

1.2.1. ESTUDIO DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN EN ESPAÑA

OERCO2
ONLINE EDUCATIONAL RESOURCE FOR INNOVATIVE STUDY OF CONSTRUCTION
MATERIALS LIFE CYCLE

This project has been funded with support from the European Commission.

This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

1



ROMANIA
GREEN
BUILDING
COUNCIL



CTM
Centro Tecnológico
del mármol, piedra y materiales



Consortium members: Universidad de Sevilla (US), Asociación Empresarial de Investigación Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales (CTM), CertiMaC Soc. Cons. a r. L. (CertiMaC), Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV), Universitatea Transilvania din Braşov (UTBV), Asociația România Green Building Council (RoGBC).

1. Introducción

En los últimos años, la sostenibilidad ha ido adquiriendo una gran importancia en la conciencia de la sociedad debido a la necesidad de proteger el medio ambiente en búsqueda de un desarrollo sostenible. En este sentido, la construcción de edificios más sostenibles adquiere un papel protagonista en el panorama actual. Aspectos como la eficiencia energética y el consumo de recursos naturales, así como la reutilización de estos y la gestión del ciclo de vida de productos y edificios son estudiados en numerosos trabajos de investigación.

Este creciente interés por la sostenibilidad se ha debido a la intensa actividad que ha vivido el sector de la construcción y que ha ocasionado un enorme deterioro ambiental debido al consumo desmesurado de recursos naturales, a las enormes cantidades de energía requeridas para producir productos de construcción o al impacto generado por el vertido incontrolado de residuos de construcción y demolición (RCD) en vertederos ilegales, sin tratamiento o control previos (Adnan et al., 2014).

Para corregir esta situación, se desarrollan leyes y planes a nivel internacional, europeo y local, que promueven la sostenibilidad, el reciclaje y la reutilización (Marrero et al. 2011). En el ámbito europeo, se han gestado normativas por parte de la Directiva Marco de Residuos Europea, para la prevención y reutilización de los RCD (Parlamento y Consejo Europeo, 2009). Sin embargo, los modelos de gestión implantados están lejos de lograr sus objetivos, conseguir el reciclaje del 70% de los RCD generados en Europa para 2020, ya que la realidad demuestra que tan sólo el 50% se reciclan (Soniego et al., 2010).

En España, se aprobó el Real Decreto 105/2008 (Ministerio de la Presidencia, 2008), cuyo objeto es establecer el régimen jurídico de la producción y gestión de los RCD, para su prevención, reutilización y reciclado. Por otro lado, las nuevas exigencias legislativas de eficiencia energética en España, como el Real Decreto de Certificación Energética, RD 235/2013 (Ministerio de la Presidencia, 2013) y La Ley 8/2013 (Jefatura del Estado, 2013), establecen la regulación de las condiciones básicas que los edificios deben cumplir abogando por la rehabilitación sostenible. Esto equivale a un incremento de obras de rehabilitación y de demolición, lo que supone un aumento en la generación de RCD que deben ser correctamente gestionados.

Ante la problemática derivada de la actividad de la construcción, así como las nuevas normativas europeas y estatales que abogan por la eficiencia energética y la sostenibilidad, se hace necesaria la búsqueda de nuevos métodos para disminuir el

impacto causado por la construcción sobre el medio ambiente (Andreola et al. 2005) (Lett, 2014) (Schaffartzik et al. 2014) (Haas et al. 2015).

La investigación en esta línea de trabajo, entre otros aspectos, pasa por tratar de minimizar el impacto ambiental, las emisiones de gases de efecto invernadero o el consumo de recursos materiales, mejorar la eficiencia energética o la rehabilitación a escala individual o de barrio. En este sentido, numerosas investigaciones establecen que los materiales de construcción son los responsables en gran parte del impacto ambiental derivado de la construcción: intervienen desde el inicio hasta el final del proceso constructivo. Con su adecuada elección se puede mejorar el comportamiento ambiental de los edificios (Andr et al. 2016).

2. Evaluación de los materiales y soluciones constructivas más empleados en la construcción

A partir de estudios previos de los investigadores de la Universidad de Sevilla, se ha podido constatar, a nivel del estado español: las tipologías residenciales más empleadas, los materiales más utilizados y las soluciones constructivas más habituales.

Los estudios empleados pueden ser consultados en las tres publicaciones siguientes:

- Martínez Rocamora, Alejandro, Solís Guzmán, Jaime, Marrero Meléndez, Madelyn: LCA databases focused on construction materials: A review. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 58. Pag. 565-573.
- González Vallejo, Patricia, Solís Guzmán, Jaime, Llácer Pantión, Rafael, Marrero Meléndez, Madelyn: La construcción de edificios residenciales en España en el período 2007-2010 y su impacto según el indicador Huella Ecológica. En: Informes de la Construcción. 2015. Vol. 67. Núm. 539.
- González Vallejo, Patricia, Marrero Meléndez, Madelyn, Solís Guzmán, Jaime: The ecological footprint of dwelling construction in Spain. En: Ecological Indicators. 2015. Núm. 52. Pag. 75-84.

El primer análisis que se presenta es el correspondiente a las tipologías de edificios residenciales, en la tabla 1.

Número de plantas		Año							
		2007		2008		2009		2010	
		Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
Plantas sobre rasante	0 y 1	23.572	4	14.042	5	7.759	6	7.479	8
	2	151.902	24	63.913	24	27.668	21	24.101	26
	3	144.723	23	52.694	20	25.014	19	13.631	15
	4 y 5	210.065	33	86.744	32	38.515	30	25.661	28

	6 ó más	103.836	16	51.042	19	31.590	24	20.773	23
	TOTAL	634098	100	268435	100	130546	100	91645	100
Plantas bajo rasante	0	141.777	22	66.840	22	30.507	23	25.216	28
	1	328.920	52	121.018	52	59.321	45	37.288	41
	2 ó más	163.401	26	80.577	26	29.141	31	29.141	32
	TOTAL	634098	100	268435	100	118969	100	91645	100

Tabla 1: Número de viviendas construidas en España según número de plantas sobre y bajo rasante (2007-2010)

Se han estudiado los edificios residenciales de nueva planta porque en la última década representaron en España alrededor del 80% de la superficie construida total. De las características recogidas sobresale para el presente análisis el número de plantas sobre y bajo rasante, ya que dicha característica define en gran medida las soluciones constructivas, siendo un factor determinante para la evaluación del impacto ambiental de cada edificio. Se identifica un mayor porcentaje de edificios entre 4 y 5 plantas sobre rasante y los menos representativos son los de 0 ó 1 planta.

También destacar que las plurifamiliares (2 o más viviendas) representan el 75% y las unifamiliares el 25%. Según el número de plantas sobre rasante, el 6% son de una planta, 24% son de dos, repartido entre unifamiliares y plurifamiliares. De tres o más plantas son todas plurifamiliares.

La segunda parte del estudio corresponde al análisis de las soluciones constructivas. Se recogen los porcentajes de los edificios de nueva planta de uso residencial según tipología constructiva, instalaciones y acabado interior, referentes a cada año desde 2007 a 2010, siendo todos los años los datos muy similares, por lo que se han representado los valores medios en la Tabla 2.

Características constructivas de edificios residenciales (%)							
Estructura vertical				Estructura horizontal		Cubierta	
Hormigón armado	Metálica	Muros de carga	Mixta y otros	Unidirec.	Losa	Plana	Inclinada
73	6	15	6	84	16	33	67
Cerramiento exterior				Carpintería exterior			

Cerámico	Pétreos	Revestim. continuo	Otros	Madera	Alum.	Plástico	Chapa de acero y otros
50	12	34	4	8	84	7	1
Instalaciones							
Evacuac. aguas residuales	Suministro agua potable	Agua caliente	Calefac.	Refriger.	Ascensores y/o montacargas	Tratam. aguas residuales	Tratam. otros residuos
100	100	96	65	18	68	7	2
Acabado Interior							
Solería				Carpintería Interior		Con falso techo	Con persianas
Cerámico	Pétreo	Madera	Otros	Madera	Otros		
53	15	29	3	98	2	76	93

Tabla 2: Porcentajes de edificios de nueva planta de uso residencial según características constructivas

Observando los resultados, destacamos dos características que son comunes en todas las tipologías:

- la carpintería exterior es de aluminio.
- La carpintería interior es de madera y persianas.

Por último, a partir del estudio detallado de distintos proyectos y evaluando los consumos materiales de dichos proyectos se pueden determinar los materiales más empleados en la construcción de edificios residenciales en España.

Así, de dichos estudios se obtuvo que los materiales que tienen más presencia en la edificación en España, bien por su porcentaje en peso, bien por su elevado impacto ambiental, son los siguientes:

- Hormigón: representa más del 50% en peso de los materiales empleados en construcción
- Cerámicos: la construcción en España es intensiva en ladrillos, baldosas cerámicas y materiales de la misma naturaleza. Porcentaje en peso entre 10 y 15% del empleado en el total de la construcción de edificios residenciales en España.
- Acero: poca relevancia en peso pero alta incidencia en impacto ambiental (10-20%).



- Aluminio: alto consumo energético, aunque el material reciclado, cuyo uso es frecuente en España, tiene mucha menor incidencia ambiental. Se puede asumir para la producción media de aluminio del orden del 30% de material reciclado. Bajo peso.
- Poliestireno: material plástico usado habitualmente con material aislante. Reciclaje relativamente sencillo, que permite obtener nuevos bloques con hasta un 50% de material reciclado.
- PVC: material plástico de elevado uso en edificación. Impacto ambiental similar al poliestireno.

De los seis materiales, cinco de ellos (hormigón, acero, cerámicos, poliestireno y PVC) representan aproximadamente el 80% del impacto ambiental que generan los materiales en la construcción de edificios en España.

Desde el punto de vista de las fases o capítulos de la obra, aquellas con mayor incidencia ambiental son: estructuras, albañilería, revestimientos y cimentaciones.

Analizando en profundidad estos cuatro capítulos, para el caso de la cimentación los materiales que generan mayor impacto en esta fase corresponde al hormigón y al acero de las armaduras. En el caso del capítulo de estructuras los materiales de mayor impacto son el acero de las armaduras, el cemento de las bovedillas y el hormigón armado, en ese orden. Para el capítulo de albañilería, el impacto de los materiales es debido a la cerámica de los ladrillos. Por último, en el caso del capítulo de revestimientos, los materiales con mayor impacto son el hormigón en masa de las soleras, la cerámica de los azulejos y solería, y por último el mortero de perlita del guarnecido y enlucido. En este caso el impacto es generado por el empleo intensivo de mano de obra.

3. Evaluación de materiales y soluciones sostenibles más empleados en la construcción

A partir de este concepto, el estudio de soluciones constructivas novedosas (materiales de construcción y procesos constructivos), alternativas a las convencionales, que tengan algo que aportar en materia de sostenibilidad en el proceso constructivo adquiere un papel principal para solucionar los problemas derivados del sector de la construcción.

Existen numerosos productos y sistemas constructivos que mediante su incorporación en el diseño de un edificio, ayudan a mejorar el grado de sostenibilidad del mismo.

En primer lugar, la madera, desde hace años, se ha postulado como el material natural con menor impacto ambiental por su ciclo de vida, siendo necesaria su certificación para comprobar su proceso de producción y su origen sostenible. Sin embargo, las altas cantidades de energía

necesarias para su procesado y secado, hacen que los beneficios ambientales que se derivan de su uso no estén tan claros. .

Otro de los materiales que se postula como material natural sostenible, relacionado con la madera, es el bambú. Es un recurso poco utilizado que está disponible en economías en vías de desarrollo. En España no se encuentra disponible con facilidad. Es un material resistente, ligero y moldeable que se renueva rápidamente haciendo que su recolección no produzca deforestación (Dixon et al., 2015)

Por otro lado, existen trabajos de investigación sobre nuevos productos de construcción mucho más complejos que tienen que ver con reacciones químicas o el agregado de compuestos para la mejora de las cualidades de los mismos. Entre estos, destacan actualmente por su incipiente empleo en obras de construcción los morteros fotocatalíticos, que mediante una reacción química generada al recibir luz solar directa, consiguen absorber CO₂ del ambiente.

Sin embargo, uno de los grupos de materiales sostenibles que ha ido adquiriendo importancia en el mundo de la construcción sostenible son los que se basan en el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (Pozo et al. 2011), mediante una previa gestión de los mismos (Garz, 2015) (Garzón & Sánchez-Soto, 2013). La gestión y la reutilización de los residuos son aspectos clave para hacer frente al problema del sector de la construcción: reducir la producción, reutilizar y reciclar (Marrero et al., 2011).

Esta adquisición de importancia se debe a los datos que se han ido obteniendo sobre el problema el impacto que los RCD generan. A nivel mundial, la construcción produce alrededor del 35% de los residuos industriales (Hendriks&Pietersen, 2000) (Mercader-Moyano, 2012), alcanzando la cifra de los 42 millones de toneladas al año depositando la mayoría en vertederos, sin un mínimo planteamiento acerca de su posible reutilización (Valdés et al., 2010). En total, se ha producido un promedio de unos 890 millones de toneladas de RCD en 2008 (Sáez Villoria et al., 2011), mientras que el porcentaje de recuperación es sólo del 25% (European Environmental Agency (EEA), 2002). A nivel europeo, la actividad de la construcción consume el 40% de los recursos naturales para la fabricación de materiales de construcción (European Commission, 2013) (López-Mesa, 2009).

El desarrollo de nuevos productos de construcción que empleen áridos reciclados de residuos de construcción (Sousa et al. 2003) haciendo hincapié en la disminución de la conductividad térmica son aspectos clave sobre los que trabajar para la mejora de la eficiencia energética y por tanto, generar un ahorro de energía (Papadopoulos, 2005) (Martínez-Molina et al. 2016).

Por otro lado, siguiendo la idea de emplear áridos de residuos reciclados se encuentran trabajos de investigación que desarrollan productos de construcción como bloques, paneles o morteros y que incluyen neumáticos triturados, restos de madera, corcho o fibras poliméricas.

En la tabla 3 que se muestra a continuación se establece la relación de algunos trabajos de investigación que desarrollan productos de construcción que intentan mejorar el grado de sostenibilidad de los edificios mediante su empleo y que pretende servir como una muestra de la situación del panorama actual.

AUTORES	Material/solución constructiva	Resultados
(Jamekhorshid, Sadrameli, Barzin, & Farid, 2017)	Compuesto de madera y plástico con cambio de fase microencapsulado de PCM (MEPCM)	Almacenamiento de energía. Mejora de la eficiencia energética.
("Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181320674011 ," 2008)	Bambú en estado natural. Tableros prensados de bambú con o sin embarrados.	Mejora de la sostenibilidad.
(Gramineae, 2016)	Vivienda realizada en su totalidad con bambú como material de construcción	Vivienda realizada con bambú como material de construcción que cumple los requisitos normativos establecidos en el país de origen.
(Teixeira, Bastos, & Almeida, 2015) (Shah, Bock, Mulligan, & Ramage, 2016) (Shah et al., 2016) (Luna, Lizarazo-Marriaga, & Mariño, 2016)	Paneles laminados/composite con bambú	Suficiente resistencia y espesor mínimo
(Morales-conde, Rodríguez-liñán, & Pedreño-rojas, 2016)	Compuesto en base yeso y agregados de madera procedente de las demoliciones en obras de rehabilitación	Mejora de las propiedades térmicas del compuesto. Disminución de la resistencia mecánica.
(Başpınar, M. S., & Kahraman, 2011)	Yeso con agregados de mica o vermiculita	
(del Río Merino, M., García, C. P., & Piñeiro, 2013)	Escayola reforzada con fibras de lana mineral de RCD	
(Jamshidi, Kurumisawa, Nawa, & Igarashi, 2016)	Hormigón estructural y bloques de pavimento que incorporan residuos de vidrio	La adición de residuos de vidrio mejoran el ciclo de vida del producto, durabilidad y comportamiento estructural
(R. De, De, & De, 2015)	Morteros hidráulicos empleando botellas de plástico reciclado	Mejora del comportamiento frente al fuego y sostenibilidad
(Marrero, Martínez-Escobar, Mercader-Moyano, & Leiva, 2013)	Paneles que incorporan paneles de yeso y hormigón reciclado	Minimización del impacto ambiental en la ejecución de fachadas. Mismas prestaciones mecánicas que los realizados con recursos naturales.
(Meijide, 2015)	Mezclas bituminosas en frío con agregados de RCD	
(Bedoya & Dzul, 2015)	Hormigón estructural con agregados reciclados	
(Costa Del Pozo, 2012)	Bloques a partir de plásticos reciclados (incluyendo el EPS) y cemento	
(Aliabdo, Abd-Elmoaty, & Hassan, 2014)(Miličević, Bjegović, & Siddique, 2015)(Sadek, 2012)	Ladrillos con áridos reciclados el polvo de ladrillo y tejas de arcilla	Mejora la resistencia térmica, menor peso y coste, cumplimiento de los valores ambientales establecidos en el país de origen, aunque se produce una notable disminución de la resistencia a compresión del bloque y un aumento de la absorción del agua
(Valdés et al., 2010)	Hormigones que incorporan RCD y cemento	Pretenden ser empleados en sustitución del hormigón estructural convencional
(González Madariaga & Lloveras Macia, 2008)	Placas de yeso o escayola que incorporan EPS reciclado	
(Poon & Chan, 2006)(Wattanasiriwech, Saiton, & Wattanasiriwech, 2009)	Adoquines que incorporan materiales cerámicos triturados	Absorción de agua mayor que productos similares del mercado.
(Alba, Marrero, Leiva, Montes, & Vilches, 2012)	Paneles realizados con cenizas de centrales térmicas y cemento	
(del Río Merino, M. R., Astorqui, J. S. C., & Olivares, 2005)	Escayola reforzada con fibras de vidrio	

(del Río Merino, M., Hernández Olivares, F., & Comino Almenara, 2004)		
(Cherki, A. B., Remy, B., Khabbazi, A., Jannot, Y., & Baillis, 2014)	Yeso con agregados de corcho aligerante	
(De Melo & Silva, 2013)	Bloques de hormigón no estructurales que incorporan residuos de EVA (calzado)	
(del Río Merino, M., Domínguez, J. D., & Hernández Olivares, 1998)	Escayola aligerada con sólidos celulares: Arcilla expandida	
(Machado & Pereira, 2016)	Composites con corcho como material base	Mejora de la eficiencia energética
(Concepción & Menor, 2015)	Hormigón estructural y bloques de hormigón con agregados de corcho	Piezas aligeradas. Disminución de la conductividad térmica
(Serna, Á., del Río, M., Palomo, J. G., & González, 2012)(Parres, F., Crespo-Amorós, J. E., & Nadal-Gisbert, 2009)	Yeso reforzado con agregados de neumáticos triturados	
(Aguilera, 2013) ("197-708-1-PB.pdf," n.d.)	Escayola con agregados de residuos de cascara de arroz triturada	
(Ingeniari, Nekazaritza, Abeltzaintza, & Berezitasuna, 2011)	Ladrillo que emplea suelo marginal frente a la arcilla cocida	No es necesaria la cocción. Mejora de la sostenibilidad
(Gatani, 2000)	Ladrillos de tierra compacta y cemento	Aumento del grado de humedad frente a los tradicionales
(Sustentable, De, Patricia, & Sánchez, 2015)	Bloques de tierra comprimida	
(Ruan & Unluer, 2016)	Cemento con agregados de magnesio (MgO)	Minimización de la energía reactiva necesaria frente a los cementos Portland
(Edificaci, 2016)	Materiales fotocatalíticos: morteros	Disminución del impacto ambiental
(Sugr, n.d.)	Morteros con propiedades auto-limpiantes y descontaminantes	Disminución del impacto ambiental
(R. F. De, 2016)	Lana de ovino como material aislante	
(Baglivo & Congedo, 2016)	Paredes composite multicapa ligeros	Alto nivel de comportamiento térmico y confort interior
(Assefa & Ambler, 2017)	Empleo de un muro trombe	Mejora de la eficiencia energética
(Neila, Bedoya, Acha, Olivieri, & Barbero, 2008)	Cubierta ecológica.	

Tabla 3: Empleo de materiales sostenibles en la bibliografía actual

Respecto al sector privado, aparecen numerosas casas comerciales que comercializan productos que mejoran la sostenibilidad. A continuación, se establece una relación de empresas y sus correspondientes productos de construcción y sistemas cuyo comportamiento ambiental ha sido verificado mediante DAP, Declaraciones Ambientales de Productos. Se observa la diferencia entre la cantidad de trabajos de investigación, muy superior, así como la variedad de soluciones y empleo de materia prima sobre este tipo de productos y los que se comercializan (Tabla 4).

EMPRESA	Material/solución constructiva
Favemanc. Toledo	Placa cerámica media para fachada ventilada: cámara interna que las fortalece aumentando el aislamiento térmico y acústico del edificio.
Rosa Gres, S.A. Barcelona	Baldosa cerámica prensada en seco compuesto por arcilla, feldespato y arena con una capa de esmalte
Porcelanosa. Castellón	Azulejo medio compuesto por arcilla, carbonato, arena, feldespato con una capa de esmalte
COLORKER S.A. Castellón	Gres Esmaltado/Porcelánico compuesto por arcilla, feldespato y arena con una capa de esmalte

KnaufInsulation, SL SantBoi de Llobregat	Panel Plus es un aislante termo-acústico de Lana Mineral Natural con textura uniforme, que se presenta en forma de paneles semi-rígidos desnudos.
BASF ESPAÑOLA, S.L. Rubí	Sistema especial ignífugo de espuma rígida de poliisocianurato (PIR)
Porcelanosa Grupo. Castellón	Gres porcelánico medio de Porcelanosa está compuesto básicamente por arcilla, arena, feldespato con una capa de esmalte compuesto principalmente por feldespato, carbonato, silicatos, y caolín entre otros.
KnaufInsulation, SL SantBoi de Llobregat	Panel Sin Revestir es un aislante termo-acústico de Lana Mineral Natural con textura uniforme, que se presenta en forma de paneles desnudos.
BASF ESPAÑOLA, S.L. Rubí	Itracoustic R es un aislante termo-acústicos en paneles compactos en rollo de Lana Mineral Natural. Se caracterizan por su estructura porosa que retiene fuertemente aire en su interior y por el tamaño y diámetro de sus filamentos, además de su elasticidad.
Federación Nacional de la Pizarra. Orense	Pizarra natural media representativa del sector pizarrero español y que incluye diferentes formatos de pizarra.
Fundación Centro Tecnológico do Granito de Galicia. Porriño	Pavimento exterior de granito.
Fundación Centro Tecnológico do Granito de Galicia. Porriño	Aplacado para fachada ventilada de granito.
Grespania, S.A. Castellón	Gres porcelánico medio
Grespania, S.A. Castellón	BIONICTILE®, un gres porcelánico (Bla) con actividad fotocatalítica.
BASF Construction Chemicals España, S.L. L'Hospitalet de Llobregat	<p>Imprimación epoxi bicomponente libre de disolventes de uso en hormigón-mortero joven o con elevado contenido de humedad residual.</p> <p>Imprimación epoxi bicomponente libre de disolventes de curado rápido y de aplicación a bajas temperaturas.</p> <p>Imprimación epoxi bicomponente libre de disolventes de uso general para recubrimientos sintéticos sobre soportes minerales.</p> <p>Recubrimiento elástico y autonivelante de poliuretano bicomponente para pavimentos confortables y decorativos.</p> <p>Recubrimiento de poliuretano bicomponente libre de disolventes, autonivelante, elástico, pigmentado y de bajas emisiones.</p> <p>Recubrimiento de poliuretano bicomponente libre de disolventes, autonivelante, elástico, pigmentado, de bajas emisiones, de color estable y resistente a los rayos UV para pavimentos decorativos.</p> <p>Capa de acabado de poliuretano bicomponente en base agua, libre de disolventes, de bajas emisiones según AbgBB, elástico, mate, pigmentado o transparente, de color estable y resistente a los rayos UV para pavimentos confortables y decorativos.</p>
BASF Construction Chemicals España, S.L. L'Hospitalet de Llobregat	Revestimiento epoxi autonivelante libre de disolventes y de muy bajas emisiones (conforme a AgBB) para la realización de pavimentos.

Tabla 4: Empleo de materiales sostenibles en empresas

Referencias

Adnan, E., Bernd, K., & Ehsan, R. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción*, 29, 234–254. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732014000300002>

Aguilera, M. L., & del Río Merino, M. (2013). Escayola aditivada con residuos agrícolas: cáscara de arroz y cáscara triturada. In *Actas del I Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Ecoeficientes* [Archivo ordenador] (pp. 118–127). Sevilla 20, 21 y 22 de mayo.



- Alba, M. D., Marrero, M., Leiva, C., Montes, M. V., & Vilches, L. (2012). Empleo de paneles compuestos por subproductos de centrales térmicas en fachadas trasdosadas. *Informes de La Construcción*, 64(526), 179–190. <https://doi.org/10.3989/ic.10.042>
- Aliabdo, A. A., Abd-Elmoaty, A. E. M., & Hassan, H. H. (2014). Utilization of crushed clay brick in concrete industry. *Alexandria Engineering Journal*, 53(1), 151–168. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.12.003>
- Andr, S., Li, O., Dolores, M., & Ur, V. (2016). La aportación de los materiales de construcción a la sostenibilidad de la edificación. *Revista Europea de Investigación En Arquitectura*, 5, 9–22.
- Andreola, F., Barbieri, L., Lancellotti, I., Pozzi, P. (2005). Reciclado de residuos industriales en la fabricación de ladrillos de construcción. 1ra Parte. *Materiales de Construcción*, 55(280), 5–16.
- Assefa, G., & Ambler, C. (2017). To demolish or not to demolish : Life cycle consideration of repurposing buildings. *Sustainable Cities and Society*, 28, 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.011>
- Baglivo, C., & Congedo, P. M. (2016). High performance precast external walls for cold climate by a multi-criteria methodology. *Energy*, 115, 561–576. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.018>
- Başpınar, M. S., & Kahraman, E. (2011). Modifications in the properties of gypsum construction element via addition of expanded macroporous silica granules. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3327–3333.
- Bedoya, C., & Dzul, L. (2015). Concrete with recycled aggregates as urban sustainability project. El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana. *Revista Ingeniería de Construcción*, 30, 99–108.
- Cabo Laguna, M. (2011). Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción. Universidad de Navarra.
- Cabrera Montes, F., Herrera Valencia, J., Pesantez Cedeño, G., Cedeño, J., Santos, E., & Aguirre, C. (2013). Dosificación de mortero con cáscara de arroz y comprobación de adherencia en paredes de bloque de concreto. *Yahana*, 2(1), 187–194.
- Cherki, A. B., Remy, B., Khabbazi, A., Jannot, Y., & Baillis, D. (2014). Experimental thermal properties characterization of insulating cork–gypsum composite. *Construction and Building Materials*, 54, 202–209.
- Concepción, M., & Menor, P. (2015). Materiales sostenibles. Refugio de corcho como árido ligero en piezas de hormigón para fábrica de albañilería. Universidad de Extremadura.

Costa Del Pozo, A. (2012). Estudio de hormigones y morteros aligerados con agregados de plástico reciclado como árido y carga en la mezcla. Universidad Politécnica de Cataluña.

De Melo, A. B., & Silva, E. P. (2013). Lightweight concrete blocks with EVA recycled aggregate: a contribution to the thermal efficiency of building external walls. *Materiales de Construcción*, 63(312), 479–495. <https://doi.org/10.3989/mc.2013.05912>

del Río, M., Izquierdo, P., Salto, I., & Santa Cruz, J. (2010). La regulación jurídica de los residuos de construcción demolición (RCD) en España. El caso de la Comunidad de Madrid. *Informes de La Construcción*, 62(517), 81–86. <https://doi.org/10.3989/ic.08.059>

del Río Merino, M., Astorqui, J. S. C., & Olivares, F. H. (2005). New prefabricated elements of lightened plaster used for partitions and extrados. *Construction and Building Materials*, 261, 33–44.

del Río Merino, M., Domínguez, J. D., & Hernández Olivares, F. (1998). Escayola aligerada con sólidos celulares. *Informes de La Construcción*, 50(458), 43–60.

del Río Merino, M., García, C. P., & Piñeiro, S. R. (2013). Refuerzo de las escayolas mediante fibras de lana mineral procedentes del reciclaje de RCD. In *Actas del I Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Ecoeficientes [Archivo ordenador]* (pp. 136–145). Sevilla 20, 21 y 22 de mayo.

del Río Merino, M., Hernández Olivares, F., & Comino Almenara, P. (2004). Estado del arte sobre el comportamiento físico-mecánico de la escayola reforzada con fibras de vidrio. *Informes de La Construcción*, 56(493), 33–37.

del Río Merino, M., Izquierdo, P., Salto, I., & Santa Cruz, J. (2010). La regulación jurídica de los residuos de construcción demolición (RCD) en España . El caso de la Comunidad de Madrid. *Informes de La Construcción*, 62(517), 81–86. <https://doi.org/10.3989/ic.08.059>

Dixon, P. G., Ahvenainen, P., Aijazi, A. N., Chen, S. H., Lin, S., Augusciak, P. K., ... Gibson, L. J. (2015). Comparison of the structure and flexural properties of Moso, Guadua and Tre Gai bamboo. *Construction and Building Materials*, 90, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.042>

Espiga Lisbona García, L. (2016). *Materiales fotocatalíticos y sus aplicaciones en construcción*. Universidad Politécnica de Cataluña.

European Commission. (2013). Eurostat. Retrieved from http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics

European Environmental Agency (EEA). (2002). Review of Selected Waste Streams. (European Environmental Agency, Ed.). Copenhagen, Denmark.

Ferrer Gracia, M. J., & Spairani Berrio, S. (2009). Análisis de la valoración de la sostenibilidad de los materiales de construcción. In SCIV (pp. 405–416). Barcelona.

García-Erviti, F., Armengot-Paradinas, J., & Ramírez-Pacheco, G. (2015). El análisis del coste del ciclo de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible . Estado de la cuestión. Informes de La Construcción, 67(537), e056.

Garz, E., & Sánchez-Soto, P. J. (2013). Planificación de recogida y flujo de residuos sólidos (de construcción y demolición, hormigón, cerámica y otros) mediante la utilización de una herramienta informatizada para su gestión sostenible. Cerámica Y Vidrio, Septiembre.

Garzón, E., & Sánchez-Soto, P. J. (2013). Planificación de recogida y flujo de residuos sólidos mediante la utilización de una herramienta informatizada para su gestión sostenible. Boletín de La Sociedad Española de Cerámica Y Vidrio, Sept-Oct, 5–15.

Gatani, M. P. (2000). Ladrillos de suelo-cemento: Mampuesto tradicional en base a un material sostenible. Informes de La Construcción, 51(466), 35–47.

Gómez Meijide, B. (2015). Aplicación sostenible de residuos de construcción y demolición como árido reciclado de mezclas bituminosas en frío. Unieversidad Da Coruña.

González Madariaga, F. J., & Lloveras Macia, J. (2008). Mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola para su uso en la construcción. Informes de La Construcción, 60(509), 35–43. <https://doi.org/10.3989/ic.2008.v60.i509.589>

Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., & Heinz, M. (2015). How Circular is the Global Economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005. Journal of Industrial Ecology, 19(5), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1111/jiec.12244>

Hendriks, C. F., & Pietersen, H. S. (2000). Sustainable Raw Materials: Construction and Demolition Waste. Cachan Cedex, France: RILEM Publication.

Huedo, P., & López-mesa, B. (2013). Revisión de herramientas de asistencia en la selección de soluciones constructivas sostenibles de edificación. Informes de La Construcción, 65(529), 77–88. <https://doi.org/10.3989/ic.11.048>

Huedo, P., Mulet, E., & López-mesa, B. (2016). A model for the sustainable selection of building envelope assemblies. Environmental Impact Assessment Review, 57, 63–77. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.11.005>



Informe Symonds & Ass.

Jamekhorshid, A., Sadrameli, S. M., Barzin, R., & Farid, M. M. (2017). Composite of wood-plastic and micro-encapsulated phase change material (MEPCM) used for thermal energy storage. *Applied Thermal Engineering*, 112, 82–88.

Jamshidi, A., Kurumisawa, K., Nawa, T., & Igarashi, T. (2016). Performance of pavements incorporating waste glass : The current state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 211–236. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.012>

Jefatura del Estado. Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. (2013). España.

Jones, K., Stegemann, J., Sykes, J., & Winslow, P. (2016). Adoption of unconventional approaches in construction : The case of cross-laminated timber. *Construction and Building Materials*, 125, 690–702. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.088>

Knapic, S., Oliveira, V., Saporiti Machado, J., & Pereira, H. (2016). Cork as a building material : a review. *Eur. J. Wood Prod*, 74, 775–791. <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1076-4>

Lett, L. A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Micrología*, 46(1), 1–2. [https://doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70039-2](https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70039-2)

Lockrey, S., Nguyen, H., Crossin, E., & Verghese, K. (2016). Recycling the construction and demolition waste in Vietnam : opportunities and challenges in practice. *Journal of Cleaner Production*, 133, 757–766. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.175>

López-Mesa, B. (2009). Comparison of environmental impacts of building structures with in situ cast floors and with precast concrete floors. *Building and Environment*, 44(4), 669–712. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.017>

Luna, P., Lizarazo-Marriaga, J., & Mariño, A. (2016). Guadua angustifolia bamboo fibers as reinforcement of polymeric matrices: An exploratory study. *Construction and Building Materials*, 116, 93–97. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.139>

Marrero, M., Martínez-Escobar, L., Mercader-Moyano, P., & Leiva, C. (2013). Minimización del impacto ambiental en la ejecución de fachadas mediante el empleo de materiales reciclados. *Informes de La Construcción*, 65(529), 89–97. <https://doi.org/10.3989/ic.11.034>

Marrero, M., Solís-Guzmán, J., Molero Alonso, B., Osuna-Rodriguez, M., & Ramirez-de-Arellano, A. (2011). Demolition Waste Management in Spanish Legislation. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 5(1), 162–173. <https://doi.org/10.2174/1874836801105010162>



Martínez-molina, A., Tort-ausina, I., Cho, S., & Vivancos, J. (2016). Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 70–85. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.018>

Medina, C., Alegre, F. J., & Asensio, E. (2015). Assessment of Construction and Demolition Waste plant management in Spain : in pursuit of sustainability and eco-efficiency. *Journal of Cleaner Production Journal*, 90, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.067>

Mercader-Moyano, P. (2012). Cuantificación de los recursos materiales consumidos en la ejecución de la cimentación. *Informes de La Construcción*, 62(514), 125–132. <https://doi.org/10.3989/ic.09.000>

Miličević, I., Bjegović, D., & Siddique, R. (2015). Experimental research of concrete floor blocks with crushed bricks and tiles aggregate. *Construction and Building Materials*, 94, 775–783. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.163>

Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 105/2008 por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. (2008). España.

Ministerio de la Presidencia. 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. (2013). España.

Morales-conde, M. J., Rodríguez-liñán, C., & Pedreño-rojas, M. A. (2016). Physical and mechanical properties of wood-gypsum composites from demolition material in rehabilitation works. *CONSTRUCTION & BUILDING MATERIALS*, 114, 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.137>

Neila, F. J., Bedoya, C., Acha, C., Olivieri, F., & Barbero, M. (2008). Las cubiertas ecológicas de tercera generación : un nuevo material constructivo. *Informes de La Construcción*, 60, 15–24.

Papadopoulos, a. M. (2005). State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.05.006>

Parlamento y Consejo Europeo. Directiva 2008/98/CE sobre los residuos. (2009). Retrieved from http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/

Parres, F., Crespo-Amorós, J. E., & Nadal-Gisbert, A. (2009). Mechanical properties analysis of plaster reinforced with fiber and microfiber obtained from shredded tires. *Construction and Building Materials*, 23(10), 3182–3188.

Pascual Menéndez, J. M. (2008). El bambú, una alternativa sostenible en la solución de la vivienda social. *Ciencia En Su PC*, 1, 89–99.

Poon, C. S., & Chan, D. (2006). Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick. *Construction and Building Materials*, 20(8), 569–577. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.044>

Pozo, J. M. M., Valdés, A. J., Aguado, P. J., Guerra, M. I., & Medina, C. (2011). Estado actual de la gestión de residuos de construcción y demolición : limitaciones. *Informes de La Construcción*, 63(521), 89–95. <https://doi.org/10.3989/ic.09.038>

Ramage, M. H., Burrigger, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., ... Scherman, O. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 33–359.

Rocha-tamayo, E. (2011). Construcciones sostenibles : materiales , certificaciones y LCA. *Nodo*, 6, 99–116.

Rodriguez, N., Dill, W. O., Bidegaray, P., & Botero, R. (2006). Utilización del bambú (*guadua angustifolia kunth.*) (*bambusoideae: gramineae*), como una alternativa sostenible de construcción de viviendas en la zona atlántica de Costa Rica. *Tierra Tropical*, 2(1), 77–85.

Rosas Rivera, A. A. (2016). La lana de ovino como material aislante: natural, renovable y sostenible. *Universidad Politécnica de Cataluña*.

Roux Gutiérrez, R. S., & Sánchez Gallegos, D. P. (2015). Construcción sustentable, análisis de retraso térmico a bloques de tierra comprimidos. *Revista de La Facultad de Arquitectura de La Universidad Autónoma de Nuevo León*, IX, 59–71.

Ruan, S., & Unluer, C. (2016). Comparative life cycle assessment of reactive MgO and Portland cement production. *Journal of Cleaner Production*, 137, 258–273. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.071>

Sadek, D. M. (2012). Physico-mechanical properties of solid cement bricks containing recycled aggregates. *Journal of Advanced Research*, 3(3), 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2011.08.001>

Sáez Villoria, P., del Río Merino, M., & et al. (2011). Construction and demolition waste generation and recycling rates in Europe. Legal measures to improve their management. In 4th International Congress on Energy and environment engineering and management. Mérida.

Secretaria de Estado de Cambio Climático. Plan Nacional Integrado de Residuos para el periodo 2008–2015, Pub. L. No. BOE, no 49 (2009). España: BOE, no 49.



- Serna, Á., del Río, M., Palomo, J. G., & González, M. (2012). Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres. *Construction and Building Materials*, 35, 633–641.
- Shah, D. U., Bock, M. C. D., Mulligan, H., & Ramage, M. H. (2016). Thermal conductivity of engineered bamboo composites. *Journal of Materials Science*, 51(6), 2991–3002. <https://doi.org/10.1007/s10853-015-9610-z>
- Soniego, P., Hestin, M., & Mimid, S. (2010). Management of construction and demolition waste in the EU. In *European Stakeholders Workshop*. Brussels: Bio intelligence service.
- Sousa, J. G. G., Bauer, E., & Sposto, R. M. (2003). Empleo de residuos de la construcción civil como áridos reciclados. Producción de bloques de hormigón. *Materiales de Construcción*, 53, 271–272.
- Sugrãñez Pérez, R. (2015). Nuevos materiales de construcción con propiedades auto-limpiantes y descontaminantes. Universidad de Córdoba.
- Teixeira, D. E., Bastos, R. P., & Almeida, S. A. D. O. (2015). CHARACTERIZATION OF GLUED LAMINATED PANELS PRODUCED WITH STRIPS OF BAMBOO (*Guadua magna*) NATIVE FROM THE BRAZILIAN CERRADO. *Cerne*, 21(4), 595–600. <https://doi.org/10.1590/01047760201521041893>
- Valdés, A. J., Martínez, C. M., Romero, M. I. G., García, B. L., Pozo, J. M. M., & Vegas, a T. (2010). Re-use of construction and demolition residues and industrial wastes for the elaboration or recycled eco-efficient concretes. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(1), 25–34. <https://doi.org/10.5424/sjar/2010081-1140>
- Wattanasiriwech, D., Saiton, A., & Wattanasiriwech, S. (2009). Paving blocks from ceramic tile production waste. *Journal of Cleaner Production*, 17(18), 1663–1668. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.08.008>
- Zavala Arteaga Santa, G. J. (2015). Diseño y desarrollo experimental de materiales de construcción utilizando plástico reciclado.
- Zhao, X., Pan, W., & Lu, W. (2016). Business model innovation for delivering zero carbon buildings. *Sustainable Cities and Society*, 27, 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.013>