

COMMUNICATION

Autores: José Manuel Gómez Soberón¹, M. Consolación Gómez Soberón², F. Guadalupe Cabrera Covarrubias³, Ramón Corral Higuera⁴, Diana Carolina Gámez García⁵, Antonio Guerrero Díaz⁶, y Luis A. Gómez Soberón².

Descripción: 1 Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Construcciones Arquitectónicas II de la Universidad Politécnica de Cataluña, España; 2 Doctora por la Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana de México; 3 Maestra en Ciencia de los Materiales. Programa de Doctorado en Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Cataluña, España; 4 Doctor en Ciencia de Materiales. Facultad de Ingeniería Mochis de la Universidad Autónoma de Sinaloa, México; 5 Ingeniera Civil. Aspirante a Máster en Ciencias de la Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mochis de la Universidad Autónoma de Sinaloa, México; 6 Ingeniero en Edificación. Profesional de la Edificación, España.

Dirección postal: Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. Av. Doctor Marañón, 44-50, 08028. Barcelona España.

E-mail: josemanuel.gomez@upc.edu

Teléfono de contacto: 93 4016242

Title: Evaluation of waste as a comparative criterion for building materials.

Título: Evaluación de residuos como criterio comparativo de materiales para edificación.

Key Word: Sustainable construction, Environmental impact in construction, Sustainable-building materials.

Palabras clave: Gestión sostenible de la construcción, Impacto ambiental en la construcción, Materiales sostenibles para la construcción.

Abstract: In this paper, it analyzes and compares the use of three different materials (Reinforced Concrete -R. C.-, Steel and Wood) usable for the building, and construction processes that this entails. The analysis aimed to investigate which of the three materials is the most appropriate from the perspective of sustainability in order to propose alternatives that minimize the impact they have on the environment. Today, concrete is the material most commonly used in construction, and therefore must be environmental objective for reflection, that after analyzed, we can propose other typologies or alternative materials. The analysis included projects single-family housing for each of the materials and building systems proposed, these cases involved comparable properties within their specific environments (rules and context Spanish) and process variables normalization that validate the analysis. The work was developed using the software tool for managing,

scheduling and forecasting of construction waste Net Waste Tool (NWT) Waste & Resources Action Programmer, in which, it proceeded entering data, characteristics, volumes, consumption and emissions of each entry or supplies described in the study variables, and in this way, determine and quantify the pollutants vectors generated by these. The analysis of the results obtained have been able to argue a selection of materials for building sustainable new approach to waste generation, understanding that at the end of a life cycle, process or matter that pollutes less is best.

Resumen: En este trabajo, se analiza y compara la utilización de tres materiales diferentes (Hormigón Armado, Acero y Madera) a utilizar en edificación, así como los procesos constructivos que conllevan. El objetivo del trabajo fue indagar cuál de estos tres materiales es más adecuado desde la perspectiva de la sostenibilidad, para proponer alternativas que minimicen el impacto que producen sobre el medioambiente. Actualmente, el Hormigón es el material más utilizado en la edificación, y por tanto, debe ser objetivo medioambiental de reflexión, para que una vez analizado, podamos proponer otras tipologías o materiales alternativos. El análisis efectuado incluyó proyectos de viviendas unifamiliares para cada uno de los materiales-sistemas constructivos propuestos, dichos casos contaron con características equiparables dentro de sus entornos específicos (normativa y ámbito español), así como proceso de normalización de variables que validan el análisis efectuado. El trabajo realizado se elaboró con la herramienta informática para la gestión, programación y predicción de residuos en la construcción Net Waste Tool (NWT) de Waste & Resources Action Programmer; en la cual, se procedió introduciendo los datos, características, volúmenes, consumos y emisiones de cada partida o insumo descritos en las variables de estudio, para de esta forma, poder determinar y cuantificar los vectores contaminantes generados por éstos. El análisis de los resultados obtenidos, han permitido argumentar una selección de materiales para la edificación con nuevo criterio sostenible de generación de residuos, entendiendo que en el fin de un ciclo de vida, el proceso o materia que menos contamina es el más adecuado.

1. INTRODUCTION

The sustainable development has become a growing topic in all over the world, due to the comprehension of the environmental pollution phenomenon: the depletion of the natural resources, the increment in the creation of waste products, and the social problems produced by these situations.

In the Spanish context, the current construction model provokes the obtaining of big quantities of commodities and the processing of them to build dwellings; likewise the waste products generated in the process are also in increment. Because of previous statement, it is important to emphasize the repercussion of the activities effected by the construction industry to optimize its processes, to select the materials to utilize, to use the adequate constructive typologies, and to optimize the management of the wastes produced in its processes (4), (6), (7), (9) (10).

It is important to emphasize that the materials useful life should be arranged inside a cycle of life the most possible closed (13); therefore, assuming and causing this condition at the end of a building cycle, the wastes produced should be revalued, minimized or controlled by means of diminution actions. At present there are a small number of the works contributing with alternatives to this attainment (11), (13), and even less to alternative materials or comparable processes.

In the Spanish frame of reference, concrete is a common material used in the construction trade; nevertheless, the sector has materials that would be able to contribute as an alternative solution, since they offer more options of reduction, reuse and recycling more optimum than concrete. Among these, Steel is particularly distinguished by its feasibility to recycle, and also the Wood, that offers an option in its reuse.

As analysis of sustainable contribution of each material, it is likely to say that in the case of concrete, it could be an alternative of recycling, employing it as aggregates for new concretes or in filler for retaining walls (3). Likewise, it is possible to state that in the building trade, the metallic-origin wastes could be feasible to get a good value; its reuse, can reduce the original impact of its production in its first cycle: avoiding the mineral mining, energy consumption, CO₂ production, and transportation. Finally, the Wood

wastes present diverse possible increase in value: since the direct recycling as architectural or structural elements, or by means of energy worth by its combustion.

2. OBJETIVE OF THE RESEACH

The main objective of this work is to compare three building materials (Reinforced Concrete -R. C.-, Steel and Wood), utilized in comparable constructive systems to obtain a criteria to investigate which of these is the suitable one in accordance to a sustainable point of view.

To determine the behavior tendencies of each sample, a system data processing evaluator of wastes in construction was the tool utilized. This system permits the execution of simulations based on pre-established calibrated parameters, and the information about the supplies description, its physical characteristics and its mechanical properties. With the wastes typology, their representation and the type of constructive system linked; correlations and groups were accomplished in order to explain and to justify the perceived behaviors, providing criteria and technical data to compare and discern trends in their specific generation for them.

2.1 Description of the Methodology

For this research, similar-characteristics projects were sought (surfaces, uses, form and number of stories), although they had different constructive systems; in; from them, some parameters that provided the elements information and that permitted to perform a statistical analysis, were obtained. Subsequently, a ratio of items considered in each analyzed project is performed, as well as the justification of elimination of those that were not necessary.

Items considered in the analysis. They were selected by means of intuitive criteria, besides to consider them homogeneous and similar among the studied samples. Some considered items are: structural elements present during all useful life and large size elements.

Items excluded of the analysis. They were omitted because they were not feasible to be considered as second-generation materials, they separation process were complex, they do not permit a replacement solution of the three materials to analyze, items which do not

include as supplies the materials or that their composition could create materials with undesirable constructive implications. Previous research presents more details (8).

Net Waste Tool (NWT) (1) is a data processing system with a pre-established database that permits its use or manipulation, to employ it in the decision-taking for the construction wastes. When project information is in, it is utilized to estimate, in a probabilistic form, the types of wastes, based on its quantity, its mass, its content of material, its baseline wastage rate, and its statistical recycled capacity for each item. The tool permits to identify specific actions to reduce the levels of produced wastes, their classification by type and by their mass, or the economic value that the wasteful materials could have.

2.2 Description of the Analysis Samples

The materials utilized in the construction of the studied dwellings (R.C., Steel and Wood), have been applied in the design of three dwellings projects with similar control parameters. Next Fig.1 (9), (13) show some architectural details:

The limit criterion adopted to accept the three construction samples was the built surface, according to the available information to process and to its construction similarities; in the Table 1 presents the data in each case, according to European legislation (5).

Table 1. Normalizing parameters of samples

Type of housing	Useful surface (m ²)	Floor area (m ²)	Use (N ^o occupants)
R. C. (17.01.01)	147	194,56	7
Steel (17.04.05)	124,97	162,54	9
Wood (17.02.01)	142,69	168,81	6
Average	138,22	175,30	7,33

The previous three cases are viable proposals of building design that are not yet accomplished. In relation to the built surface, the useful surface and the number of occupants, they have been selected to do a normalization of the results obtained from the program; thus, the resultant studied variables could be compared among them in an objective manner.

The NWT tool permits to propose two objectives according to the demand and control level to establish in the construction site: projected and good. Likewise, a third level (minimum) is automatically applied by the own program, for more details of use and efficacy of the

program, consult previous works (1), (6), (7). All the resultant information can be extracted from the program by means of different reports with various formats. These reports were utilized for the analysis and statistical comparison.

3. RESULTS

The following reports were obtained from the NWT system: items (description, measures, price of materials, recycled for cases with defined objectives, percentages of recycled and of wastes produced); weight, volume and prices (percentages by items for both definite objectives and estimated amount in reduction of wastes); and wastes classified by materials (full amount and established objectives in weight, volume and price). As result of this research, some interesting statements are presented:

In Fig. 2 the cost of the three analyzed materials are compared, for both project and material; it is appreciated in general that the project price is greater in 40% to the materials price. It is notorious that for the Wood case both prices are lower with reference to the R.C. and Steel cases (9 and 4 times, respectively). It is also important to mention the ratio between the materials with regard to the full project prices, for the Wood case, it represents a desirable option because both approach among each other, while for R.C. and Steel, the price of the project is relatively greater than the material (around a 60%). The less material involved in the construction process, it is possible that the project cost is lower.

In the Table 2, the summarized results of the analyzed samples are presented, as it is observed, in a process of project for all of them, the results demonstrate that Steel is 46.20% more recyclable than R.C., while R.C. is 7.14% more recyclable than Wood; comparing Steel against Wood, the first is 53.34% more recyclable. With respect to the good process, Steel is 57.51% more recyclable than R.C., R.C. is 7.44% more recyclable than Wood, and Steel is 64.95% more recyclable than Wood. Making a comparison between the two procedures, it is observed that there are differences, 3.32% in R.C., 14.63% in Steel and 3.02% in Wood; these data correspond to the increase in objective good with regard to the objective of the project, for the three materials. This can be interpreted as the Steel is highly recyclable material, whereas Wood is best recoverable on reuse, on the other hand, the R. C. is a more complex material to reuse and recycle,

because it is a mixture of different materials, therefore has less components while a material may be easier to revalue.

Table 2. Summary table of overall results of the investigation

Sample	Objective	Recycled content %	Waste (t)	Waste (m ³)
R. C. (17.01.01)	Projected	9,96	10,95	9,72
Steel (17.04.05)		56,16	6,13	10,54
Wood (17.02.01)		2,82	0,12	0,48
R. C. (17.01.01)	Good	13,28	5,81	5,59
Steel (17.04.05)		70,79	2,81	4,99
Wood (17.02.01)		5,84	0,05	0,19

To accomplish an analysis with more rational comparison, the values obtained in Table 2 have been used, dividing them by the normalizing parameters from the Table 1; considering that without this action, it would be able to distort the comparative analysis of values to study.

In the Table 3, the previous commented adjustment in results is presented. In the Fig. 3, the mean values normalized by the surface relations and uses are shown, from it some aspects can be mentioned:

Table 3. Standardized results

Sample	Objective	Useful surface		Floor area		Uses	
		Waste (t)	Waste (m ³)	Waste (t)	Waste (m ³)	Waste (t)	Waste (m ³)
R. C.	Projected	0,07	0,07	0,06	0,05	1,56	1,39
Steel		0,05	0,08	0,04	0,06	0,68	1,17
Wood		0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08
R. C.	Good	0,04	0,04	0,03	0,03	0,83	0,80
Steel		0,02	0,04	0,02	0,03	0,31	0,55
Wood		0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03

1. In the analysis, the normalization variable: floor area, is the most sensitive parameter, has less travel between maximum and minimum achieved, and therefore should be selected as a decision parameter.
2. Regarding the expression of results, the units (t, m³) that best allow us to discern between them, are not uniform, for the R.C., the unit should be "t", for Steel m³ and for Wood it makes no difference for practical effects.

3. As it was expected, in all analyzed cases, the desirable good level always generates a more sustainable efficiency.
4. Finally, being an important contribution to this research, the graphics shown that the production of normalized wastes describes an established order, going from more to less for the materials: R.C., Steel and Wood, with a discrepancy for Steel in the case of m^3 and for both types of surfaces constructed studied. The previous statement could be attributed to the notorious density difference presented in this material with regard to others.
5. The established sustainable-optimization ascending order could be the next one (the good management always first and then the project one): 1) Wood, 2) Steel, and 3) R.C

4. CONCLUSIONS

4.1 Generals:

1. The administration of a construction in accordance with sustainable parameters (minimizing the procedure, considering recycled materials and wastes management) will provide savings in economics terms.
2. To establish good sustainable objectives or with expectations greater than the common applied in projects standard constructions, will conduct inexorably to economic and environmental improvements.
3. The selection of the material used can be efficient from the perspective of sustainability and environmental care, and that at present this selection of material should be considered as constructive option to deploy to meet current housing needs.

4.2 Specific:

1. Housing construction to be managed with sustainable principles, they can reduce the amount of waste by 50%. Making a comparison between each of the materials used and their generation of waste, R. C. amounts to 34% more waste than Steel, and both generate about 90% more waste than Wood. This means that the building solutions made with Wood construction materials are a choice of environmentally friendly construction, and feasible from sustainability.
2. As useful parameter normalizing the data and how useful variable to define the data that can be generated in a study similar to the above, the useful surface to

be the best (high path variability) and is therefore more sensitive for determining limits study. With regard to the units (t, m³) that best allow us to discern between them, in the case of R. C. t is best, for Steel, m³ is more appropriate, and finally the Wood is indifferent to the type of unit, for the reasons mentioned above.

3. In terms of the number of users of the homes analyzed, no significant correlation is observed, which would favor the implementation of housing with the use of Wood materials because these are the environmental aspects that are better.
4. Data analyzed, it was shown that three alternative materials studied, the timber, with its limited strength, production and application, is the material that generates less waste and more perspectives for reuse and re-recovery is in construction.

AKNOWLEDGEMENTS

The authors express thanks to: research project S-01117 from CTT-UPC, to EPSEB-UPC, to the Department CAII-EPSEB-UPC, to FIM-UAS and to the scholarships program for Master and Ph. Degree studies by CONACYT.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible se ha convertido en una inquietud creciente en todo el planeta, debido a la comprensión que provoca la contaminación sobre el medioambiente: por el agotamiento de los recursos naturales, por el incremento en la generación de residuos, y por los problemas sociales que éstos conllevan.

En el ámbito español, el actual modelo de construcción provoca la obtención de grandes cantidades de materia prima y de su procesamiento para la creación de viviendas; asimismo los residuos que se generan dentro del propio ciclo van también en incremento. Como consecuencia de lo anterior, es de destacar la importancia y repercusión de las actividades que realiza el sector de la construcción en la optimización de sus procesos, en la selección de los materiales que utiliza, en el uso de las tipologías constructivas adecuadas, y en la gestión óptima de la generación de los residuos que producen en su propio proceso (4), (6), (7), (9) (10).

Es importante enfatizar que la vida útil de los materiales debe estar pensada y dispuesta dentro de un ciclo de vida lo más cerrado posible (12); por tanto, asumiendo y provocando esta situación en la edificación al final de su ciclo, los residuos generados deberán ser revalorizados, minimizados o controlados mediante acciones mitigadoras. Actualmente son pocos los trabajos que aportan alternativas a esta consecución (11), (13), y menos aún a materiales alternativos o procesos equiparables.

En el ámbito Español, el Hormigón es el material utilizado en la ejecución de obras de edificación, no obstante, el sector cuenta con materiales que podrían contribuir como solución alternativa a ésta, ya que ofrecen opciones de reducción, reutilización y reciclaje más óptimos que el Hormigón. Entre éstos, se destacarían al Acero, que es factible de reciclar y la madera que ofrece una opción en su reutilización.

Como análisis de aportación sostenible de cada material, se podría argumentar que en el caso del Hormigón, éste aporta alternativa de reciclaje empleándolo como árido en un Hormigón nuevo, en rellenos o en trasdosados de muros (3). De igual forma, es cotejable que en el sector de la construcción los residuos de origen metálico sean factibles de su valorización. Su reciclado, puede reducir el impacto que origina la producción de éstos en su primer ciclo, evidenciándose en evitar la extracción de volúmenes de mineral, consumo

de energía, producción de CO₂ y transporte. Por último, los residuos de madera presentan diversas posibles valorizaciones: desde la reutilización directa como elementos arquitectónicos o estructurales, o mediante la valorización energética de su combustión.

2. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

El principal objetivo de este trabajo es comparar tres materiales constructivos (Hormigón Armado -R. C.-, Acero y Madera), aplicados en sistemas constructivos equiparables para la obtención de criterios que sirvan para indagar cuál de éstos es el idóneo desde el punto de vista sostenible.

La herramienta utilizada para determinar las tendencias del comportamiento de cada muestra ha sido el sistema informático evaluador de la generación de residuos en la construcción. Dicho sistema permite la realización de simulaciones en base a parámetros calibrados preestablecidos y la información de descripción de los insumos, de sus características físicas y de sus propiedades mecánicas. Con la tipología de residuos, su representatividad y el tipo de sistema constructivo vinculado, se realizaron las correlaciones y agrupaciones que permitieron explicar y justificar los comportamientos percibidos, aportando criterios y datos técnicos con el fin de cotejar y vislumbrar tendencias de su generación específica para éstos.

2.1 Descripción De La Metodología

Para realizar esta investigación se buscaron proyectos de características similares (superficies, usos, forma y número de plantas), aunque éstos sean realizados en diferentes sistemas constructivos; de éstos, se obtuvieron parámetros que proporcionaron información de los elementos, y permitieron efectuar un análisis estadístico. A continuación, se realiza una relación de las partidas que se consideraron en cada proyecto analizado, así como la justificación de exclusión de aquellas que no fueron necesarias.

Partidas consideradas en el análisis. Se estableció mediante criterios intuitivos, además también de considerárseles uniformes y similares entre las muestras estudiadas, a las partidas tales como: Elementos estructurales presentes durante toda su vida útil y elementos de considerable volumen.

Partidas excluidas en el análisis. Se prescindió en el estudio de las partidas que no fueran factibles para ser consideradas como materiales de segunda generación, que su proceso de separación fuese complejo, que no permitan solución de remplazo de los tres materiales a analizar, partidas en las que no se incluyen como insumos los materiales o que su composición pudiera generar materiales con implicaciones constructivas no deseables. Detalles de éstas fueron presentados en investigación previa (8).

Net Waste Tool (NWT) (1) es un sistema informático con una base de datos preestablecida que permite su uso o manipulación, para el empleo en la determinación de los residuos de la construcción. Introducida la información de un proyecto en específico, se utiliza para estimar de forma probabilística los tipos de residuos sobre la base de su cantidad, su masa, su contenido de material, sus mermas, y su capacidad de reciclado estadístico para cada partida de obra. La herramienta, permite identificar acciones específicas para reducir los niveles de residuos generados, su clasificación por tipo y por su masa, o el valor que pueden llegar a tener los materiales desperdiciados.

2.2 Descripción De Las Muestras De Análisis

El estudio de los materiales utilizados en la construcción de las viviendas analizadas (R. C., Acero y Madera), han sido aplicados en el diseño de tres proyectos de viviendas con equiparables parámetros de control. Algunos de los detalles arquitectónicos se presentan en la siguiente Fig. 1 (9), (13).

El criterio de límites de aceptación adoptado para las tres muestras constructivas fue el de la superficie construida, el cual responde a disponibilidad de la información para su proceso y a sus similitudes constructivas; en la Tabla 1 se presentan los datos de cada caso, en acuerdo a legislación Europea (5):

Los anteriores tres casos, son propuestas viables de diseño constructivo no realizadas hasta el momento, por lo que respecta a los parámetros de superficie construida, de superficie útil y el número de ocupantes, se han seleccionado éstos para realizar la normalización de los resultados que se obtengan del programa, de esta forma las variables estudiadas resultantes podrán ser comparadas de forma objetiva entre ellas.

La herramienta NWT permite proponer dos objetivos en acuerdo con el nivel de exigencia y control a implantar en la obra: el estándar y el deseado. Asimismo, un tercer nivel (mínimo) es aplicado de forma automática por el propio programa, para detalles de uso y eficacia del programa consultar otros trabajos (1), (6), (7). Toda la información resultante del proceso puede extraerse del programa mediante diferentes reportes con formatos varios. Dicho informes fueron utilizados para el análisis y comparación estadística.

3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se obtuvieron del sistema NWT los reportes siguientes: por partidas (descripción, medidas, coste de materiales, de reciclados para los casos objetivos definidos, porcentajes de reciclado y de residuos generados); por peso, volumen y costes (porcentajes por partidas para ambos objetivos definidos y cifra de reducción de residuos estimados); y residuos clasificados por materiales (totales y por objetivos establecidos, tanto en peso, volumen y coste). Como síntesis de la información que generó esta investigación, se presentan algunas relaciones de interés:

En la Fig. 2 se comparan los costes de los tres materiales de análisis, tanto proyecto como material, se puede apreciar de forma general que el coste del proyecto es superior en un 40% al de los materiales. Es notorio que para el caso de la Madera ambos costes son inferiores con referencia al caso de R. C. y Acero (9 y 4 veces, respectivamente). También es importante destacar que el coste del material con respecto al proyecto total, para el caso de la Madera representa una opción deseable, ya que ambos se aproximan entre sí, mientras que para R. C. y Acero, el coste final del proyecto es relativamente superior al del material (alrededor de un 60%). Mientras menos materiales se involucren en el proceso de construcción, es posible que el coste del proyecto sea inferior.

En la Tabla 2 se presentan los resultados resumidos de las muestras analizadas, como se puede observar, los valores reportan que el Acero es un 46,20 % más reciclable que el R. C., mientras que éste es un 7,14% más que la Madera, por último, comparando el Acero con la Madera, éste es un 53,34 % más que el último, en cuanto a proceso estándar para todos ellos. Respecto al proceso deseado, el Acero es más reciclable un 57,51% que el R. C., el R. C. es un 7,44% más que la Madera, y el Acero es un 64,95% más que la Madera también. Haciendo una comparación entre los dos procedimientos, podemos observar que para el R. C. existe una diferencia de 3,32%, para el Acero un 14,63 % y para la Madera

un 3.02%, siendo estos datos el incremento del objetivo deseado con relación al objetivo estándar en los tres materiales. Lo anterior, debería interpretarse como que el Acero es un material altamente reciclable, mientras que la Madera es mejor valorizable en su reutilización, por otra parte R. C. es más complejo de reutilizar y reciclar, debido a que es una mezcla de diferentes materiales, por lo tanto mientras menos componentes tenga un material puede ser más fácil de valorizar.

Para poder realizar un análisis con más equidad comparativa, se ha procedido a utilizar los valores obtenidos de la Tabla 2, dividiéndolos entre los parámetros normalizadores de la Tabla 1, por considerar que sin esto, se podría distorsionar el análisis comparativo de valores a estudiar.

En la Tabla 3, se presenta el resultado del anterior ajuste. En la Fig. 3, se pueden ver los valores medios normalizados para las relaciones de superficie y usos, destacándose varios aspectos.

1. La variable de normalización superficie útil es la más sensible de los parámetros de análisis por contar ésta con un mayor recorrido entre máximo y mínimo alcanzados, y por tanto debería ser seleccionada como parámetro de decisión.
2. En lo referente a la expresión de los resultados, las unidades (t, m³) que mejor permiten discernir entre ellos no son uniformes, destacando que para el caso de el material R. C., la unidad debería ser “t”, para el caso de Acero m³ y por ultimo para la Madera, a efectos prácticos es indiferente.
3. Como era de esperar, en todos los casos el nivel objetivo marcado en el análisis como deseable siempre genera una eficiencia más sostenible.
4. Por último, y siendo de importancia para la aportación de esta investigación, se puede evidenciar en los gráficos que la generación de residuos normalizados sigue un orden establecido que va de más a menos para los materiales: R. C., Acero y Madera, a discrepancia del Acero para el caso de m³ y ambas superficies construidas estudiadas. Lo anterior se podría imputar a la diferencia de densidad tan marcada que presenta este material para con los otros.
5. El orden de optimización sostenible ascendente establecido vendría a ser el siguiente (siempre primero con gestión deseable y luego estándar): 1) Madera, 2) Acero, y 3) R. C.

4. CONCLUSIONES

4.1 Generales:

1. En términos económicos el gestionar una obra con parámetros sostenibles (minimización del procedimiento, consideración de materiales reciclados y gestión de sus residuos) proporcionará un ahorro en ella.
2. El establecer objetivos sostenibles deseables o con expectativas superiores a los aplicados en la práctica estándar de la construcción conducirá inexorablemente a mejoras medioambientales y económicas.
3. Se puede decir que la selección del material utilizado puede llegar a ser eficiente desde la perspectiva de la sostenibilidad y cuidado del medioambiente; y que en la actualidad esta selección de material debería ser considerada como opción constructiva a implementar para satisfacer la necesidad de vivienda actual.

4.2 Específicas:

1. Las obras de vivienda que se gestionen con principios sostenibles, pueden llegar a reducir la cantidad de residuos en un 50%. Haciendo una comparación entre cada uno de los materiales utilizados y su generación de residuos, el R. C. supone un 34% más residuos que el Acero; y ambos generan aproximadamente un 90% más residuos que la Madera. Por lo anterior que la Madera supone una opción de construcción amigable con el medio y factible desde el punto de vista de la sostenibilidad.
2. Como parámetro útil normalizador de los datos y como variable útil para definir los datos que pueden ser generados en un estudio similar al expuesto, el de la superficie útil resulta ser el mejor, puesto que cuenta con un mayor recorrido de variabilidad y por tanto es más sensible para determinar límites, en lo referente a las unidades (t, m³) que mejor permiten discernir entre ellos, para el caso del R. C., es t, para el Acero m³, y para la Madera, a efectos prácticos es indiferente; por los motivos mencionados con anterioridad.
3. A efectos de número de usuarios de las viviendas analizadas no se observa una correlación significativa, lo cual debía favorecer la implementación de la tipología de viviendas con uso de materiales de Madera por ser éstas las que en aspectos medioambientales son mejores.

4. De los datos analizados, se ha demostrado que de los tres materiales alternativos estudiados, la Madera, con sus limitaciones de resistencia, producción y aplicación, es el material que menos residuos genera y más perspectivas factibles de reutilización y revalorización tiene en la construcción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a: al proyecto de investigación S-01117 del CTT-UPC, a la EPSEB-UPC, al Departamento CAII-EPSEB-UPC, a la FIM-UAS y al programa de becas para estudios de doctorado y maestría del CONACYT.

BIBLIOGRAFÍA

1. **(WRAP), Waste & Resources Action Programme** [Online]. - 2000. - 05 01, 2011. - <http://www.wrap.org.uk/>.
2. **Batayneh M., Iqbal, M., Ibrahim, A.** Use of selected waste materials in concrete mixes [Journal] // Waste Management. - 2007. - Vol. 27. - pp. 1870–1876.
3. **Construpedia** Construmática [Online] // Características Materiales de los Residuos de Excavación y Demolición de Hormigón y Obra de Fábrica. - 1995. - 04 15, 2012. - http://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas_Materiales_de_los_Residuos_de_Excavaci%C3%B3n_y_Demolici%C3%B3n_de_Hormig%C3%B3n_y_Obra_de_F%C3%A1brica.
4. **Editorial, Waste Management** Sustainable management of waste and recycled [Journal] // Waste Management. - 2011. - Vol. 31. - pp. 199-200.
5. **Europea Comisión** European Commission Environment [Online]. - 2002. - 05 01, 2012. - <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000D0532:20020101:EN:PDF>.
6. **Gómez Soberón J. M., Arredondo Rea, S. P., Corral Higuera, R., Gómez Soberón, L. A., Gómez Soberón, M. C., Esteban Díaz, M. Á.** Estudio de los tipos de residuos producidos en tipologías constructivas. Determinación y cotejo. [Conference] // VIII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. - La Habana : [s.n.], 2011. - pp. 1179-1200.
7. **Gómez Soberón J. M., Corral Higuera, R., Arredondo Rea, S. P., Gómez Soberón, M. C., Gómez Soberón, L. A., Esteban Díaz, M. Á.** Sostenibilidad en la edificación. Comparación de dos sistemas constructivos y rendimiento de los recursos. [Conference] // VIII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. - La Habana : [s.n.], 2011a. - pp. 1201-1222.
8. **Gómez Soberón J. M., Corral Higuera, R., Arredondo Rea, S. P., Gómez Soberón, M. C., Gómez Soberón, L. A., Guerrero Díaz, A.** Evaluación de residuos como criterio comparativo de procesos constructivos [Conference] // II European Conference on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Planning. - [s.l.] : Universidad del País Vasco, 2011. - p. 348.
9. **Guerrero Díaz A., Gómez Soberón J. M.** Estudio analítico y comparativo de procesos constructivos desde la sostenibilidad. // Proyecto Final de Grado EPSEB-UPC. - 2011. - pp. 37-61.
10. **Jaillon L., Poon C.S., Chiang Y.H.** Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong [Journal] // Waste Management. - 2008. - Vol. 29. - pp. 309–320.
11. **Llata C.** A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. [Journal] // Waste Management. - 2001. - doi:10.1016/j.wasman.2011.01.023.
12. **Ortiz O., Pasqualino J. C. y Castells F.** Environmental performance of construction waste: Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain [Journal] // Waste Management. - 2010. - Vol. 30. - pp. 646–654.

13. **Symonds** Construction and demolition waste management practices, and their [Report]/ DGXI ; European Commission. - 1999.

Figures:



Fig. 1 Floor and sections of housing used in the study of R. C., Steel and Wood.

Fig. 1. Planta y secciones de las viviendas utilizada en el estudio del H. A., Acero y Madera.

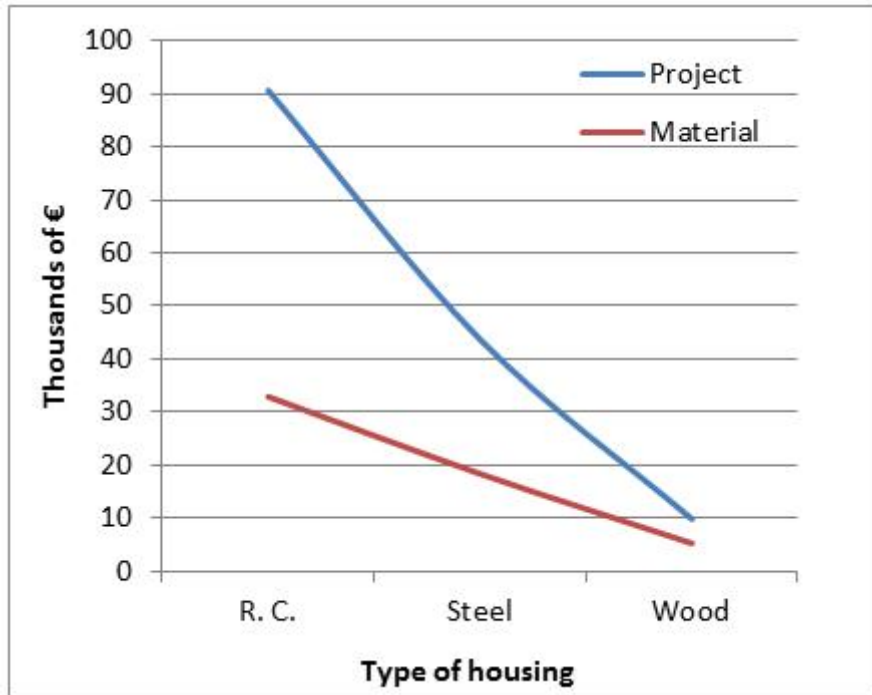


Fig. 2 Costs arising in the study samples (euros).

Fig. 2. Costes generados de las muestras de estudio (euros).

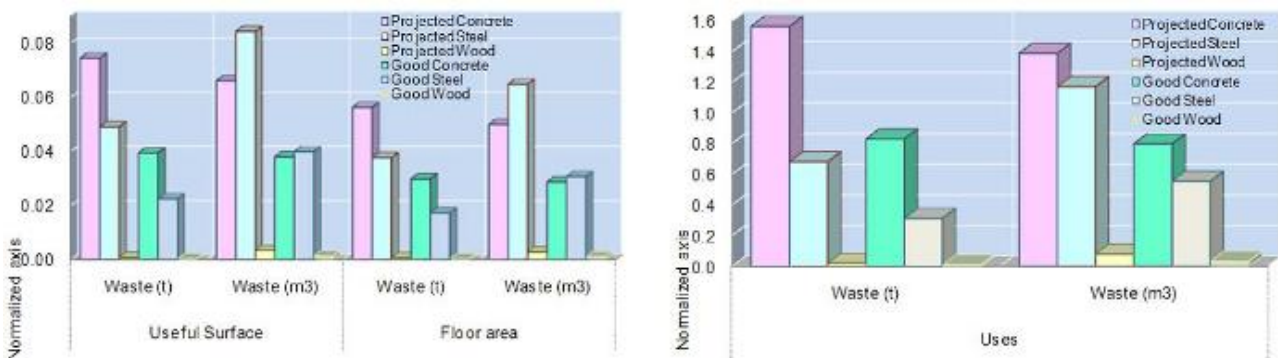


Fig. 3 Relationship between normalized surface and waste-normalized uses.

Fig. 3. a) Relación superficie normalizada. b) Relación residuos-usos normalizados.