



RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN GENERADOS EN LAS OBRAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Mercedes del Río Merino (a) , Jaime Santa Cruz Astorqui (b), Paola Villoria Sáez (c), Cesar Porras Amores (d)

(a) Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid. Spain. mercedes.delrio@upm.es (Corresponding author)

(b) Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid. Spain. jaime.santacruz@upm.es

(c) Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid. Spain. paola.villoria@upm.es

(d) Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid. Spain. cesar.porras@upm.es

HABILITACIÓN ENERGÉTICA

ABSTRACT

RESUMEN

Los edificios de viviendas y servicios, comercios, oficinas y equipamiento, son responsables del 40% del consumo total de energía final en la Unión Europea. En España este porcentaje es menor (27,7%) debido a que las condiciones climáticas son, en general, más suaves que en el centro y norte de Europa. A pesar de ello, la incidencia sobre el global sigue siendo importante a tener en cuenta para reducir el impacto ambiental de los edificios.

Para intentar paliar el problema se han diseñado una serie de medidas legales que se derivan de la transposición de la Directiva 2002/91/CE de eficiencia energética de los edificios. En este sentido, en la actualidad, en España, es obligatorio que los edificios existentes, que se vendan o alquilen dispongan de un certificado de eficiencia energética. Esta medida unida a la grave crisis que a lo largo de los últimos seis años afecta a la edificación, ha hecho que el sector esté cambiando de paradigma y buscando en la rehabilitación, en concreto en la rehabilitación para la mejora de la eficiencia energética de los edificios, un nuevo modelo que haga más sostenible el sector. Esto ha hecho que aumente el flujo de residuos de construcción y demolición (RCD) asociados a este tipo de intervenciones.

En los últimos años se han realizado numerosas investigaciones para determinar los RCD que se generan en las obras de edificación, pero en general estos estudios se han centrado en la obra nueva residencial, no habiéndose encontrado apenas estudios que cuantifiquen estos residuos en obras de reforma o rehabilitación o en las obras de mejora de la eficiencia energética de los edificios.

En esta ponencia se presentan los resultados de parte de un proyecto de investigación que trata de analizar la generación de RCD en este tipo de obras. Para conseguir dicho objetivo, se realiza en primer lugar un análisis de las actuaciones tipo para mejorar la eficiencia energética de la envolvente vertical y horizontal de los edificios y posteriormente se cuantifican los RCD generados en cada una de estas actuaciones de forma real y teórica, mediante tres programas informáticos. De los resultados obtenidos se puede concluir que los programas informáticos analizados obtienen resultados muy diferentes pues los coeficientes utilizados para convertir la parte proporcional de recurso

material consumido que se convierte en residuo son diferentes, como también lo son las características de las obras sobre las que se ha trabajado.

Sin embargo, todos los programas coinciden en cuanto a cuál ha sido el tipo de residuos más generado que a su vez coincide con los datos reales obtenidos siendo el hormigón y los materiales cerámicos los más generados. Además se observa que la mayor cantidad de RCD generados proviene de la preparación del paramento (vertical u horizontal) donde se plantea realizar la actuación y que los tipos de RCD generados como su proporción dentro del total siguen también siendo similares en todas las provincias españolas objeto del estudio.

Por último, en los residuos de hormigón, cerámicos, metal y madera se superan los umbrales máximos establecidos en el **Real Decreto ()**; por lo que sigue siendo preciso su control en la obra, siendo en consecuencia los tipos de RCD en los que hay que seguir trabajando para lograr su minimización u otras formas de reciclaje y valorización.

Keywords:

Construction and demolition waste (CDW), building waste, energy efficiency, sustainability.

Introducción

Los edificios de viviendas y servicios, comercios, oficinas y equipamiento, son responsables del 40% del consumo total de energía final en la Unión Europea. En España este porcentaje es menor (27,7%) debido a que las condiciones climáticas son, en general, más suaves que en el centro y norte de Europa. A pesar de ello, la incidencia sobre el global sigue siendo importante a tener en cuenta para reducir el impacto ambiental de los **edificios (1)**.

Esto unido al creciente interés por un desarrollo sostenible y un uso eficiente de la energía en los diferentes sectores, y en particular en el de la edificación, ha dado lugar, en España, al diseño de una serie de medidas legales que se derivan de la transposición de la **Directiva 2002/91/CE** de eficiencia energética de los edificios. En concreto, el Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo por el que se aprueba el **Código Técnico de la Edificación (CTE)** y que contiene un **Documento Básico de Energía sobre Ahorro de Energía (DBHE)** y establece unos requisitos más exigentes de eficiencia energética, que deben introducirse en la fase de diseño de los proyectos. Además, ya hace más de diez años, el Plan de Acción del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE) incluyó la regulación de la Certificación Energética de los Edificios y la revisión del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE). En ese mismo orden de cosas el **Real Decreto de Certificación Energética (RD 235/2013)** obliga a los edificios existentes, que se vendan o alquilen, a disponer de un certificado de eficiencia energética, lo que sin duda está impulsando un mercado, aunque todavía incipiente de sistemas y materiales orientados a la mejora de dicha eficiencia energética.

Atendiendo a lo anterior y teniendo en cuenta la grave crisis que afecta a la edificación en nuestro país, desde hace ya más de seis años, el sector está cambiando de paradigma y buscando en la rehabilitación, en concreto en la rehabilitación para la mejora de la eficiencia energética de los edificios, un nuevo modelo que haga más sostenible el sector y que lo dinamice. En este sentido, en el Congreso Nacional de Medioambiente los expertos llegaron a la conclusión de que es necesario rehabilitar unas 400.000 viviendas al año de cara a conseguir el objetivo 2050 (**CONAMA10, 2010**). **Cuchí y Sweatman (2011)**

Por otra parte, en la actualidad los sectores de la construcción, energía e industria generan en torno al 50% de los residuos producidos en **Europa (European Comision, 2015)** y en concreto los RCD representan el 33% de los residuos generados en la UE. Por este motivo, la UE ha considerado el flujo de RCD como una corriente prioritaria de actuación. De hecho, durante la última década, la intensa actividad en el ámbito de la construcción generó en Europa alrededor de 827 millones de toneladas de RCD de media al año y sin embargo, sólo el 50% de estos RCD se reciclaron (**Fischer C, 2009**).

En este nuevo escenario se hace necesario actuar sobre los RCD generados en obras para la mejora de la eficiencia energética y es por ello que el grupo de investigación Tecnología Edificatoria y Medioambiente (TEMA) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) está trabajando con las universidades de Sevilla, Zaragoza y Burgos en un proyecto denominado: De residuos a Recursos-**Waste to Resources (W2R)**, que tiene como objetivo principal el desarrollo de nuevos materiales, elementos y sistemas constructivos, fabricados a partir de RCD generados en las obras

para la mejora de la eficiencia energética de los edificios y de esta manera conseguir cerrar el ciclo de vida de los edificios, generando cero residuos y reduciendo la huella ecológica del sector de la edificación.

Todo ello ha dado lugar a que desde la Administración se impulsaran una serie de medidas, como las recogidas en el [Real Decreto 105/2008](#), que obligan a seleccionar y recuperar algunos tipos de RCD que excedan de una serie de cantidades: >80t hormigón; >40t ladrillos y tejas; >2t metal; >1t madera; >1t vidrio; >0.5t plástico; >0.5t papel.

Durante los últimos años ha aumentado considerablemente la cantidad de estudios científicos relacionados con la cuantificación de los RCD ([H. Yuan & Shen, 2011](#)) ([Mália, de Brito, Pinheiro, & Bravo, 2013](#)). Estos estudios parten de la base de que para actuar sobre los RCD lo primero es conocer cuántos residuos se generan y cuáles son los tipos de residuos más generados. En general, las investigaciones consultadas obtienen datos sobre el porcentaje de cada categoría de RCD sobre el total generado; establecen ratios de generación de RCD en obra, dependiendo del tipo de obra: nueva, demolición o reformas o establecen ratios para estimar la generación de RCD en un área o región.

En cuanto a los trabajos que estiman los ratios para la cuantificación de RCD se puede concluir que suelen obtener información de los documentos de obra o de los datos anuales publicados por el gobierno (licencias de construcción, superficies construidas según los permisos, etc.).

En cuanto a los estudios elaborados a partir del análisis de datos procedentes de las obras, cabe destacar a [Bossink y Brouwers](#) los cuales establecieron las primeras estimaciones de generación de RCD a partir del estudio de 184 viviendas desarrolladas en Holanda ([Bossink & Brouwers, 1996](#)). Determinaron que, según la tipología de los materiales de construcción que se suministran en la obra, entre un 1% - 10% en peso de los mismos se convierte en residuo.

[Mañà i Reixach et al.](#) desarrolló el método utilizado por el Instituto de la Construcción de Cataluña para cuantificar el RCD generado por superficie construida según los distintos sistemas constructivos y teniendo en cuenta tres fases de construcción: estructura, albañilería y acabados ([Mañà i Reixach , et al., 2000](#)).

El estudio realizado por [Chandrakanthi et al.](#) en Canadá, utilizó modelos de simulación para establecer la generación de residuos en obras de construcción según cinco categorías, basándose en el cronograma de actividades de obra ([Chandrakanthi, Ruwanpura, Hettiaratchi, & Prado, 2002](#)).

En 2010, el trabajo desarrollado por [Solís-Guzmán et al.](#), estableció un modelo para la cuantificación de RCD en España, basándose en los presupuestos del proyecto ([Solís-Guzmán, Marrero, Montes-Delgado, & Ramírez-de-Arellano, 2009](#)). El modelo cuantifica las distintas categorías de residuos generados, diferenciando el residuo procedente de las demoliciones, pérdidas de material durante la construcción y los embalajes

En 2011, [Llatas](#) realizó un estudio en obras de nueva construcción determinando los ratios de generación de RCD para tres tipologías de residuos: restos, envases y tierras ([Llatas, 2011](#)). Los resultados del estudio determinaron los siguientes ratios de generación: 0,0819 m³/m² construido para residuos de embalajes; 0,0569 m³/m² para los restos; 0,2805 m³/m² para las tierras.

[Mercader et al.](#) obtuvo ratios de generación para cada categoría de RCD a través de un análisis sobre los recursos consumidos de diez edificios residenciales ([Mercader-Moyano & Ramírez-de-Arellano-Agudo, 2013](#)). El ratio de RCD total generado en obras residenciales se estableció en 0,07979 t/m².

Otros investigadores presentan resultados obtenidos a través de las licencias de construcción. En este aspecto, [Hsiao et al.](#) utiliza las superficies construidas según los permisos de obra concedidos hasta 1999 en Taiwán, en aras a estimar los residuos de hormigón desde 1981 hasta 2011 ([Hsiao, Huang, Yu, & Wernick, 2002](#)).

El método de estimación de los residuos provenientes de la construcción, rehabilitación y demolición de edificaciones planteado por [Conchran et al.](#), se basa en la Metodología Nacional propuesta por U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) y la Industrial Solid Waste Division ([Cochran & Townsend, 2010](#)). Este estudio llevado a cabo en Florida, emplea rangos de estimación que permiten establecer diferencias de generación de residuos según la técnica constructiva.

[Kofoworola et al.](#) en Tailandia emplea la información obtenida de los permisos de construcción expedidos en un año y obtiene los siguientes factores de generación de residuos: 21,38 kg/m² para obras de construcción residencial y de 18,99

kg/m² para obras de construcción no residencial (Kofoworola & Gheewala, 2009). También Bergsdal et al., utiliza la modelación dinámica para establecer los residuos de construcción, rehabilitación y demolición de edificaciones en Trondheim, Noruega. Realizan proyecciones hasta el año 2020 para 10 categorías de residuos distintas (hormigón, madera, panel laminado, metales, papel, plástico, vidrio, aislante, RP y otros) (Bergsdal, et al., 2007).

Por tanto, aunque existen numerosos trabajos que analizan y cuantifican los residuos generados en las obras de edificación, prácticamente todos estos trabajos se realizan sobre obras de nueva planta de edificios residenciales y las pocas referencias encontradas sobre estudios que cuantifican los RCD en obras de rehabilitación, no consideran los aspectos específicos de las obras de rehabilitación para la mejora de la eficiencia energética.

2. Objetivo

En esta ponencia se presentan algunos de los resultados del proyecto **W2R**, en concreto la identificación y cuantificación, teórica y experimental de los tipos de residuos generados en obras de rehabilitación para la mejora de la eficiencia energética de edificios.

Otros objetivos más específicos son:

- Analizar el tipo de actuaciones para la mejora de la eficiencia energética más habituales en España.
- Determinar el programa informático para cuantificar RCD más adecuado a la tipología de obra analizada.
- Cuantificar y analizar los tipos de RCD más generados en dichas obras.

3. Metodología

Para la consecución de los objetivos propuestos se ha desarrollado la siguiente metodología:

- Selección de las obras a estudiar, así como de las actuaciones para la mejora de la eficiencia energética.
- Selección del programa informático a utilizar para la cuantificación teórica de los RCD desde el proyecto de ejecución.
- Identificación y cuantificación de RCD en obra, mediante los programas informáticos y la toma de datos in-situ.

3.1. Selección de las obras a estudiar, así como de las actuaciones para la mejora de la eficiencia energética.

Se han seleccionado obras de las ciudades de Sevilla, Córdoba, Cádiz, Zaragoza y Madrid, ciudades ubicadas en el Sur, el centro y el Norte del país, para de estas manera contrastar si la construcción-tipo de cada región difería lo suficiente como para tener esta variable en consideración.

En todos los casos, se han localizado edificios que habían solicitado licencia de obras de rehabilitación en los últimos cinco años, identificando de entre ellos los que guardasen relación con la mejora de la eficiencia energética de la envolvente de los edificios.

Seleccionadas las obras, se contacta con los arquitectos, promotores y constructores de las mismas para obtener datos sobre el período de ejecución en el que se encontraban y obtener su autorización para realizar el trabajo de campo in-situ. Finalmente se concentra el trabajo de campo en las obras siguientes:

[SEVILLA]	[CÁDIZ]	[CÓRDOBA]	[ZARAGOZA]	[MADRID]
Obra 1: C/Conde de Ibarra, nº 2 (Casco Antiguo)	Obra 5; Avda. Puerta del Sur, nº 29, Jerez de la Frontera	Obra 6: C/Periodista José Luis de Córdoba, nº 24, 26, 28, 30 y 32	Obra 7: Grupo Girón 10, 13, 15 y 17 C/San Pablo, nº 83 - 85	Obra 8: C/Benimamet, nº 47, 49 y 51
Obra 2: C/Santa Ana, nº 51 (Casco Antiguo)	Obra 3: C/Cantabria, nº 3 (Casco Antiguo)			
Obra 4: C/Cruz				

de la Tinaja, n° 4
(Casco Antiguo)

A continuación se hace un análisis pormenorizado, genérico, de las posibles lesiones y carencias de los edificios que afectan a la falta de eficiencia energética de los edificios. y se estudian, los procesos de las soluciones constructivas más utilizadas en España para la mejora de la eficiencia energética (EE) de la envolvente (vertical y horizontal) de los edificios:

Actuaciones en la envolvente vertical

1.1. Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE/ETICS)

1.2. Sistema de aplacado sobre aislamiento

Fachada ventilada

Trasdosado con panel rígido de aislamiento y revestido de yeso

Trasdosado con material aislante y placa de yeso laminado

Sustitución de carpinterías y persianas

1.1.1 Inyección de material aislante en la cámara (de existir)

1.1.2

Actuaciones en la envolvente horizontal

Intervenciones desde el exterior (cubierta plana)

Intervenciones desde el exterior (cubierta inclinada)

Aislamiento colocado bajo la cubierta por su interior

3.2. Determinar el programa informático para cuantificar RCD más adecuado a la tipología de obra analizada.

En esta etapa de la metodología se realiza la cuantificación teórica de los RCD que se espera se generarán en obra, con los datos que figuran en el proyecto de ejecución, a fin de corroborar más tarde con el trabajo de campo en la obra si los cálculos en la fase de proyecto son aproximados o no.

Para ello, se realiza el cálculo utilizando como soporte el proyecto de ejecución facilitado por los arquitectos redactores de los mismos y como herramientas, los programas informáticos comúnmente utilizados en el sector para elaborar el Estudio de Gestión de Residuos, obligatorio en provincias como Sevilla para obtener el cálculo de las tasas municipales.

Entre los programas más utilizados se citan los expuestos a continuación, que denominados sintéticamente como “FIDAS”, “ARDITEC” Y “ARQUÍMEDES”, por dar nombre a los organismos, grupos y empresas que los identifican como propios:

3.3. Cuantificar y analizar los tipos de RCD más generados en dichas obras.

Para la identificación y cuantificación de los residuos generados se realizan dos análisis:

- Una cuantificación teórica de la generación de RCD en las obras para la mejora de la eficiencia energética.

Para ello, se utiliza la base de datos Arquimedes, del programa informático Cype, la cual ofrece información sobre los siguientes parámetros ambientales de cada partida:

- Volúmenes en m³ de RCD generado, clasificado de acuerdo con el código LER.
- Pesos en kg de RCD generado, clasificado de acuerdo con el código LER.

Estos parámetros ambientales se han determinado para cada partida, y por agregación, para la totalidad de la actuación para la mejora de la eficiencia energética. Permitiendo de este modo, obtener las cantidades de residuo generadas en cada actuación por m² derribado/construido.

- Una cuantificación teórica y experimental de la generación de RCD en las obras seleccionadas.

En este apartado se desarrolla el trabajo de campo visitando cada una de las obras cumplimentando las fichas de toma de datos, así como se recaban los proyectos de ejecución, facilitados por los arquitectos redactores y se procede a realizar el cálculo teórico del Estudio de Gestión de Residuos (EGR), a partir de las mediciones del proyecto de ejecución. Estos

cálculos estiman los RCD que se esperan se generen durante el proceso de ejecución. Si bien en este momento del estudio, se descarta para la comparativa la OBRA 5, dado que al ser un sistema SATE realizado por el exterior no ha habido demolición alguna.

Por otra parte, durante el proceso de ejecución, se identifican in-situ los residuos que se generan, contabilizando las cubas donde se vierten y cuantificando sus volúmenes. De esta forma se puede verificar la efectividad de los cálculos teóricos que se realizan en la fase de proyecto y su cercanía a la realidad en el proceso constructivo. Para ello, se ha utilizado la siguiente información (además de la información proporcionada por la ficha tipo de recogida de datos):

- Planimetría básica del proyecto: Plantas, secciones y alzados. Necesarios para la toma de datos a la hora del cálculo del EGR.
- Albaranes, y certificados de Organismos y Gestores de Residuos Autorizados.

Con esta información, se elabora una tabla comparativa entre las cantidades descritas en el EGR del proyecto, la estimación de los RCD calculados con los programas informáticos “FIDAS, ARDITEC Y ARQUIMEDES”, que se fundamentan en los datos obtenidos durante la fase de proyecto y se comparan con los datos recabados in-situ durante la fase de ejecución, en el trabajo de campo en obra. Además, se determinan los indicadores de generación de RCD obtenidos por m² construido/rehabilitado y demolido para cada obra, con el fin de poder comparar los resultados.

Tipo de obra	Superficie construida/rehabilitada/demolido (m ²)						
	Obra 1	Obra 2	Obra 3	Obra 4	Obra 5	Obra 6	Obra 7
Nueva construcción	0	26,80	90,64	0	0	0	-
Demolición	409,31	527,72	146,62	81,94	0	513,93	-
Reforma	424,20	468,80	140,87	184,15	10292,36	2264,80	-
Total	833,51	1023,32	378,13	266,09	10292,36	2778,73	-

Tabla 1 “Superficie construida/rehabilitada/demolido (m²) de cada obra analizada”

2. 4. Resultados y discusión

4.1. Identificación y cuantificación de los residuos generados en obras de rehabilitación para la mejora de la eficiencia energética.

En la tabla 2 se identifican los tipos de RCD generados en cada una de las actuaciones para la mejora de la eficiencia energética seleccionadas.

Residuos	Envolvente Vertical							Envolvente Horizontal		
	Intervenciones desde el exterior			Intervenciones desde el interior				Intervenciones por exterior		Intervención por interior
	Sistema SATE	Sistema de aplacado sobre aislamiento	Fachada ventilada	Trasdosado con aisl. y revestido de yeso	Trasdosado con aisl. + yeso laminado	Sustitución carpinterías persianas y de inyección de aislante en la cámara	cubierta plana	cubierta inclinada	Aislamiento colocado bajo la cubierta por su interior	
A. Térmico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Mortero	X	X					X			
R. tóxico	X			X	X	X	X		X	
Plásticos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Cartón	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
RCD mixto		X	X			X	X			
Metal			X		X				X	
Yeso				X	X	X		X	X	

Vidrio						X				
L. Imperm								X	X	
Madera	X	X	X					X	X	
Malla de fibra de vidrio	X									

Tabla 2. RCD generados en las actuaciones para la mejora de la eficiencia energética.

- En la tabla 2, se observa que determinados residuos, tales como: el aislamiento térmico, los plásticos y el cartón (éstos últimos procedentes de los embalajes), son comunes en todas las actuaciones.

Residuos	Envolvente Vertical								Envolvente Horizontal		
	Intervenciones desde el exterior				Intervenciones desde el interior				Intervenciones por exterior		Intervención por interior
	SATE Sobre monocapa	SATE sobre enfoscado	Aplacado sobre aislamiento	Fachada ventilada	Trasdosado con aisl. y de revestido yeso	Trasdosado con aisl. + yeso laminado	Sustitución carpinterías y persianas	Inyección de aislante en la cámara	cubierta plana	cubierta inclinada	Aislamiento colocado bajo la cubierta por su interior
Peso (kg/m ² de actuación)	47.47	28.90	2.81	1.93	0.72	0.82	0.61	0.07	4.71	56.81	0.82
Volumen (l/m ² de actuación)	31.82	19.38	2.35	1.72	0.79	0.96	0.74	0.10	3.35	45.63	0.84

- Tabla 3. Cuantificación de los RCD generados en las actuaciones para la mejora de la eficiencia energética

Analizando la tabla 3 se observa:

- En cuanto a las soluciones para la mejora de la EE en la envolvente vertical: Que el sistema SATE es el que genera más RCD, debido a la preparación del soporte que obliga al picado del revestimiento del paramento y que en cambio, la solución de fachada ventilada genera la menor cantidad de residuos. En cuanto a los sistemas que se construyen desde el interior, comentar que el que menos RCD genera es la inyección de aislamiento en cámaras (si bien es verdad no es la solución más efectiva), y el que más RCD genera es la solución de trasdosado y PYL.
- En cuanto a las soluciones para la mejora de la EE en la envolvente horizontal: Las intervenciones por el exterior sobre todo en tejados genera mucho RCD, dado que es preciso la demolición de todas las capas, hasta llegar al estrato sobre el que se colocará el nuevo aislamiento (tejas/morteros...) La intervención por el interior es claramente aconsejable, siempre y cuando no se requiera reparar la terminación/impermeabilización de la cubierta.

Tipo de residuo (Código LER)	ALBARÁN			
	Peso (Kg)	i _p	Volumen (l)	i _v
Hormigón (17 01 01)	-	-	-	-
Ladrillos, tejas, cerámicos (17 01 02; 17 01 03)	-	-	-	-
Metal (17 04 07)	-	-	-	-
Madera (17 02 01)	-	-	-	-
Vidrio (17 02 02)	-	-	-	-
Plástico (17 02 03)	13255	1,28	6383330	0,62
Papel y cartón (20 01 01)	5745	0,5	5222720	0,50

TOTAL	19150	1,78	1161050	1,12
--------------	--------------	-------------	----------------	-------------

-
- Donde:
- i_p : Indicador de residuo generado por m^2 construido en función del peso en kilogramos
- i_v : Indicador de residuo generado por m^2 construido en función del volumen en litros
- **Tabla 4:** “Indicador de residuo generado por m^2 en obra sitiada en Jerez”

- Los datos recogidos en la **tabla 4, sobre la OBRA 05**, consistente en la colocación de un SATE, datos obtenidos teóricamente, tampoco coinciden con lo obtenido en los albaranes. Pero aunque los resultados numéricos no coincidan con los datos teóricos, si se observa que el tipo de residuo generados coincide con los esperados en una obra de este tipo como son los plásticos y cartones procedentes de embalajes así como los recortes sobrantes de aislamiento térmico y los residuos de pintura.

4.2. Análisis de los programas informáticos:

En una primera aproximación, cualquiera de los tres programas informáticos estudiados podría ser válido para el cálculo teórico de los residuos que se generan en una obra de rehabilitación para la mejora de la eficiencia energética; pero tras realizar el cálculo con la introducción de las mediciones del proyecto de ejecución de cada una de las obras en los tres programas se puede verificar que los resultados obtenidos son muy dispares entre ellos. Aunque el estudio se ha hecho en todas las obras, en la tabla 5, se muestran los resultados del estudio realizado sobre la obra 1.

Tipo de residuo (Código LER)	Umbral s/norma (t)	EGR		FIDAS		ARQUÍMEDES		ALBARÁN
		t	m ³	T	m ³	t	m ³	m ³
Hormigón (17 01 01)	80	2,91	1,24	38,29	15,95	162,01	67,51	17,49
Ladrillos, tejas, cerámicos (17 01 02; 17 01 03)	40	13,11	9,37	172,29	123,06	59,67	42,62	11,04
Metal (17 04 07)	2	0,61	0,08	7,98	1,02	3,82	0,49	0,13
Madera (17 02 01)	1	0,97	1,21	12,76	15,95	3,82	4,78	1,24
Vidrio (17 02 02)	1	1,21	0,47	15,95	6,13	0,20	0,07	0,02
Plástico (17 02 03)	0,5	0,36	0,17	4,79	2,28	0,49	0,23	0,06
Papel y cartón (20 01 01)	0,5	0,73	0,66	9,57	8,70	0,11	0,10	0,03
TOTAL		19,90	13,20	260,03	173,10	230,12	115,80	30
Indicador (cantidad de residuo/m2 totales de actuación)		0,024	0,016	0,312	0,208	0,276	0,139	0,036

Tabla 5: “Comparativa de los cálculos teóricos estimados de RCD vs datos reales en la obra 1.

Las columnas corresponden a:

- EGR: Son las cantidades de RCD establecidas directamente en el proyecto de ejecución.
- FIDAS: Son los cálculos obtenidos mediante el programa denominado “FIDAS” para cuantificar los RCD que se esperan se generen. Los datos son obtenidos del proyecto de ejecución.
- ARDITEC-172: Son los cálculos obtenidos mediante el programa patentado en el grupo de investigación referenciado, para cuantificar las RCD que se esperan se generen. Los datos son obtenidos del proyecto de ejecución.
- ARQUIMEDES: Son los cálculos obtenidos mediante el programa ARQUIMEDES, para cuantificar las RCD que se esperan se generen. Los datos son obtenidos del proyecto de ejecución.
- ALBARÁN: Son los datos obtenidos directamente en la obra. En algunos casos se aporta en un anexo los albaranes y/o certificados justificativos, proporcionados por la constructora, de los RCD generados y transportados a vertederos autorizados.
- Color rojo: Datos que sobrepasan los valores límites según el RD 105/2008

Se observa que la cuantificación estimada en el proyecto de ejecución no coincide con los datos proporcionados en los albaranes. Los indicadores obtenidos con los albaranes de obra, en general, duplican los indicadores obtenidos con los programas de estimación de residuos analizados. Esto puede ser debido a las numerosas contingencias que surgen en obra y que no son predecibles, a las que añadir otras cuestiones que guardan relación con la economía de los portes a realizar y a los vertederos especializados donde llevar los RCD. Otros problemas observados guardan relación con la falta de espacio en las obras de rehabilitación para colocar las cubas correspondientes, lo que implica que no exista un control exhaustivo de la gestión de RCD. Sin embargo, si se ha podido verificar que los tipos de residuos generados en obra coinciden con los previstos en el EGR.

A pesar de los diferentes problemas que pueden presentarse a la hora de hacer un cálculo teórico de la cantidad de residuos que se generan en una obra de rehabilitación, ya sea por las limitaciones de los propios programas o por los imprevistos que pueden aparecer en la propia obra y la dificultad de seguir el recorrido que siguen los residuos una vez salen de la obra, si podemos sacar una conclusión con respecto a cuáles son los tipos de residuos más generados en una obra.

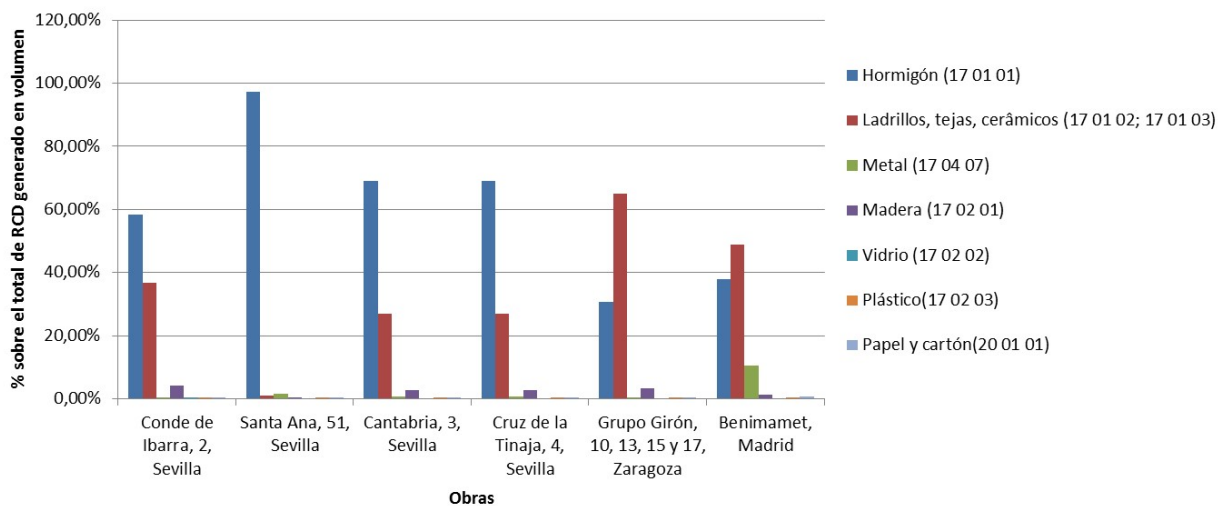
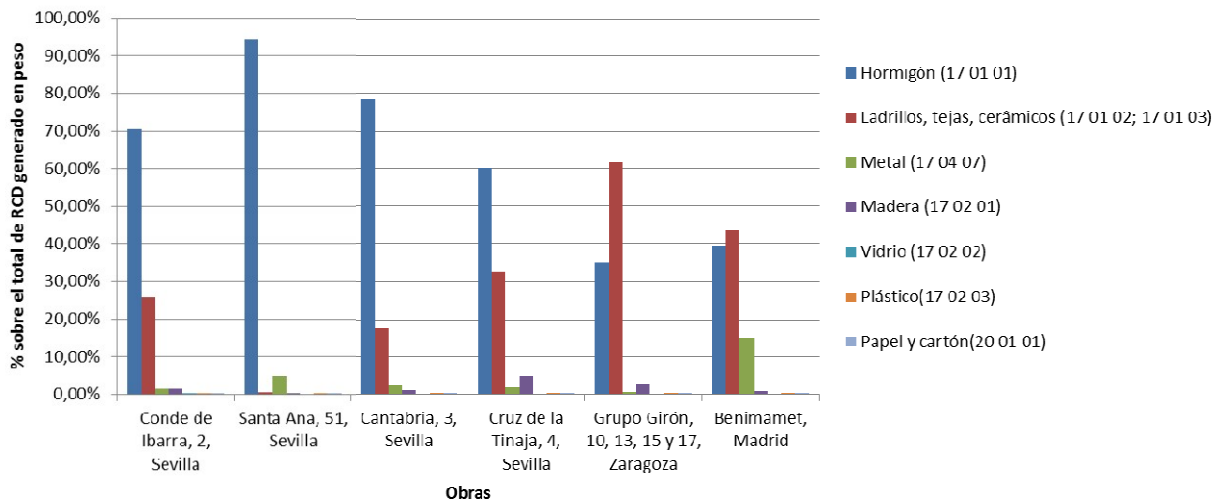
se observa que tanto el programa denominado FIDAS como el ARQUIMEDES son los que obtienen resultados más fieles a la realidad; si bien será el programa ARQUIMEDES el utilizado en la investigación para estimar en peso y en volumen los RCD que se esperan se generarán, dado que las características de las obras que recogen son más amplias y precisas que en el de FIDAS y permitirá comparar los resultados entre las diferentes provincias de España. Los datos del programa ARDITEC-171 se han decidido desechar debido a su poca fiabilidad en los casos de estudio

4.3. Cuantificación de los tipos de RCD generados en las obras.

En la tabla 6 se resumen los resultados obtenidos de la cuantificación de los RCD así como los indicadores obtenidos por m² de actuación en cada una de las obras, mediante el programa Arquímedes.

Tipo de residuo (Código LER)	Conde de Ibarra, 2, Sevilla		Santa Ana, 51, Sevilla		Cantabria, 3, Sevilla		Cruz de la Tinaja, 4, Sevilla		Grupo Girón, 10, 13, 15 y 17, Zaragoza		Benimamet, Madrid	
	t	m ³	t	m ³	t	m ³	t	m ³	t	m ³	t	m ³
Hormigón (17 01 01)	162,01	67,51	1974,30	822,62	65,49	27,29	53,50	27,29	76,13	50,75	46,06	30,70
Ladrillos, tejas, cerâmicos (17 01 02; 17 01 03)	59,67	42,62	12,59	8,99	14,86	10,61	29,18	10,61	134,75	107,80	50,76	39,39
Metal (17 04 07)	3,82	0,49	103,85	13,23	2,10	0,27	1,85	0,27	1,17	0,57	17,91	8,58
Madera (17 02 01)	3,82	4,78	0,89	1,11	0,89	1,11	4,28	1,11	5,91	5,37	1,09	0,99
Vidrio (17 02 02)	0,20	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plástico(17 02 03)	0,49	0,23	0,43	0,20	0,16	0,08	0,07	0,08	0,51	0,86	0,25	0,42
Papel y cartón(20 01 01)	0,11	0,10	0,15	0,14	0,12	0,11	0,09	0,11	0,13	0,18	0,48	0,64
TOTAL	230,12	115,80	2092,21	846,30	83,62	39,47	88,97	39,47	218,60	165,53	116,55	80,72

Tabla 6: "cálculos teóricos estimados de RCD en peso y en volumen en las obras



Gráficos 1 y 2. % de tipos de RCD generados en obras para la mejora de la EE. en peso y volumen

Si se analizan los datos de la [tabla 6](#) y [gráficos 1 y 2](#), se puede observar que los residuos más generados son los residuos pétreos, hormigón y cerámicos, seguidos muy de cerca por los metales, lo cual es un resultado lógico ya que todas las obras estudiadas tenían estructura de hormigón o muros de fábrica. Además al tratarse de rehabilitaciones, se han implementado en la mayoría de casos nuevas estructuras metálicas.

Sin embargo, llama la atención la gran cantidad de RCD generados entre los residuos cerámicos y el hormigón, de la obra de calle Santa Ana, 51. Esto se debe a que la obra se trata de una vivienda rehabilitada con anterioridad, de ahí que los materiales no coincidan con los de las demás obras. En esta primera rehabilitación ya se le implementó una estructura de hormigón que ha sido demolida en la obra que se expone en este informe y ejecutada de nuevo; por lo que los residuos de hormigón son muy importantes. Por ello, se descarta dicha obra del análisis final.

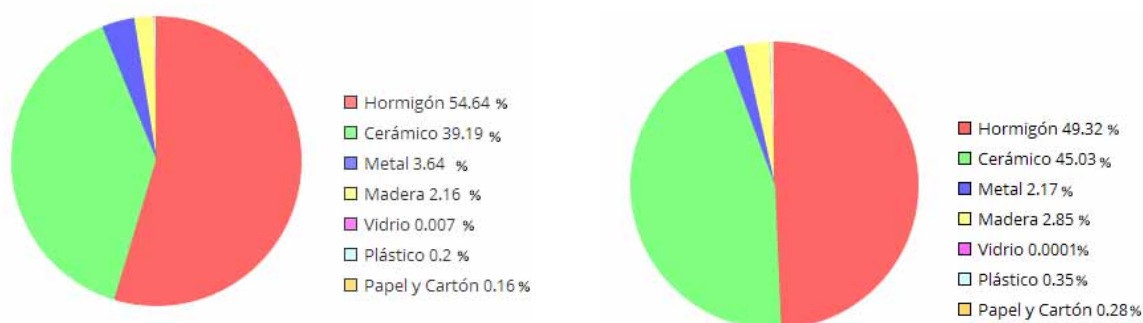
La [tabla 7](#), muestra los valores totales de RCD de todas las obras y su porcentaje en peso, sin contar la obra de la calle Santa Ana.

Tipo de residuo (Código LER)	TOTAL		% (t)	% (m ³)
	t	m ³		
Hormigón (17 01 01)	403,19	231,13	54,64	49,32
Ladrillos, tejas, cerámicos (17 01 02; 17 01 03)	289,22	211,03	39,19	45,03

Metal (17 04 07)	26,85	10,18	3,64	2,17
Madera (17 02 01)	15,99	13,36	2,16	2,85
Vidrio (17 02 02)	0,20	0,07	0,007	-
Plástico (17 02 03)	1,48	1,68	0,20	0,35
Papel y cartón (20 01 01)	0,88	1,14	0,16	0,28
TOTAL	737,81	468,59	100	100

Tabla 7. Tipos de RCD, en peso y volumen de todas las obras analizadas.

Se observa, en la tabla 7 y en los gráficos 3 y 4, que los residuos más generados son de hormigón y cerámicos, seguidos por los metales.



Gráficos 3 y 4. Tipos de RCD, en peso y volumen de todas las obras analizadas

Por último, en la tabla 8 se muestra una comparativa entre los tipos de RCD generados en las provincias españolas estudiadas, si bien la comparativa no es considerada de rigor al haberse podido acceder a una única obra en Zaragoza y una única obra en Madrid.

Tipo de residuo (Código LER)	Umbral según norma (t)	Sevilla		Zaragoza		Madrid	
		t	m ³	t	m ³	t	m ³
Hormigón (17 01 01)	80	93,66	40,69	76,13	50,75	46,06	30,70
Ladrillos, tejas, cerámicos (17 01 02; 17 01 03)	40	34,57	21,28	134,75	107,80	50,76	39,39
Metal (17 04 07)	2	2,59	0,34	1,17	0,57	17,91	8,58
Madera (17 02 01)	1	2,99	2,33	5,91	5,37	1,09	0,99
Vidrio (17 02 02)	1	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Plástico (17 02 03)	0,5	0,24	0,13	0,51	0,86	0,25	0,42
Papel y cartón (20 01 01)	0,5	0,10	0,10	0,13	0,18	0,48	0,64
TOTAL		131,22	64,89	218,60	165,53	116,55	80,72

Tabla 8. RCD generados en tres ciudades españolas.

De los resultados se puede concluir que tanto los tipos de RCD generados como su proporción dentro del total siguen siendo los mismos con independencia de la provincia española de estudio. Tan solo difieren los metales, que en Madrid su porcentaje aumenta con respecto a las otras provincias; aunque como ya se ha explicado este dato no es relevante, al ser el resultado de una única obra y no de un promedio de una muestra homogénea como sucedía con Sevilla.

En la tabla 9, se presentan estos datos pero referidos a la superficie construida:

- i_t : Indicador de residuo generado por m² construido en función del peso en toneladas
- i_{m^3} : Indicador de residuo generado por m² construido en función del volumen en metros cúbicos

Tipo de residuo (Código LER)	SEVILLA		ZARAGOZA		MADRID	
	i_t	i_{m^3}	i_t	i_{m^3}	i_t	i_{m^3}

Hormigón (17 01 01)	4,21	1,92	0,03	0,02	0,04	0,02
Ladrillos, tejas, cerámicos (17 01 02; 17 01 03)	0,41	0,34	0,05	0,04	0,04	0,03
Metal (17 04 07)	0,20	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01
Madera (17 02 01)	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Vidrio (17 02 02)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plástico (17 02 03)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Papel y cartón (20 01 01)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total RCD/m2 de actuación	4,85	2,33	0,08	0,06	0,09	0,06

Tabla 9: “Comparativa Indicador de residuo generado por m²”

3. 5. Conclusiones

En general, las obras estudiadas estaban ubicadas no en zonas de las ciudades con edificios con mayores carencias sino donde el poder adquisitivo de los propietarios permiten las obras de mejora. Es preciso en este sentido, obtener más ayudas de las administraciones públicas.

En cuanto a los programas informáticos para la cuantificación de RCD, se concluye no se pueden comparar los resultados obtenidos en los diferentes programas que estiman los RCD que se esperan se generen en las obras, ya que cada uno se crea con un fin determinados y los coeficientes utilizados en el programa para estimar/convertir la parte proporcional de recurso material consumido se convierte en residuo son diferentes, como también lo son las características de las obras usadas como referencia en los programas.

Sin embargo, todos los programas coinciden en cuanto a cuál ha sido el tipo de residuos más generado en las obras, que a su vez coincide con los datos reales que se recogen en los albaranes. Observando los indicadores por m² de cada localidad se observa que son el hormigón y los materiales cerámicos los más generados, y tanto la madera (a excepción de Sevilla, i = 0,03) como el vidrio, los plásticos y los cartones tienen un impacto muy pequeño en la generación de residuos.

En cuanto a la cuantificación teórica de las actuaciones para la mejora de la Eficiencia Energética, se observa la mayor cantidad de RCD generados proviene de la preparación del paramento (vertical u horizontal) donde se plantea realizar la actuación. Por otra parte, si consideramos únicamente la ejecución de la actuación para la mejora de la eficiencia energética, siempre generarán menos RCD aquellas técnicas que se realizan desde el interior, tanto en el caso de paramentos verticales, como (sobre todo) en el caso de actuaciones sobre la envolvente horizontal. En el caso de existir cámara de aire la solución que genera menor cantidad de RCD es la inyección de aislamiento en la misma, pero es también la técnica menos eficaz. En el caso de la envolvente vertical, será recomendable la solución de fachada ventilada o de aplacado sobre aislamiento, y en el caso de realizar una solución SATE, trabajar sobre el paramento previamente preparado. En el caso de la envolvente horizontal, es recomendable evitar la retirada del material de cobertura, y en el caso de hacerlo, actuar de forma que se reaproveche al máximo.

En cuanto a la cuantificación de RCD en obra, se puede concluir que en construcciones de hormigón y elementos con materiales cerámicos realizados in situ se generan por lo general más residuos, ya que no se trata de una construcción “estandarizada” que además requiere de elementos de apoyo como encofrados y apeos.

Las construcciones que emplean estructuras metálicas o refuerzos con elementos de madera generan menos residuos en obra, los elementos llegan a la obra fabricados a la medida y sus uniones y enjarges se realizan a través de piezas estándar; por lo que son más fáciles de reciclar o reutilizar.

Los tipos de RCD generados como su proporción dentro del total siguen siendo los mismos con independencia de la provincia española de estudio, siendo el orden preferente en Sevilla, donde la muestra de estudio era más elevada y homogénea: Hormigón, Cerámicos, Madera, Metal, Vidrio, Plástico y Cartón.

En los residuos de hormigón, cerámicos, metal y madera se superan los umbrales máximos establecidos en el Real Decreto; por lo que sigue siendo preciso su control en la obra, siendo en consecuencia los tipos de RCD en los que hay que seguir trabajando para lograr su minimización u otras formas de reciclaje y valorización.

Agradecimientos

Los resultados mostrados son parte del proyecto “Proyecto de Waste2Resources” (BIA2013-43061-R) financiado por la Secretaría de Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Economía y Competitividad de España.

Referencias

Gobierno de España, 2013. Real Decreto 235/2013 de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

CASTILLO MALO, JM. y VALLINO GIL, E. “Rehabilitación integral de edificio residencial de 40 viviendas”

FERNÁNDEZ Y GASPARINI arquitectos “Rehabilitación energética de 248 viviendas El Estribo”

GRANERO MARTÍN, F. “Modificado del proyecto básico y de ejecución de reforma parcial con remonte y rehabilitación-restauración de edificio de viviendas y cumplimiento expte. 538/2007 servicio de conservación de la edificación y paisaje urbano gerencia de urbanismo de ayuntamiento de Sevilla”.

MANUAL DE MINIMIZACIÓN Y GESTION DE RESIDUOS EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION. iTec Ed. Servicio Editorial del iTec. Barcelona 2000

MANUAL DE USUARIO DE ARQUIMEDES (versión online) manual.arquimedes.cype.es

MERCADER-MOYANO, P. & RAMÍREZ-DE-ARELLANO-AGUDO, A. 2013. “Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction”. *Waste Management & Research*, 31 (5) 458-474. DOI: 10.117710734242X13477719.

PEDRAZA PÉREZ, JC., GÓMEZ MARTÍNEZ, V., BENÍTEZ CARMONA, O. “Proyecto básico y de ejecución para la rehabilitación de una vivienda unifamiliar”

PÉREZ CARMONA, JJ., SOLÍS GUZMÁN, J., MARRERO, M. “Documentación técnica de la aplicación Modelo de Cuantificación de RCD ajustado al Real Decreto 105/2008

SORIANO CORVASI, E. “Proyecto de ejecución de rehabilitación y ampliación de vivienda unifamiliar”

VÁZQUEZ MARÍN, F. “Proyecto de ejecución de rehabilitación de edificio entre medianeras para viviendas”.