicamente sostenible (Del Río & León, 2011).

B. Gestión de residuos en obras de restauración de patrimonio

Si bien la gestión de residuos de construcción ha sido un tema de investigación recurrente debido a la importante contribución del sector de la construcción en el global de residuos, la investigación se ha centrado principalmente en la nueva construcción, en detrimento de los proyectos de rehabilitación (Sezer & Bosch-Sijtsema, 2022). No obstante, estos suponen un volumen muy relevante en un parque inmobiliario envejecido en Europa, lo que hace imprescindible que se desarrollen métodos específicos para la gestión de residuos en obras de rehabilitación. El importante peso específico de este tipo de proyectos favorece la tímida implantación de nuevas medidas, pero esto no sucede con las obras de restauración del patrimonio, obras que presentan particularidades y limitaciones que hacen interesante detenerse a estudiar las diferencias, objetivo de este trabajo.

Tras una búsqueda bibliográfica sobre la gestión de residuos de obras de restauración de patrimonio, no se han encontrado publicaciones específicas para los residuos generados en este tipo de intervenciones, por lo que se considera oportuno utilizar el caso de la restauración de la Puerta de Alcalá para exponer las lecciones aprendidas de la gestión realizada.

II. METODOLOGÍA

La restauración de la Puerta de Alcalá se aborda como una obra crucial de cara a la conservación de un monumento emblemático para la ciudad de Madrid, con un importante significado histórico. Al tratarse de una intervención de emergencia se comienzan los trabajos con la base de los estudios previos, y simultáneamente se comienza a redactar la memoria de actuación. La gestión de residuos se inicia con la redacción de un estudio sin proyecto previo, y aporta una estimación de las cantidades y categorías de residuos previstos, priorizando la segregación in situ y la reutilización de materiales, como buenas prácticas contrastadas en obras de rehabilitación (Villoria, Del Río, Porras, Santa Cruz & González, 2019).

El desarrollo del trabajo se plantea mediante un estudio inductivo basado en la observación y la toma de datos a lo largo de la obra para su posterior análisis, con el objeto de identificar las estrategias específicas vinculadas a restauración de patrimonio y valorar su eficacia.

- La observación se materializa en la revisión semanal de contenedores, punto limpio y residuos a pie de tajo, con un registro fotográfico mensual que aportará la trazabilidad de la gestión llevada a cabo.
- Posteriormente se realiza un análisis contrastando la información de campo recogida con los certificados de gestión aportados por la constructora.
- Finalmente se clasifican las estrategias según su nivel de éxito o acierto, con el fin de poder mejorar la gestión de residuos de futuras obras de restauración del patrimonio.

A. Estudio de gestión de residuos

Al tratarse de una obra de emergencia, es decir sin un proyecto de ejecución redactado antes del inicio de los trabajos, en realidad el documento generado se denomina Memoria de Gestión de Residuos, y para realizarlo se parte de una memoria inicial con sus mediciones.

Para cuantificar la cantidad de residuos a generar en la obra se utilizan habitualmente bases de datos que parten de ratios de generación preestablecidos, lo que en muchos casos no corresponde con la realidad, por falta de estadísticas fiables (Villoria et al, 2019). En este caso se utilizó el programa de IHOBE, una herramienta de apoyo para la redacción y revisión de Estudios, Planes e Informes de gestión de residuos (EGRs, PGRs e IFGs) del gobierno vasco. A pesar de ser una herramienta muy completa, las premisas de partida, válidas para la mayoría de las obras habituales de edificación, no encajan en una obra restauración tan específica, por lo que se introducen únicamente los datos de superficie y tipo de obra, donde la opción más consistente es “reforma”.

La intervención en la Puerta de Alcalá gira en torno a la actuación en tres ejes principales:

- Refuerzo estructural y restauración de los grupos escultóricos: se recupera el equilibrio estructural de aquellos grupos escultóricos (GE) que presentan riesgo de desplome, tanto del conjunto en sí como de cualquier pieza de su conjunto por separado.

- Desmontaje de la cubierta de plomo existente y sustitución por una nueva cubierta de plomo ventilada, para garantizar la estanqueidad necesaria, así como la evaporación del conjunto, evitando especialmente tanto el deterioro de los grupos escultóricos como el de las fachadas.
- Restauración de las fachadas: se eliminan, y en la medida de lo posible, se estabilizan los daños existentes en los diversos materiales que conforman la puerta, especialmente los materiales pétreos, granito y caliza.

En base a estos trabajos se revisan las tipologías de residuos

introducidas en la memoria y se ajustan a la realidad de la obra. Especialmente en este caso se introduce el residuo de plomo, puesto que será una partida muy significativa en el cómputo global de la obra. Una vez completado el documento se le facilita al contratista, que a su vez redacta el plan de gestión de residuos por el que regirá su gestión.

B. Seguimiento de la gestión de residuos durante la obra

Desde el principio de los trabajos se planteó la ubicación de un punto limpio en la campa general, en la que se colocaron una serie de carteles indicando el tipo de material a segregarse en cada

TABLA I
 MUESTREO DE COMPOSICIÓN Y NATURALEZA DE LOS RESIDUOS REALIZADO DURANTE LA OBRA

Mes	Trabajos en curso	LER	Descripción	Gestión	Fotografía
Marzo	Restauración de grupos escultóricos	20.01.01	Papel y cartón	Segregación in situ	
Abril	Catas en cubierta	17.01.07	Hormigón, ladrillos y otros cerámicos	Segregación en planta	
Mayo	Protección grupos escultóricos	17.02.03	Geotextil	Segregación in situ	
Junio	Refuerzo de grupos	17.04.06	Metales	Reutilización (restaurados)	
Julio	Desmontaje cubiertas plomo	17.04.03	Plomo	Reutilización in situ y segregación in situ	
Agosto	Proyectado de fachada	17.04.02	Aluminio	Reutilización in situ	
Septiembre	Ejecución de cubierta en puntos singulares bajo GGEE	17.05.04	Tierras	Segregación en planta	
Octubre	Mortero con fibras de asbestos	17.06.05	RCD mezclado con amianto	Gestor específico peligrosos	
Noviembre	Desmontaje lona y MMAA	N/A	Lona cubrición	Reutilización: donación a un colegio	
Diciembre	Desmontaje campa	17.01.01	Bordillos de hormigón	Segregación in situ	

una de las sacas. Por otro lado, se utilizaron contenedores durante prácticamente todas las fases de la obra.

Para resumir el seguimiento realizado se recogerá en una tabla el muestreo realizado cronológicamente durante los 12 meses de obra con los residuos obtenidos en cada una de las fases de obra, acompañados de fotografías que ayudarán a profundizar en los residuos más específicos, menos habituales, o con particularidades concretas.

C. Análisis crítico de la información aportada por los certificados de las plantas

La constructora aportó los certificados de los gestores al final de la obra, puesto que estos tardaron meses en enviarlos. Esto hace que no se pueda asignar con precisión los volúmenes de residuos al momento de su generación, puesto que las horquillas de tiempo indicadas en los certificados son amplias. En cualquier caso, se realiza una comparación con las previsiones de EGR y PGR para analizar las diferencias y entender las posibles desviaciones.

Por otro lado, con la información de los certificados se cuantifica la cantidad de residuos segregada in situ y la que posteriormente se segrega en las distintas plantas, con el objeto de comprobar el cumplimiento de la ratio de valorización impuesto por la ley 7/2022 de Residuos y Suelos Contaminados para una Economía Circular, del 70%.

D. Lecciones aprendidas para la gestión de residuos en restauración de patrimonio

Una vez analizados los resultados de la gestión llevada a

cabo, en otra tabla se seleccionan las estrategias utilizadas para los residuos más específicos y se evalúa su efectividad, los posibles problemas encontrados para conseguir la correcta gestión y los factores necesarios para mejorar su viabilidad en los casos en los que proceda.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez descrita la metodología a seguir se exponen los resultados comenzando con el seguimiento realizado durante la obra, para lo que se completa la tabla descrita en el apartado 2.2. A continuación, para analizar la información aportada en los certificados de gestión de las plantas se construye una tabla a la que se incorporan los datos de EGR y PGR, y se refleja la gestión final en las columnas denominadas IFR. Con esta información se describe lo sucedido con cada una de las corrientes de residuos, centrandlo el análisis más en la gestión llevada a cabo para cada residuo que en la cuantificación de estos. Finalmente, se extraen los residuos más significativos vinculados a la naturaleza de la obra y se valora la eficacia de las medidas implantadas, con el objeto de obtener una serie de buenas prácticas aplicables a la gestión de residuos de obras de restauración de patrimonio.

A. Monitorización de la gestión de residuos durante la obra

En la tabla 1 se recogen los residuos más significativos a lo largo de 10 meses de obra, de marzo a diciembre, por su naturaleza o su gestión, simplificando de modo que aportan una visión global del transcurso de la obra. Se excluyen enero y febrero por ser poco significativos en generación de residuos.

Residuos generados en la Restauración de la Puerta de Alcalá											
		MEMORIA gestión residuos		PLAN de gestión de residuos			INFORME FINAL de gestión de residuos				
CODIGO LER	RCDs Nivel I	MGR		PGR		Variación respecto MGR (% peso)	GESTIÓN INICIAL IN SITU		GESTIÓN FINAL TRÁNSITO SEPARACIÓN EN PLANTAS		
		Tn	V	Tn	V		Tn	V	Tn	V	Variación respecto MGR (% peso)
	Evaluación técnica del peso por tipología de RDC	Toneladas de cada tipo de RDC	m³ Volumen de Residuos	Toneladas de cada tipo de RDC	m³ Volumen de Residuos		Toneladas de cada tipo de RDC	m³ Volumen de Residuos	Toneladas de cada tipo de RDC	m³ Volumen de Residuos	Variación respecto MGR (% peso)
1. TIERRAS Y PÉTROS DE LA EXCAVACIÓN											
17.05.04	Tierras y pétros que no contienen sustancias peligrosas	0,00	0,00	0,00	0,00		6,88	6,00	36,77	26,61	
RCDs Nivel II											
	Evaluación técnica del peso por tipología de RDC	Tn	V	Tn	V		Tn	V			
	RDC: Naturaleza no pétreo	Tn	V	Tn	V		Tn	V			
17.02.01	1. Madera	5,20	8,67	5,20	3,12	0%	0,00	0,00	0,07	0,14	-99%
17.04.02	N1. Aluminio	0,00							0,00	0,00	
17.04.03	2. Plomo	15,14	1,34	15,14	22,71	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	100%
17.04.06	3. Metales mezclados	49,56	33,04	49,56	74,34	0%	0,00	0,00	2,97	8,99	-94%
20.01.01	4. Papel	9,03	15,05	9,03	8,13	0%	0,00	0,00	0,01	0,02	-100%
17.02.03	5. Plástico	18,00	22,50	18,00	16,20	0%	0,62	12,00	0,66	12,13	-96%
	6. Vidrio	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	
	7. Yeso	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	
19.12.02	N2. Materiales féreos	0,00							0,01	0,01	
20.01.38	N3. Madera que no contiene sustancias peligrosas	0,00							0,03	0,04	
20.03.07	N4. Residuos voluminosos	0,00							0,00	0,00	
	TOTAL estimación	96,93	80,59	96,93	124,50		18,16	12,00	3,73	21,32	-86%
RDC: Naturaleza pétreo											
17.01.01	1. Residuos de grava y rocas trituradas	40,00	26,67	40,00	60,00	0%	0,00	0,00			
	2. Homigón	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	6,49	3,93	
17.01.07	3. Mezcla de homigón, ladrillos y otros cerámicos	11,29	7,53	11,29	16,94	0%	12,44	12,00	12,98	12,78	15%
17.09.04	4. RCD mezclados sin sustancias peligrosas (otros)	21,00	14,00	21,00	31,50	0%	61,10	78,00	4,32	6,02	-79%
	TOTAL estimación	72,29	48,19	72,29	108,44		73,54	90,00	23,78	22,74	-49,51
RDC: Potencialmente peligrosos y otros											
	1. Basuras	2,26	3,77	2,26	1,58	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	
17.06.05	2. Materiales de construcción que contienen amianto	0,20	0,13	0,20	0,30	0%	0,50	??	0,50	??	
	TOTAL estimación	2,46	3,90	2,46	1,88		0,50	0,00	0,50	0,00	-80%

Fig. 1 Resumen de los residuos generados en la gestión de la Puerta de Alcalá. Fuente: Informe Final de Gestión de Residuos, redactado por AMM y NGP

B. Análisis crítico de la información aportada por los certificados de las plantas

La información de los certificados de las plantas gestoras de residuos se analiza y compara cuantitativa y cualitativamente con las previsiones del EGR y PGR, resumiéndose las cifras en la Fig. 1. Hay un primer apartado en RCD de Nivel I, en el que la memoria no preveía cantidad alguna ya que suele considerarse para las partidas de excavación; no obstante, las tres plantas utilizadas categorizan en el código 17.05.04, tierras y pétreos que no contienen sustancias peligrosas, gran parte del residuo producido al picar las cubiertas, con mezcla de piedra y arena. En madera el residuo consistió fundamentalmente en listones utilizados para encofrar los rellenos de mortero en las pendientes de las cubiertas, produciéndose tan solo 70 kg frente a las 5,2 tn previstas.

El plomo como residuo tiene una naturaleza excepcional debido a su alto valor, especialmente tras conocer el análisis químico de las planchas retiradas, cuyo resultado mostró un nivel de pureza muy alto. La gestión no ha requerido de planta de tratamiento, puesto que se acordó con la empresa especializada en plomo que ésta recuperaba el material y lo vendía a un recuperador específico. Por otro lado, durante la obra surgió la necesidad de emplomar las grapas que aparecieron en las cubiertas (Fig. 2), y aprovechando la calidad del plomo se decidió fundirlo purificándolo in situ para este trabajo, ahorrando tiempo y coste de acarreos al estar a pie de tajo. En consecuencia, se puede asegurar que el residuo del plomo ha sido valorizado al 100%, aunque no se ha conseguido cuantificar el porcentaje de reutilización in situ.



Fig. 2 Detalles de grapa emplomada y acopio de fragmentos de planchas para fundir

Los metales mezclados tienen un porcentaje de residuo gestionado muy inferior al previsto (94%); la realidad de la obra es que no ha generado cantidades significativas de metales. En este punto es preciso aclarar que las previsiones habituales en cuanto a tipología de materiales orientativas que se suelen utilizar a la hora de redactar los estudios de gestión de residuos son difícilmente aplicables a obras de restauración con particularidades específicas.

En el papel sucede algo parecido, el porcentaje gestionado se reduce a prácticamente nulo, posiblemente porque los sacos de los distintos materiales no se han separado adecuadamente, resultando 10 kg totales una cantidad muy inferior a la que supondrían todos los sacos de papel Kraft para áridos, cales, pigmentos, etc. La utilización de una compactadora para este tipo de residuos de embalajes, al igual que con el film de paletizar, ayuda a mejorar los ratios de segregación in situ (Villoria et al, 2019; Pericot, Sáez, Merino & Carrasco, 2014).

En el apartado del plástico aparece una particularidad o elemento no previsto: los geotextiles utilizados para proteger los grupos escultóricos de las lluvias una vez restaurados, y posteriormente, más geotextil utilizado para mantener las condiciones de humectación requeridas para el correcto curado de los morteros de pendientes, en cubiertas y aleros, ejecutados durante meses de verano. La gestión de este residuo fue inicialmente compleja puesto que ninguna empresa gestora lo reconocía, hasta que se optó por categorizarlo como plástico, 17.02.03, tratándose de poliéster. De este modo se completaron dos contenedores de geotextiles segregados in situ. En cualquier caso, en la categoría de plástico la cantidad también es muy inferior a la que preveía la memoria.

Dentro de la categoría de RCD de naturaleza pétreo, un residuo no previsto en el plan era el hormigón, del que se separan 6,5 tn.; dado que se trata de separación hecha en las plantas gestoras, se intuye que en la categorización del apartado 17.01.01 se han incluido fragmentos gruesos de morteros demolidos, sin mezcla. Además la constructora desechó todos los bordillos de hormigón utilizados para generar caminos en el campamento de obra, segregados, por el espacio que requería guardarlo para futuras obras.

En el caso de residuos de hormigones mezclados con elementos cerámicos, 17.01.07, el porcentaje de residuo final con respecto al previsto en la memoria aumenta el 15%, siendo además residuo con mayor índice de segregación in situ.

Cerrando el capítulo de RCD de naturaleza pétreo, el apartado 17.09.04, RCD mezclados sin sustancias peligrosas es el que mayor tonelaje supone en cantidad de contenedores llevados a planta: 61,10 tn. Esto demuestra que es el apartado bajo el cual las plantas han categorizado el 60% de los residuos a su llegada, resultando finalmente en la misma categoría tras la segregación 4,32 tn. Fruto de esa separación en planta surgen 4 nuevas tipologías no previstas en la memoria: aluminio, materiales féreos, madera sin peligrosos y residuos voluminosos. Aunque como se ha indicado, su peso en el cómputo global es despreciable, es importante la separación para liberar de impurezas los dos residuos principales obtenidos: tierras y pétreos (17.05.04) y mezcla de hormigón y cerámicos (17.01.07).

Uno de los residuos que muy posiblemente se ha categorizado indebidamente como 17.09.04 es el silicato de aluminio utilizado para proyectar la fachada, el Asilit. Inicialmente se trató de reutilizar, pero con el tiempo se comprobó que la higroscopicidad del material hacía que se formasen bolitas que reducían el rendimiento de los trabajos de limpieza, atascando los equipos y obligando a parar continuamente. Por ello se descartó su reutilización, de modo que una vez proyectado se barría y aspiraba de las distintas superficies, yendo a parar a sacos mezclado con otros restos.

Para finalizar, bajo el epígrafe 17.06.05, materiales de construcción que contienen amianto, se recogen los dos sacos de mortero con restos de fibras de asbestos retirados dentro de la categoría de RCD potencialmente peligrosos. El tonelaje reflejado de este residuo es probablemente el mínimo para gestionar el traslado, por lo que en lugar de los 5.000 kg reflejados no son más que 50 kg.

TABLA II
SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN Y PROBLEMÁTICA DETECTADA

Residuo	Gestión	Efectividad	Problemas encontrados / Comentarios	Viabilidad
Plomo	Reutilización in situ Segregación in situ	Máxima	Ninguno. El % reutilizado in situ (previo proceso de purificación) ahorra los acarrees de plomo, el resto se valoriza al 100%.	Alta
Lona	Reutilización ex situ	Máxima	Ninguno. Se prevé dificultad en su limpieza, por la contaminación a la que ha estado expuesta.	Alta
Geotextil	Segregación in situ	Alta	No se encontraban gestores que lo recogiesen hasta que se decidió catalogar como plástico.	Alto
Hierro	Reutilización	Alta	Ninguno. Se precisa de herrero especializado capaz de restaurar las piezas, en ocasiones con aporte de hierro antiguo.	Alta
Silicato de aluminio	Reutilización	Baja	La higroscopicidad del material atasca los equipos; también se mezcla con contaminación.	Baja

C. Lecciones aprendidas para la gestión de residuos en restauración de patrimonio

Una vez analizados los resultados obtenidos, en la Tabla 2 se recoge una selección de las medidas implementadas más vinculadas a la naturaleza de la obra y por tanto menos generalizadas en las obras de construcción habituales, evaluando su efectividad y los problemas que se presentaron, y en consecuencia asignando a cada una un grado de viabilidad.

IV. CONCLUSIONES

Las conclusiones alcanzadas en el estudio permiten confirmar que las obras de restauración de patrimonio merecen un estudio particularizado por la naturaleza de los trabajos y las categorías de residuos que generan. En particular, se comprueba que las ratios habituales utilizados para la elaboración de estudios de gestión de residuos no se adecuan a la realidad de la obra, y para afinar en su categorización y cuantificación se debe focalizar en los trabajos a realizar y sus métodos constructivos.

Por otro lado, la incorporación de oficios tradicionales especializados capaces de trabajar con materiales antiguos e incorporar técnicas artesanales ha demostrado ser esencial. Claramente, en el caso de la Puerta de Alcalá, tanto los herreros que acometieron el refuerzo de los grupos escultóricos como los plomeros que ejecutaron la nueva cubierta son oficios muy especializados que resultaron cruciales para garantizar la conservación de las técnicas originales, además de para la recuperación de materiales valorizables en lo que se refiere a la gestión de residuos.

En general, las medidas de reutilización implementadas dieron buen resultado con excepción de la reutilización del silicato de aluminio para proyectar las fachadas, que fue descartada. En este caso, el bloqueo de los equipos con la consiguiente penalización en tiempo no aconsejaba la reutilización del material, especialmente en los meses más

húmedos. Tampoco en los meses de verano, puesto que las partículas de contaminación que recogía el silicato de aluminio al ser proyectado por primera vez hacían que el producto resultante no cumpliera los requisitos de calidad exigidos para su uso.

En resumen, el trabajo destaca la importancia de la segregación in situ y la colaboración con oficios tradicionales, y ofrece alternativas de reutilización y valorización concretas para diversos materiales utilizados en este tipo de obra. Por otro lado, se constata la dificultad de obtener una trazabilidad adecuada por parte de la constructora, que apunta a la tardanza de las plantas para aportar los certificados de valorización. Ciertamente la naturaleza de emergencia la obra, la falta de un proyecto inicial con su correspondiente estudio y las tensiones en los plazos han penalizado el nivel de control en cuanto a residuos se refiere. En el futuro se deberá ampliar la lista de materiales para configurar un catálogo de buenas prácticas en la gestión de residuos de obras de restauración del patrimonio.

REFERENCIAS

- Martín del Río, J. J., & León Muñoz, M. Á. (2011). La gestión del plomo en las obras de restauración, rehabilitación y demolición. *Cercha: Revista de los Aparejadores y Arquitectos Técnicos*, 110, 72-77.
- Meryman, H. (2005). Structural materials in historic restoration: Environmental issues and greener strategies. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, 36(4), 31-38.
- Pericot, N. G., Sáez, P. V., Merino, M. D. R., & Carrasco, O. L. (2014). Production patterns of packaging waste categories generated at typical Mediterranean residential building worksites. *Waste Management*, 34(11), 1932-1938.
- Salem, S. I., Hegazi, Y. S., & Dessouky, S. K. (2021). A framework for managing building waste from the restoration of historic Cairo. *Civil Engineering and Architecture*, 9(7), 2362-2380.

- Sayin, B., Akçay, C., Yıldızlar, B., Bilir, T., & Bozkurt, T. S. (2016, August). Restoration approach to improve sustainability and longevity in existing historical structures. In *SCMT4: 4th International Conference in Sustainable Construction Materials and Technologies* (pp. 7-11).
- Sezer, A. A., & Bosch-Sijtsema, P. (2022). Actor-to-actor tensions influencing waste management in building refurbishment projects: A service ecosystem perspective. *International Journal of Construction Management*, 22(9), 1690-1699.
- Villoria Sáez, P., Del Río Merino, M., Porrás-Amores, C., Santa Cruz Astorqui, J., & González Pericot, N. (2019). Analysis of best practices to prevent and manage the waste generated in building rehabilitation works. *Sustainability*, 11(10), 2796.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.