

04-002

CONSTRUCCION AND DEMOLITION WASTE DURING THE TRANSFORMATION OF RURAL LAND.

Rivero Camacho, Cristina; Marrero , Madelyn ; Freire, Antonio
Universidad de Sevilla

The main objective of this research is to create a new model for the quantification of construction and demolition waste generated during the transformation of rural land into urban state. The work starts with the quantification model developed in the research group ARDITEC, which uses coefficients for the calculation of the quantities and types of waste generated during construction works. Five actual projects are studied, and the results are extrapolated to any urbanization work. The present work identifies two types of waste, soils and trees, which represent over 90 percent of the total waste during urbanization works. This implies that both residues shall be accurately predicted. The present work proposes coefficients which depend on the plot size, the type and density of the trees, or the project characteristics such as industrial or residential usage. Finally, the total amount of waste expected can be predicted, this facilitate the management and control. A tool is created for the accurate quantification, by means of simple calculations. The work will be part of future research on the environmental impact caused by the land transformations.

Keywords: *CDW quantification; waste coefficients; natural resources; urbanization.*

GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS EN LA URBANIZACIÓN DEL SUELO.

El objetivo principal de este trabajo de investigación es incentivar la correcta gestión de los residuos de construcción y demolición generados durante la transformación de terrenos rústicos a urbanizados, en concreto en los derivados de los trabajos previos y movimientos de tierras. Se parte del modelo de cuantificación desarrollado en el grupo de investigación ARDITEC, en el que se utilizan una serie de coeficientes para el cálculo de las cantidades y tipos de residuos que se generan las obras. Estudiando seis proyectos reales, se obtienen baremos extrapolables a otras obras de urbanización. El trabajo identifica que dos residuos, tierras y arboleda, representan más del 90 por ciento de los residuos de urbanización, por lo que ambos deben ser calculados con precisión. En el presente trabajo se proponen coeficientes, que dependiendo del tamaño de parcela, la densidad y especie de arboleda, o si es para uso industrial o residencial, predicen el total de residuos a ser generados, lo cual facilitará su gestión y control. Se ha creado una herramienta de cuantificación precisa que ayude a simplificar los cálculos y el control. El trabajo se incorporará a futuras investigaciones en el análisis del impacto ambiental causado por la transformación del suelo.

Palabras clave: *Cuantificación de RCD; coeficientes de residuos; recursos naturales; urbanización.*

Correspondencia: Cristina Rivero Camacho cririvcam@gmail.com

Agradecimientos: Quiero agradecer a la Mancomunidad de Écija, por su colaboración con nuestro grupo de investigación y la Universidad de Sevilla, facilitando información para las investigaciones realizadas. Al estudio de ingeniería Talio de Écija, por facilitarme la documentación para el estudio de los proyectos de urbanización de una forma tan desinteresada. Esta investigación se está realizado dentro del proyecto EVALHED, subvencionado por la Agencia de Obras Públicas de la Junta de Andalucía (AOPJA), Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y Fundación Mapfre. Ayudas a la Investigación Ignacio H. Ilarramendi. "Estudio de la Huella ecológica de la transformación del uso del suelo". 2014.

1. Introducción

La creación de espacios comunes, saludables y sostenibles forma parte del progreso urbano donde desarrollar la vida humana y las múltiples relaciones en las que se basa. Es preciso que la ciudad esté bien planificada y con una buena gestión de las zonas urbanas, de esa forma, se logrará más fácilmente que los demás factores que la conforman sean sostenibles, desarrollando entre ellos efectos sinérgicos positivos y reduciendo los impactos. El entorno de la edificación en general y la industria de la construcción en particular son los mayores consumidores de recursos naturales y de energía. Además, el sector de la edificación es el mayor productor de residuos, por lo que la necesidad de reducir se hace cada vez más necesario. Entre las estrategias para la reducción se encuentran las medidas de regulación y mecanismos de control.

En febrero de 2008 se regula la producción y gestión de los residuos de construcción con la aprobación del Real Decreto 105/2008. Con este decreto se introduce una serie de obligaciones a cumplir por los distintos agentes involucrados en la construcción. Entre otras medidas se prohíbe el depósito sin tratamiento previo de los residuos valorizables y demanda el establecimiento de tasas para desincentivar su envío a vertedero; así como incentiva a las comunidades autónomas a crear un mecanismo de control ligado a la licencia de obras con la constitución de una fianza o similar.

Entre las obligaciones a cumplir por el productor de los residuos de construcción, está la de incluir en el proyecto de ejecución de obra el estudio de gestión de residuos que entre otros aspectos debe contener “Una estimación de la cantidad, expresada en toneladas y en metros cúbicos, de los residuos de construcción y demolición que se generan en la obra, codificados” según la Lista Europea de Residuos, (LER) (Orden MAN/304/2002).

En la práctica, los contratistas normalmente suponen que la tasa de pérdidas es equivalente a 1-10% de los materiales de construcción comprados (Shen et al., 2005). El porcentaje específico es determinado por sus experiencias previas derivadas de la medición directa en obra. Sin embargo, dicha información no es robusta para hacer un plan efectivo de gestión de residuos, se han introducido sistemas de clasificación para hacer frente a este problema (Llatas, 2011; Solis-Guzmán et al, 2009.).

Figura 1.: Software RCR RD 105/2008. ARDITEC (TEP-172).



Para dar respuesta a la separación selectiva que pide el Real Decreto, se desarrolla un modelo de cuantificación para estimar los volúmenes de aquellos materiales que se

pueden separar en origen (Pérez Carmona et al., 2013). El modelo se apoya fuertemente en el trabajo de investigación realizado por el grupo ARDITEC (TEP-172), que diseñó un software informático que calcula la cantidad y el volumen de residuos generados dependiendo del tipo de edificación, permitiendo determinar la fianza a ser impuesta en los proyectos de construcción y conseguir controlar el flujo de los RCD, siendo esta fianza determinada según unos parámetros que dependerán de las tipologías de edificación, configuración de la construcción, superficie total, etc. Su interface podemos verla en la figura 1.

El presente proyecto continua con el desarrollo de herramientas para el control de los RCD, como la desarrollada para los edificios residenciales (Ramírez, Solís y Pérez, 2008). Surge por la necesidad de gestión y control de los residuos procedentes de las obras de urbanización a nivel administrativo. En particular por la Mancomunidad de Écija que colabora con nuestro grupo de investigación ARDITEC en los proyectos sobre gestión de RCD. Así mismo, la herramienta facilitará la estimación de los RCD que se generarán en urbanizaciones desde la fase de diseño, permitiendo optimizar el proyecto, reducir recursos y minimizar los impactos que se producen durante la ejecución de las obras.

2. Objetivos.

El objetivo es alcanzar una construcción sostenible, a través de la prevención en la generación de residuos, incrementando el reciclaje, la reutilización de residuos y el uso de energías renovables. Se desarrolla el nuevo modelo de cuantificación en trabajos de urbanización, ya que suman el 80% de los RCD en los proyectos de nueva planta (Solís et al, 2009).

Se pretende crear una herramienta que servirá estimar la cantidad de residuos que generan las obras de urbanización, con la que gestionar las tasas y evitar el vertido incontrolado de residuos a vertederos no autorizados. Es necesaria la creación de herramientas que calculen los residuos de varios proyectos de urbanización en función de sus características: superficie, tipo, instalaciones que se incluyen. Con la determinación de coeficientes se busca generalizar el cálculo para facilitar al técnico la contabilización de los residuos y sus costes de gestión.

En el modelo desarrollado, se han considerado todas las partidas generadoras de residuos durante la fase de transformación del uso del suelo, entre las que se encuentran las operaciones de desbroces, movimiento tierras y de acondicionamiento del terreno, con el fin de hacer un uso eficiente y responsable de todos aquellos recursos naturales de que disponga el suelo y que sean susceptibles de convertirse en residuos. Para valorar el peso del resto de elementos en estos proyectos de urbanización, también se tendrán en cuenta la ejecución de todas las instalaciones necesarias para dotar de los servicios urbanos (alcantarillado, suministro y evacuación de aguas residuales y pluviales, suministro de gas, alumbrado público, suministro de electricidad), así como las obras de configuración de los viarios, acerados, aparcamientos y jardinería. Se presentan las partidas más favorables para lograr una mayor reducción, promoviendo su aprovechamiento y su correcta gestión.

Una forma de comparar los resultados, será con la realización del presupuesto de cada caso de estudio, valorando los trabajos de gestión de los residuos. Así mismo se contemplarán los casos en los que el residuo a tratar sea valorado por una empresa externa y reporte beneficios (metales y arbolado), reflejándose en el propio presupuesto como precio negativo (Marrero y Ramírez, 2010).

Finalmente, se resumen los resultados del análisis de 6 proyectos reales con sus conclusiones.

3. Metodología.

Para desarrollar la configuración idónea de la herramienta, debemos tener claros varios aspectos. Comenzaremos con la cuantificación de los residuos que se van a generar, en función de las partidas de obra que los producen. Una vez identificados, se les aplicará los coeficientes calculados, que servirán para estimar los residuos totales generados en cada proyecto, obteniendo tipo y cantidad por unidad de obra. Una vez calculadas dichas cantidades de residuos, procedemos a su valoración y posible reciclaje o reutilización para, finalmente, obtener los costes correspondientes a todo el proceso de tratamiento de residuos.

Para la estimación de los RCD, utilizaremos el manual de Retirada Selectiva de Residuos (Ramírez, et al. 2002) y el Modelo de Presupuestación (Ramírez de Arellano et al., 2010). Se tendrá como base el trabajo desarrollado por Manuel Puerto Francés en su fin de Máster (Puerto Francés, 2011). Donde se estudiaba un proyecto de transformación de suelo rústico a urbano. En él se planteaba varios coeficientes, y se estimaban las partidas que más repercusión tendrían en la gestión de residuos en estos proyectos.

En los trabajos de adecuación de terrenos rústicos a terrenos urbanizables, no se diferencian variables específicas, sino una serie de actuaciones que en la mayoría de los casos serán las mismas en diferentes proyectos. Un ejemplo es la implantación de las diferentes instalaciones que serán necesarias en todo tipo de suelos para darle la consideración de suelo urbanizable. Por el contrario, como característica principal que producirá variación entre los distintos casos de estudio, se encuentra la superficie total a tratar según el proyecto y la existencia (o no) de arboleda en el suelo a urbanizar.

El proceso a seguir se lista a continuación:

- 1 Recopilación de proyectos para su estudio.
- 2 Definición una hipótesis de cálculo para proyectos con arboleda.
- 3 Aplicación de la Clasificación Sistemática y unificación de criterios de medición.
- 4 Aplicación del modelo matemático desarrollado para estimar la producción de RCD.
- 5 Identificación y clasificación de RCD por separado. Creación de coeficientes.
- 6 Resumen de cantidades, separación, valorización de RCD, y codificación según la Lista Europea de Residuos (LER). Presupuestos.
- 7 Creación de nuevos baremos necesarios para la configuración interna de la herramienta informática de cálculo.
- 8 Análisis de resultados y valoración de diferencias y semejanzas.

4. Casos de Estudio

4.1 Recopilación de Proyectos de Urbanización para su estudio.

En total, son 6 los proyectos de transformación del suelo que se analizan en este trabajo de investigación. Todos ellos son proyectos ejecutados o en ejecución en los últimos años en la provincia de Sevilla. Los proyectos se pueden clasificar en:

- Industriales 1 y 2, con un Presupuesto de Ejecución Material (PEM) de 17.823.408,83 € y 826.791,37 € respectivamente.
- Residenciales 1, 2, 3 y 4 con un PEM de 917.427.64 €, 280.449,62 €, 1.235.143,46 € y 3.720.049,12 €, respectivamente.

Posteriormente, y una vez analicemos los resultados, se podrán diferenciar a su vez en proyectos de pequeña, mediana y gran extensión en función de la superficie de los mismos.

4.2 Definición una Hipótesis de Cálculo para proyectos con Arboleda.

Para estimar la cantidad de madera de la tala de los árboles existentes en una parcela, se tendrá en cuenta las variables: tipo de árbol, densidad de plantación, proporción en la parcela con respecto a otras especies, volumen de un árbol, densidad de la madera por especie (con la que obtendremos las toneladas de madera por unidad de árbol), además, usando unos coeficientes estimaremos la cantidad de madera para raíces y para copas, ver tabla 1.

Tabla 1: Hipótesis para calcular la madera por unidad de árbol. (Elaboración propia).

ARBOL	ALTURA (m)	Ø TRONCO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUNEN (m ³ / Ud)	DENSIDAD Kg/m ³	Ø COPA	Δ COPA	Δ RAICES	PESO t/ Ud
Naranja	4	0,3	0,28	1,13	700	3,18	1,3	1,2	0,79
Olivo	3	2	12,57	37,70	900	4,5	1,3	1,2	33,93
Pino	20	0,4	0,50	10,05	500	7,5	1,3	1,2	5,03
Encina	16	1,2	4,52	72,38	1000	5,1	1,3	1,2	72,38
Olmo	10	1,5	7,07	70,69	650	10	1,3	1,2	45,95

Para la cuantificación de los árboles que se convertirán en residuos, utilizaremos una hipótesis desarrollada para el "Estudio de la Huella Ecológica en la transformación del Suelo" (Freire et al, 2014), en la que se analizan cinco tipos de árboles. Dichos árboles serán olivos, naranjos, pino, olmo y encinas. Ver tabla 2.

Tabla 2: Hipótesis para calcular unidades de árboles por parcela. (Freire et al, 2014).

Tipo	Intensidad de Plantación	Densidad (ud /1.000 m ²)	% Superficie Ocupada	Superficie (m ²)	Cantidad (ud)	Volumen Madera por árbol (m ³ /ud)
				53.684,00		
Olivo	Media	12,8156	20,00%	10.736,80	138	72,380
Encina	Alta	24,6914	50,00%	26.842,00	663	33,930
Olmo	Media	9,9088	0,00%	0,00	0	45,950
Naranja	Media	32,9628	30,00%	16.105,20	531	0,790
Pino piñonero	Baja	4,4444	0,00%	0,00	0	5,030

4.3 Aplicación de la Clasificación Sistemática y Unificación de Criterios de Medición.

Como sabemos, las mediciones del proyecto constan de una relación de partidas en las que se desarrollan cada unidad de obra. Con el fin de unificar criterios a la hora de la codificación se ha utilizado la Clasificación Sistemática (Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 2014) en base al Banco de Costes de la Construcción de Andalucía, BCCA (Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 2014). En este proyecto se han unificado alrededor de 260 partidas, 65% corresponden a nuevos códigos siguiendo la estructura del BCCA, además se han calculado más de 200 nuevos coeficientes de generación de residuos.

4.4 Aplicación del Modelo Matemático para Estimar la Producción de RCD.

En este trabajo se presenta un método para cuantificar diversos tipos de residuos que se presentan en el emplazamiento de la obra. Para su desarrollo se utilizará una tabla en la que se incluirán todas las partidas generadoras de residuos, clasificadas y

codificadas con arreglo a la Clasificación Sistemática según BBCA (Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 2014).

En los procesos de construcción, se diferencian tres fuentes de residuos: demolición, restos y residuos de empaquetado. Estas fuentes de residuos también se diferencian en las obras en fase de urbanización. Los residuos de demolición son debidos a los procesos de la demolición de edificaciones, instalaciones existentes. El volumen de los restos se refiere a las pérdidas, a los despuntes y a la fractura de materiales durante la terminación del trabajo, incluyendo la tierra de los trabajos de excavación. Finalmente, los residuos de empaquetado incluyen el embalaje de los materiales, las latas, los envases, palet, etc.

Las unidades y los criterios de medida empleados proceden de las características geométricas de los componentes que conforman el ítem. El sistema de unidad es el utilizado tradicionalmente, y todos los datos se representan en los valores relativos que miden la cantidad de cada ítem en m, m², m³, kg o unidad por metro cuadrado construido.

4.5 Identificación y Clasificación de RCD por separado y Creación de Coeficientes.

Una vez identificados, se realiza la medición de cada tipo de residuo. Para ello nos valdremos de las transferencias de aquellas partidas generadoras de residuos, las cuales habrán sido identificadas y codificadas. Para la medición será necesario crear una serie de coeficientes con el fin de hacer coincidir las unidades y los criterios de medición entre las partidas origen y las partidas de la medición de residuos. Estos coeficientes se apoyan en la siguiente formulación, ver ec.1, "Retirada Selectiva de Residuos: Modelos de Presupuestación" (Ramírez de Arellano, A., 2002):

$$Q_r = Q_i (CR * CC * CT) \quad (1)$$

Donde:

Q_r = Cantidad de residuos

Q_i = Cantidad de la unidad de obra que genera residuos

CR = Coeficiente para medir la cantidad de partida origen que se convierte en residuo.

CC = Coeficiente para convertir la unidad de medida de la partida origen en la unidad de origen de la partida destino.

CT = Coeficiente para transformar el criterio de medición de la partida origen en el criterio de medición de la partida destino.

Para ello diferenciaremos dos grandes etapas dentro de las obras a realizar, que serán la etapa de trabajos previos y movimiento de tierras y la etapa de urbanización, en la que se engloban todos aquellos trabajos de adecuación e implantación de instalaciones. En este trabajo los proyectos de urbanización estudiados son de dimensiones suficientes para acoger el mayor número de partidas, con el fin de contar con una herramienta que aúne una relación de partidas extrapolable a la mayoría de proyectos.

La medición de las cantidades de residuos se clasificará según la codificación establecida en el BBCCA, relacionándola con la codificación (LER) (Orden MAN/304/2002) que utilizaremos para la medición de las cantidades totales. Con estas transferencias se logra unificar dos tipos de clasificación, lo cual facilita la cuantificación de los residuos y permite que se establezcan lazos de unión entre los dos tipos de codificación. Para cuantificación de los residuos que se generan en cada una de ellas, se aplican los valores establecidos con anterioridad para los coeficientes CR, CC y CT.

4.6 Resumen de Cantidades, Separación, Valorización de RCD, y Codificación LER. Presupuesto.

Una vez hecha la medición de todos los residuos identificados, se realizará un resumen con las estimaciones de las cantidades totales de cada residuo tanto en toneladas como en metros cúbicos, según el Real Decreto 105/08. Para ello será necesario utilizar las densidades de dichos materiales, que se pueden encontrar en el CTE-DB-SE/AE, Acciones de la Edificación, Anexo C (Real Decreto 314/2006). Tras la identificación de aquellas partidas generadoras de residuos y su posterior cuantificación mediante el modelo detallado, con el cálculo de coeficientes y la clasificación en base al BCCA (Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 2014), pasamos a la clasificación según LER, (Orden MAN/304/2002).

Para poder realizar las comparaciones oportunas, se finaliza este apartado con el presupuesto del proyecto, donde se valorarán los trabajos de separación, reutilización, valoración y eliminación de los residuos, utilizando mediante transferencias las cantidades calculadas anteriormente en la etapa de cuantificación (Ramírez de Arellano, A., 2002). Para estimar el importe total de la correcta gestión de los residuos, se utilizarán los precios incluidos en la última actualización del BCCA. Para ello nos valdremos de las cantidades calculadas con el modelo detallado, que han sido resumidas por tipo de residuo y con las unidades de medida en t y m³.

5. Resultados.

5.1 Creación de nuevos baremos necesarios para la configuración interna de la futura herramienta informática de cálculo.

Para facilitar la labor y poder hacer estimaciones rápidas y sencillas, se crearán unos baremos de generación de residuos. Estos irán en función del tipo y de la superficie del terreno a transformar. Serán en base a una extensión de 10.000m² de parcela (1ha), para su posterior estudio y comparación. En la tabla 3, podemos observar los distintos baremos generados según volumen, peso, coste de gestión, incluso la proporción del tipo residuo en concreto con el total generado en el proyecto. Así mismo, los residuos se presentan clasificados según la codificación LER, para unificar criterios.

No podemos olvidar destacar el papel tan importante que juegan las tierras y la arboleda en la gestión de los residuos. Lo que hace muy evidente la manera de reducir en los costes de gestión de los mismos a través de la reutilización de las tierras y la valorización de la madera como biomasa. El precio establecido para la venta de madera como biomasa es de -22€/t. Este dato se ha calculado tomando como referencia varios precios de empresas gestoras de madera para biomasa, fijando un valor medio para este estudio. Se les aplican costes con precio negativo a las partidas cuya gestión nos aporte beneficio, de forma que se disminuye el coste de gestión de residuos del proyecto. Es el caso de la madera de desbroce y de los metales.

Los baremos contenidos en la tabla 3, se han calculado para cada uno de los 6 proyectos estudiados. Esos valores han sido analizados y clasificados para obtener baremos medios que configurarán la herramienta informática.

Tabla 3: Tabla Resumen de Cantidades, tipología en t y m³. Capítulo 17 para Industrial 2.

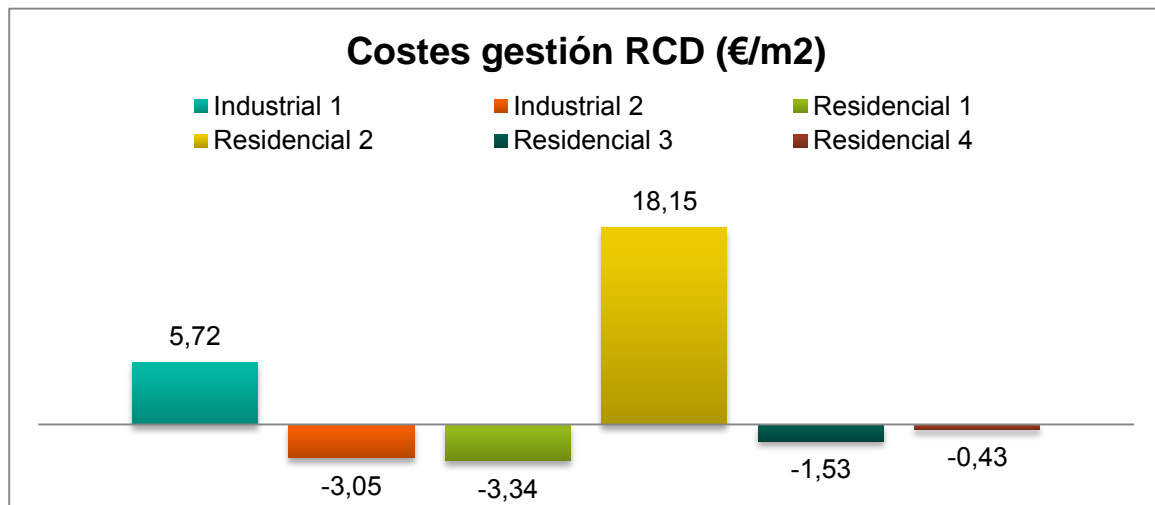
CÓDIGO	RESIDUO	VOLÚMEN (m ³ /ha)	PESO (t/ha)	COSTE (€/ha)	%VOLÚMEN (m ³ RDC/m ³ TOTAL RCD)	% PESO (Tn RDC/Tn TOTAL RCD)
17 01 01	Hormigón	46,36	111,27	1004,68	1,06%	2,13%
17 01 02	Ladrillos	1,65	2,226	22,24	0,04%	0,043%
17 02 00	Madera arbolado	2614,36	2220,39	-48848,49	59,95%	42,55%
17 02 01	Madera	0	0	0	0%	0 %
17 02 02	Plástico	0,32	0,45	30,85	0,007%	0,009%
17 03 01	Mezclas bituminosas	4,42	4,86	73,88	0,10%	0,09%
17 04 01	Cobre	1,36E-03	1,21E-02	-0,88	3,12E-07%	2,32E-06%
17 04 02	Aluminio	3,17E-03	8,57E-03	-0,62	7,28E-07%	1,64E-06%
17 04 03	Acero	0,004	0,029	-1,942	8,43E-07%	5,50E-06%
17 05 04	Tierras y piedras SIN s. peligrosas	1693,71	2879,30	17157,23	38,84%	55,17%
17 06 04	Materiales aislamiento	0,065	0,01	0,66	1,49E-05%	1,87E-06%
15 01 01	Envases de papel- cartón	1,08E-02	1,19E-02	0,19	2,49E-06%	2,28E-06%
15 01 02	Envases de plástico	4,00E-02	5,61E-02	3,88	9,18E-06%	1,07E-05%
15 01 03	Envases de madera	4,30E-02	1,72E-01	2,69	9,86E-06%	3,29E-05%
15 01 10	Envases con restos S.Peligrosas.	1,21E-01	1,69E-01	7,02	2,77E-05%	3,24E-05%
TOTAL		4361,10	5218,95	-30548,61	100%	100%

5.2 Costes de Gestión de RCD por Superficie.

A continuación en la figura 2, se representan los costes correspondientes a la gestión de residuos de cada proyecto, repercutidos a la superficie de los mismos. De los resultados, podemos extraer varias observaciones.

Por un lado el Industrial 1 tiene la mayor superficie de todos los proyectos. Este hecho causa un aumento considerable en la cantidad obtenida de residuos de la categoría de tierras y arboleda. Por lo que los costes de gestión se elevan notoriamente, así como todas las proporciones calculadas para este proyecto. Por otro lado, el Residencial 2, siendo el más pequeño de todos en superficie, resulta el proyecto de mayor costes de gestión m² debido al aumento del coste en repercusión. Al igual que cualquier proyecto de urbanización, contiene todas las instalaciones básicas para el consumo humano, así como pavimentaciones, etc. Esos gastos cuentan con menos superficie donde repartirse cuanto menor sea la superficie del proyecto.

Figura 2. “Costes comparativa entre proyectos, medido en €/m²”

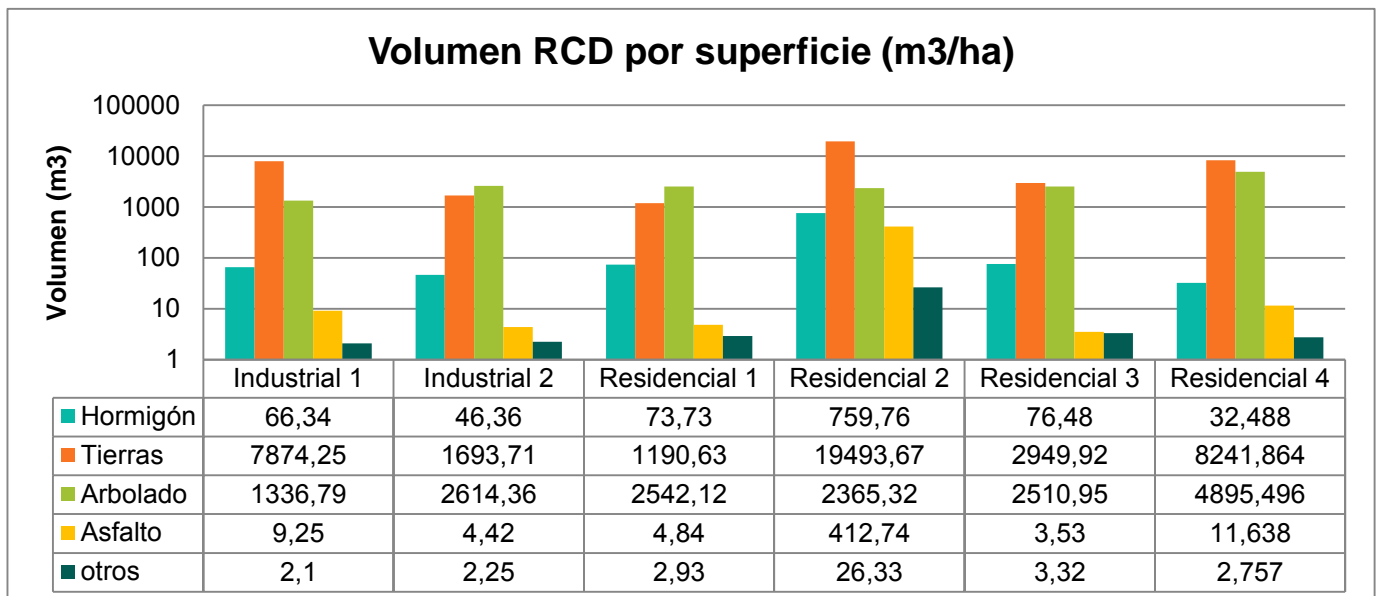


5.3 Comparativa de RCD generados en cada proyecto. Clasificación por cubas.

Como comparativa general, en la figura 3, se representan los volúmenes clasificados por cubas de materiales de cada proyecto, medidos en m³ por cada 10.000 m² (1 ha) de la parcela correspondiente.

Podemos comprobar que los materiales que más abundan en los residuos son las tierras y el arbolado, seguido del hormigón y el asfalto. Estos han de ser los materiales a estudiar en profundidad en los estudios de gestión de residuos en los proyectos de urbanización.

Figura 3. “Volumen de RCD comparativa, medido en m³/ha de parcela”



5.4 Comparativa de RCD generados en cada proyecto. Clasificación por instalaciones/actividad.

Como comparativa específica se representan en la figura 4, los volúmenes generados en función de la instalación o actividad que los produce de cada proyecto, medidos en

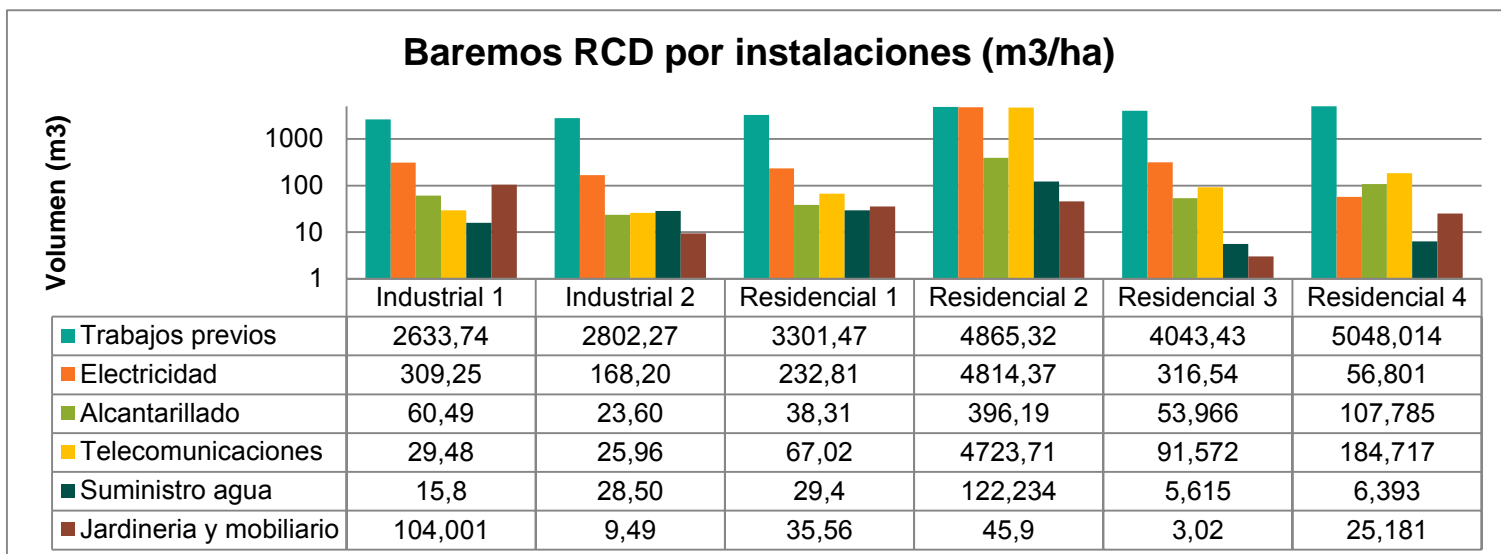
m³ por cada hectárea de la parcela correspondiente. De detallan las más relevantes para su estudio.

La actividad que genera un mayor porcentaje de residuos, corresponde a las de trabajos previos. Podemos compararlo con la figura 3, ya que esta actividad genera residuos de tierras y arbolado principalmente. Seguidamente, la instalación de electricidad, es la que mas residuos genera, incluyendo entre estos: metales, tierras, hormigón, ladrillos, asfaltos, embalajes, etc. A su vez conviene recordar que es una de las instalaciones que nos aporta beneficios procedentes de la valorización de los residuos metálicos. Le sigue las instalaciones de alcantarillado, telecomunicaciones y suministro de agua en ese orden.

Otra de las instalaciones estudiadas es la de señalización, la cual representa el menor volumen de RCD generados en los proyectos, siendo estos en su mayoría embalajes de papel, madera, cartón y plástico, así como un porcentaje de productos peligrosos por los recipientes de las pinturas de los viarios. Genera una media de 0,35 m³/ha. Debido a su poca entidad, no se incluye en el análisis de la figura.

Cabe destacar el aumento de volumen de RCD por hectáreas para el proyecto Residencia 2. Esto ocurre por la poca superficie de suelo de este proyecto, para repercutir la cantidad total de residuos generados, como ya comentamos anteriormente.

Figura 4. “Volumen de RCD instalaciones, medido en m³/ha de parcela”

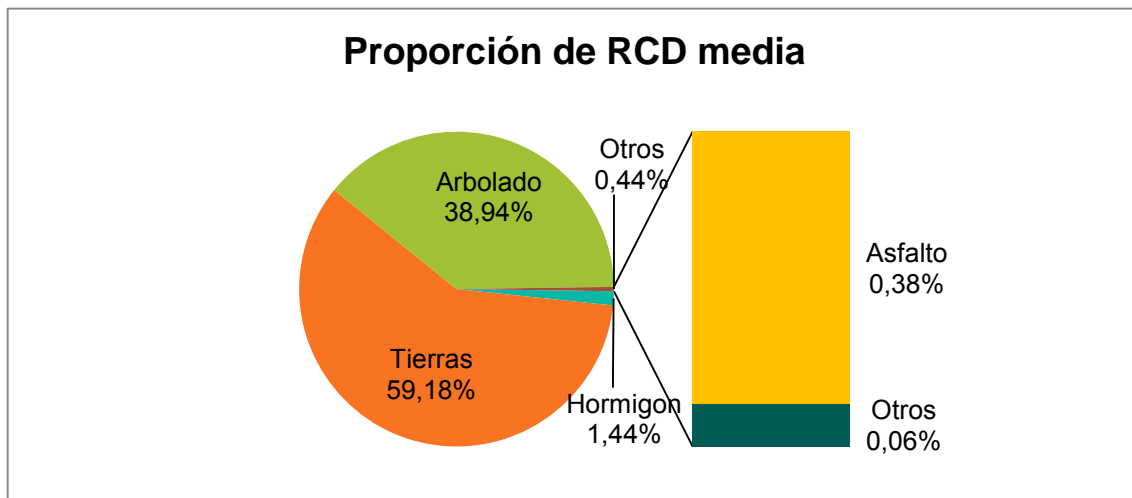


5.5 Proporción de media de volúmenes de RCD

Cabe destacar el porcentaje que representan las tierras en el volumen total de los residuos (sobre el 60%). Esto hace indispensable un buen estudio para la reutilización de las mismas, ya que esto se traducirá en un gran ahorro en los costes de gestión de RCD y en el consumo de recursos naturales, disminuyendo así el impacto ambiental que ocasionan los proyectos de urbanización. Ver la figura 5.

Así mismo, se hace obligada una buena valorización de los residuos de madera, ya que son casi el 40% de los RCD. En los proyectos estudiados, se plantea la situación de venta como biomasa, aunque pueden existir diversas alternativas para estos residuos. Un ejemplo puede ser la reutilización de los arboles existentes, proyectando su uso en los espacios verdes de la nueva urbanización.

Figura 5: "Proporción media de RCD en los proyectos"



5.6 Reducciones por Reutilización.

Como comentábamos con anterioridad, el alto porcentaje de residuos que representan las obras de urbanización, las hace muy importantes para optimizar los gastos de gestión. Con la herramienta creada para calcular las variaciones de los volúmenes de RCD de tierras y los costes, hemos obtenidos los porcentajes en función del porcentaje de reutilización de las tierras (0%, 30%, 50%, 80% ó 100%). De forma que, si el proyecto estudiado permite una reutilización del 100%, conseguiremos una reducción en torno al 40% en los proyectos de urbanización en los que haya arbolado que gestionar, o incluso un 90% para los proyectos en los que inicialmente sus parcelas estén libres de árboles. Será igualmente una opción más a seleccionar en la herramienta informática.

5.7 Interface de la herramienta generada.

El objetivo de este proyecto siempre fue el de agilizar cálculos. Así pues, partiendo de los datos obtenidos en el proyecto, se configurará la herramienta informática con la que se podrá insertar las características básicas de la parcela que nos ocupe y obtener en cuestión de segundos la cantidad total de residuos generados. La figura 6 presenta la interface inicial de la herramienta en desarrollo.

Figura 6. Pantalla de datos de la Aplicación Informática de cuantificación de residuos.

Modelo de Cuantificación de Residuos de Construcción para obras de Urbanización

Tipo de Urbanización: Residencial
Limpieza inicial: Desbroce de 20 cm.
Reutilización de tierras: 80%

Instalaciones que se incluyen:
 Alcantarillado
 Electricidad completa
 Electricidad sin cableado
 Alumbrado público
 Telecomunicaciones
 Suministro de Agua
 Jardín y mobiliario
 Gas
 Señalización

PEM inicial: 826.791 '37 €
Superficie de la parcela: 53.684 m2

Cuantificación de Residuos
Generar Excel

- Hormigón: 102.23 t
- Ladrillos, tejas, cerámicos : 51.97 t
- Metal: 1.01 t
- Madera: 17.08 t
- Vidrio: 0.26 t
- Plástico: 10.74 t
- Papel y cartón: 10.45 t

El funcionamiento sería el siguiente, al insertar los datos de la urbanización, la aplicación busca en la hoja de Excel que contiene todo el registro de coeficientes y

baremos generados en el proyecto, hasta que coincidan todas las características insertadas. Para llegar hasta ahí necesitamos introducir los campos de las variables que nos ofrece el programa:

- Tipo de urbanización: Residencial o Industrial.
- Limpieza inicial: Desbroce de 20 cm, Sólo retirada de árboles y vegetación, Limpieza completa con arbolado, Ninguna actuación.
- Porcentaje de reutilización de tierras: 0%,30%,50%,80% o 100%.
- Instalaciones que se incluyen: se marcarán las existentes en el proyecto en cuestión.
- PEM inicial: Presupuesto de ejecución material del proyecto en Euros.
- Superficie de la parcela (total del terreno a urbanizar) en m².

Una vez que el programa calcula, extrae toda la columna Qi (cantidad del concepto en su unidad específica) generando las cantidades en toneladas (t) y en metros cúbicos (m³) de cada uno de los materiales que el RD 105/2008 nos exige a tener en cuenta a la hora de separar en diferentes contenedores. Para el resultado, el mismo programa nos indica si es necesario establecer esta separación por cubas según las cantidades que establece el decreto, o no, dependiendo de la cantidad obtenida, mediante el uso de dos iconos que se muestran en la figura 6.

6. Conclusiones

Del estudio realizado podemos destacar los siguientes aspectos:

- En las obras de urbanización del suelo, existe una clara diferencia en la proporción de los volúmenes de RCD generados, Tanto los trabajos de movimientos de tierras como los de eliminación de arbolado y desbroces, son los que más cantidades de residuos producen. Representan sobre el 98% del volumen total de los RCD de urbanizaciones..
- La correcta gestión y valorización de los residuos correspondientes a los terrenos y a arboleda, se traducen en un ahorro importante al promotor del proyecto de urbanización y en algunos casos incluso pueden suponer ingresos, lo que en el presente modelo es un presupuesto negativo.
- Con las reducciones de volúmenes de RCD, contribuimos de forma directa a la reducción del impacto ambiental, y en consecuencia se disminuye la Huella Ecológica, HE, asociada al proyecto de urbanización en cuestión. Los residuos son una parte fundamental del cálculo de la HE de los proyectos.
- La hipótesis de cálculo para proyectos con arboleda, se adapta fácilmente a cualquier proyecto, obteniendo resultados aceptables.
- La superficie será muy importante para configuración de la herramienta informática. Permitirá la clasificación inicial en proyectos de pequeña, mediana o gran extensión. Hemos podido comprobar, con los baremos obtenidos en función de la superficie, como los proyectos pequeños aumentan notoriamente sus costes de gestión en repercusión con su superficie.
- Los datos obtenidos, sirven para prevenir la generación de los residuos de urbanización. Sin embargo, es preciso continuar la investigación con nuevos casos que afinen los límites establecidos.
- Las herramientas diseñadas facilitará la labor de los técnicos en los estudios de gestión de residuos, así como las comprobaciones para los organismos responsables del cobro de tasas.

- La implantación en el modelo del Banco de Costes de la Construcción de Andalucía, BCCA, facilita la unificación de los criterios de medición permitiendo así la aplicación para cualquier proyecto de urbanización. En los trabajos futuros, se pretende implantar el sistema y los coeficientes para contabilizar el impacto ambiental producido a través de la Huella Ecológica en urbanizaciones.

7. Referencias

- Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía (2014). *Base de Costes de la Construcción en Andalucía*. Sevilla, España. Disponible en <http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda/portal-web/web/areas/vivienda/texto/7a0899c8-0038-11e4-8cc4-27ee69a25823>
- Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía (2014). *Clasificación Sistemática de Precios Básicos, Auxiliares y Unitarios*. Sevilla, España. Obtenido de https://ws147.juntadeandalucia.es/obraspublicasyvivienda/davwebviv/Banco%20de%20precios/BCCA_2014/BCCA_2014_junio/Clasi_Sistematica_2014.pdf
- España. Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se por el que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. *Boletín Oficial del Estado*, 19 de febrero de 2002, núm. 43, pp.6494-6515 [Consultado 16 abril 2015]. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2002/02/19/pdfs/A06494-06515.pdf>
- España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Texto refundido con modificaciones del RD 1371/2007, de 19 de octubre, y corrección de errores del BOE de 25 de enero de 2008. Revisión vigente desde 13 de Septiembre de 2013. *Boletín Oficial del Estado*, 28 de marzo de 2006, núm. 74, pp.11816-11831 [Consultado 16 abril 2015]. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2006/03/28/pdfs/A11816-11831.pdf>
- España. Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. *Boletín Oficial del Estado*, 13 de febrero de 2008, núm. 38, pp.7724-7730 [Consultado 6 abril 2015]. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/aplicaciones/Normativa/ficheros/A07724-07730.pdf>
- Freire Guerrero, Antonio, Marrero Meléndez, Madelyn, Solís Guzmán, Jaime, Rivero Camacho, Cristina (2014): Estudio de la Huella Ecológica de la Transformación del Uso del Suelo. *En: Seguridad y Medioambiente. Fundación Mapfre*. Vol. 20000. Núm. 136. Pag. 6-14
- Llatas, C., 2011. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. *Waste Manage.* (Oxford) 31 (6), 1261–1276.
- Marrero Meléndez, Madelyn, Ramírez de Arellano Agudo, Antonio (2010): The Building Cost System in Andalusia: Application to Construction and Demolition Waste Management. *En: Construction Management and Economics*. Vol. 28. Pag. 495-507
- Pérez Carmona, Juan José, Marrero Meléndez, Madelyn, Solís Guzmán, Jaime (2013): Programa Informático. Modelo de Cuantificación de RCD Ajustado al Real Decreto 105/2008. Modelo de Utilidad, Propiedad industrial. Solicitud: 2013-03-07
- Puerto Francés, Manuel (2011): Cuantificación de Residuos de Construcción y Demolición en la Transformación de Terrenos Rústico en Urbanos. Fase de

Urbanización. TFM Máster Gestión Integral en Edificación. ETSIE, Universidad de Sevilla.

Ramírez de Arellano, A. (2002). *Retirada selectiva de residuos: Modelo de presupuestación*. Sevilla: Fundación Cultural del Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla.

Ramírez de Arellano Agudo, Antonio, Solís Guzmán, Jaime, Pérez Monge, Javier (2008): Programa Informático de Evaluación de Residuos de Construcción y Demolición para Tramitación de Licencias Municipales. Modelo de Utilidad, Propiedad industrial. Solicitud: 2008-04-29

Ramírez de Arellano, A. y otros, 2010: Clasificación Sistemática de Precios Básicos, Auxiliares y Unitarios.

Shen, L.Y., Wu, Y.Z., Chan, E.H.W., Hao, J.L., 2005. Application of system dynamics for assessment of sustainable performance of construction projects. *J. Zhejiang Univ. Sci. A* 6 (4), 339–349.

Solís Guzmán, Jaime, Marrero Meléndez, Madelyn, De Montes Delgado, M^a Victoria, Ramírez de Arellano Agudo, Antonio (2009): A Spanish Model for Quantification and Management of Construction Waste. *En: Waste management (Elmsford)*. Núm. 29. Pag. 2542-2548.