

ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA A LA ARQUITECTURA

Espejismo o Realidad



Trabajo Fin de Grado
Autor: Andreu Climent Salvador
Tutora: Yolanda Hernández Navarro

ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA A LA ARQUITECTURA

Espejismo o Realidad

Trabajo Fin de Grado
Autor: Andreu Climent Salvador
Tutora: Yolanda Hernández Navarro

RESUMEN

Aunque la sociedad actual parece avanzar lentamente hacia un mundo más sostenible y, para ello, los sistemas de producción evolucionan y se adaptan, sigue dependiendo del abastecimiento de recursos naturales, cada vez más escasos. Por lo tanto, el modelo consumista regido por la tríada comprar, usar y tirar continúa dominando el escenario político-económico mundial.

Ante esta situación de desequilibrio entre el consumo de recursos naturales y la producción de desechos, en los últimos años se está desarrollando un nuevo modelo económico de carácter cíclico, llamado economía circular, que pretende optimizar la vida de cada material reduciendo el impacto medioambiental que genera el proceso de producción de los mismos.

Partiendo de que en la arquitectura encontramos el reflejo de la sociedad que la produce, se considera que el sector de la construcción debe tomar parte del proceso evolutivo. Es por ello que en este trabajo se analiza la aplicabilidad del modelo circular al ámbito arquitectónico, a través del análisis de experiencias europeas para concluir su transposición como método constructivo al escenario español. La arquitectura del futuro ya está construyendo sus cimientos.

PALABRAS CLAVE

Sostenibilidad – Cradle to Cradle – Reciclaje – Reutilización – Economía circular

RESUM

Encara que la societat actual pareix avançar lentament cap a un món més sostenible i, per a això, els sistemes de producció evolucionen i s'adapten, segueix depenent de l'abastiment de recursos naturals, cada cop més escassos. Llavors, el model consumista encapçalat per la tríada comprar, consumir i tirar continua dominant l'escenari polític-econòmic mundial.

Davant la situació de desequilibri entre el consum de recursos naturals i la producció de deixalles, en els últims anys s'està desenvolupant un nou model econòmic de caràcter cíclic, l'economia circular, que busca optimitzar la vida de cada material reduint l'impacte mediambiental que genera el procés de producció d'aquests.

Partint de què en l'arquitectura trobem el reflex de la societat que la produeix, es considera que el sector de la construcció ha de prendre part del procés evolutiu. És per això que en aquest treball s'analitza l'aplicabilitat del model circular en l'àmbit arquitectònic, a través de l'anàlisi d'experiències europees per concloure la seua transposició com a mètode constructiu a l'escenari espanyol. L'arquitectura del futur ja està construint els seus fonaments.

PARAULES CLAU

Sostenibilitat – Cradle to Cradle – Reciclatge – Reutilització – Economia circular

ABSTRACT

Nowadays society seems to be slowly moving towards a more sustainable world and due to that, production systems are evolving and adapting themselves. However, it still depends on the increasingly limited supply of natural resources. Therefore, the consumerist model governed by the buy, use and discard triad keeps dominating the global political-economic scenario.

In the situation of imbalance between the consumption of natural resources and the production of waste, a new economic model of cyclical shape called circular economy, is being developed in the last few years. This model looks for the optimization of the life of each material by reducing the environmental impact generated by its production process.

Starting from the fact that in the architecture field is reflected the society which produces it, it is considered that the building industry must take part in the evolutionary process. It is for this reason that this work analyzes the applicability of the circular model into the architectural field –through the analysis of European experiences, to conclude its transposition as a constructive method into the Spanish scenario. Tomorrow's architecture is already building its foundations.

KEYWORDS

Sustainability – Cradle to Cradle – Recycling – Reuse – Circular Economy

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	9
1.1.	OBJETIVOS	9
1.2.	METODOLOGÍA	10
1.3.	ANTECEDENTES	12
	1.3.1. La economía lineal como sistema de gestión convencional de los recursos en las sociedades capitalistas	
	1.3.2. Repercusión ambiental y reacción social: las 4 erres	
	1.3.3. Nuevas iniciativas en la gestión de recursos: economía circular	
2.	LA ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA A LA ARQUITECTURA	22
2.1.	ARQUITECTURA CIRCULAR: DEFINICIÓN Y PRINCIPIOS	22
2.2.	SITUACIÓN ACTUAL EN EUROPA	24
2.3.	SITUACIÓN ACTUAL EN ESPAÑA	29
3.	IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE CASOS	32
3.1.	CIRCULAR BUILDING	32
3.2.	ICEHOUSE	37
3.3.	MICROHOUSE	40
3.4.	DASHILAR PAVILION	42
3.5.	FOUNTAINBRIDGE COMMUNITY PAVILION	44
4.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	46
	BIBLIOGRAFÍA	50
	ÍNDICE DE IMÁGENES	54
	ANEXO. ENTREVISTA A MIREN LEÓN	56

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo es verificar la aplicabilidad de la economía circular en el ámbito de la arquitectura, para lo que se plantean metas más específicas. Primero, evaluar las ventajas de la economía circular frente al sistema convencional de gestión de recursos, la economía lineal, reconociendo los principios y metodologías del nuevo sistema.

Después, estudiar la situación actual global de esta nueva corriente para conocer sus principios, cuáles han sido los avances y qué iniciativas se han tomado hasta el momento para más tarde examinar su evolución en el entorno de la arquitectura.

El siguiente propósito será analizar la aplicación de la economía circular en el ámbito de la arquitectura en cuanto a procesos constructivos y sistemas de montaje empleados en casos reales y conocer sus límites.

Finalmente se tratará de reconocer unos principios básicos y una metodología para la "Arquitectura Circular" con el fin de cumplir con el objetivo principal.

1.2. METODOLOGÍA

Tras haber vivido una temporada en la capital chilena y haber visitado el pequeño pueblo de Chanco y su Museo de la Reconstrucción, un edificio fuertemente dañado por el terremoto que asedió la costa chilena en 2010, creció mi interés por la construcción con materiales reutilizados. Pero tras un período de indagación acerca de sostenibilidad, materiales reciclados y reutilizados y el respeto con el medio ambiente, nació una pregunta: ¿hasta dónde se podría llegar con estos conceptos?. Y bien, la respuesta estaba en la denominada economía circular que se abordará desde el punto de vista de la arquitectura.

Para la primera aproximación al tema y con el objeto de conocer a fondo en qué consiste la economía circular, se hace una búsqueda genérica en la web y en diferentes bibliotecas, de la que destaca el libro llamado *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*, webs como la Fundación EllenMcArthur o la de la Comisión Europea y vídeos como *TEDxLoodusele - Ken Webster - Circular economy*, información muy valiosa para poder reconocer los principios, objetivos y ventajas de la economía circular frente a la economía lineal.

Una vez está claro el concepto, se busca conocer la situación actual de la economía circular en la sociedad para lo que se centra el estudio en webs como la de la Comisión Europea o la del MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente) para más tarde enfocar la investigación en su relación con la arquitectura y los avances conseguidos en este ámbito. Para ello, se hace una búsqueda en la web, ya que no existe todavía bibliografía específica acerca de economía circular y arquitectura, mediante la que se encuentra una serie de artículos de la Fundación Arquia, como “La arquitectura en la economía circular. Cómo diseñar de manera circular” o “La nueva arquitectura sostenible: La economía circular”, ambos escritos por la arquitecta especializada en diseño sostenible y eficiencia energética, Miren León, a la que también se entrevista para conocer de primera mano el concepto de la economía circular y su relación con la arquitectura desde el punto de vista de una profesional (ver Anexo). A raíz de estos artículos, se conocen los proyectos arquitectónicos Circular Building y ICEhouse, dos pilares muy importantes en este trabajo de cara al conocimiento de la economía circular aplicada a la arquitectura construida. Además, también se buscan empresas que fomenten el uso de materiales “circulares”, las cuales se encuentran a partir de la web del *Cradle to Cradle Products Innovation Institute*, donde se puede descubrir productos que aplican, en mayor o menor medida, los principios de la economía circular y las empresas que los producen. Ahí se ubican algunas emprendedoras en el sector como las europeas Desso, Fatra o Bundles, que ofrecen alquiler de productos reciclables y reutilizables. También se encuentran en la web iniciativas como Oostkaart o Matmap, encargadas de promover la compraventa de materiales para la construcción para ser reutilizados, apoyando así la economía circular.

Una vez se conoce este nuevo modelo económico, su relación con la arquitectura y su situación actual, el último paso a recorrer es el análisis de casos reales. Para ello, primero se investigará la razón de ser de cada proyecto y su implantación. En segundo lugar, se hará un análisis del sistema constructivo, el proceso de construcción y los materiales usados para cada parte del edificio y, por último, se hará una pequeña reflexión sobre los resultados obtenidos.

Para el estudio del Circular Building, la gran mayoría de la información se extrae de la web de ARUP, la empresa encargada de su diseño y construcción, donde se puede encontrar toda la información detallada del proyecto. En cuanto al ICEhouse, se visita la web personal de William

McDonough, arquitecto y autor del edificio, y la página web de su estudio, *William McDonough + Partners*. Respecto a los últimos casos, *MicroHouse*, *Dashilar Pavilion* y *FountainBridge Community Pavilion*, toda la información se extrae de la plataforma WikiHouse, donde se puede encontrar todas las aclaraciones necesarias acerca de los proyectos relacionados con ella.

Realizada esta fase de indagación y análisis se procesa toda la información, se cruzan datos, se discriminan aquellos aspectos irrelevantes y se organiza el conocimiento adquirido en base a los objetivos establecidos para finalmente llegar a determinadas conclusiones.

1.3. ANTECEDENTES

1.3.1. La economía lineal como sistema de gestión convencional de los recursos en las sociedades capitalistas.

Desde la Revolución industrial el sistema económico implantado en todo el mundo y especialmente en los países más desarrollados es el conocido como “Economía Lineal”. Un sistema basado en la tríada comprar, usar y tirar, reflejo de una época en la que los recursos, la energía y el crédito parecían ser ilimitados y fáciles de obtener, una época en la que no había conciencia de las graves consecuencias medioambientales que este sistema podría llegar a ocasionar.

Sus principios son la extracción de materia prima, la producción y el consumo, lo que hace que solo funcione en una dirección, terminando cuando el consumidor desecha lo que no necesita o ya está obsoleto. Podría ser más larga o más corta, pero cada material solo tiene una “vida”. Así se generan cantidades alarmantes de residuos y desechos en todo el mundo. En España, la cifra asciende a las 110.518.494 toneladas en 2014, un 4,43% de toda la Unión Europea, de las que solamente el 33,3% fueron recicladas. Al año siguiente se produjeron, de media, 434 Kg de basura por persona en España y 476 en la UE, tratados de la siguiente manera:

2015	% Reciclado	% Incinerado	% Compostaje	% Vertederos
Unión Europea	28,57	26,47	16,39	25,63
España	16,82	11,52	16,36	55,07

Figura 1

Como se puede observar en la tabla, especialmente en España, más de la mitad de los residuos generados por las personas son desechados y por lo tanto inservibles, mientras que tan solo un 16,82 % de ellos, son objeto de procesos de reciclaje. Estas enormes cantidades de basura son un importante problema medioambiental que en algunas ciudades del mundo produce muchas enfermedades y graves problemas de salubridad para sus habitantes.

Pero esto es únicamente el resultado final del proceso. El gran problema nace realmente durante la producción; casi el 70% de los residuos se generan desde que se extrae la materia prima hasta que el producto llega a manos del consumidor, de los cuales, gran parte son producidos para conseguir la energía necesaria para este proceso.¹

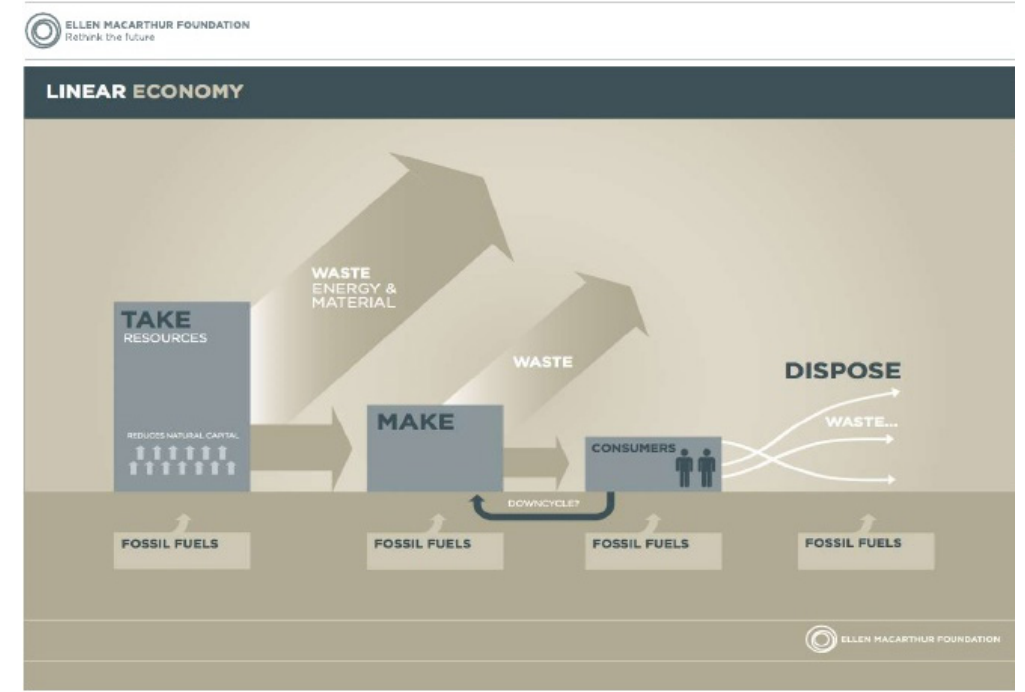


Figura 2

¹ WEBSTER, Ken [TEDx Talks]. (2012, enero 30). TEDxLoodusele – Ken Webster – Circular economy [Archivo de vídeo]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=mvQEBB3ldZM&t=508s>

1.3.2. Repercusión ambiental y reacción social: las 4 erres.

El ritmo que lleva el sistema productivo a nivel mundial es frenético y devastador; ya se está hablando y avisando del problema desde hace mucho tiempo, pero se necesita de una solución rápida y eficaz. La cantidad de dióxido de carbono que hay en la atmósfera ha aumentado en un 30% desde la Revolución industrial, lo que ha provocado la subida de más de un grado de la temperatura global. Parece que sea un cambio insignificante, pero esto supone importantes consecuencias; los polos se derriten y en 100 años el nivel del mar ha subido 17cm, a este ritmo, en 25 años podría subir otro grado más.

Predicciones de Naciones Unidas hablan de entre 50 y 200 millones de personas desplazadas a causa del cambio climático para el año 2050. Además, se producen 7 millones de muertes al año a causa de la contaminación atmosférica, el 12% de todos los fallecimientos y, dentro de 25 años, el 5% de los animales podrían extinguirse.²

Los duros golpes que esto supone para el medioambiente y el planeta ha generado, desde hace muchos años, la intención de frenar y reducir el ritmo de este proceso que no puede ser infinito. Por eso, se ha intentado concienciar a las personas sobre el reciclaje de forma continua e insistente. Así nació el concepto de las 3 erres, “Reducir, Reutilizar y Reciclar”, al que más tarde se unió una 4ª, “Recuperar”. A continuación, una pequeña aclaración de los conceptos:

Reducir

- Consiste en evitar el uso de productos o materiales que realmente no son necesarios.

Reutilizar

- “Volver a utilizar algo, bien con la función que desempeñaba anteriormente o con otros fines”³

- “Utilizar de nuevo algo, a veces con funciones diferentes a las originales”⁴

Reciclar

- “Someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar”³

- “Someter un material de desecho a un proceso de transformación para reutilizarlo”⁴

- “Reciclar es someter un material usado o un desperdicio a un proceso en el cual se recupera, total o parcialmente”⁵

²WHYMAPS STUDIO [COTEC]. (2017, marzo 8). *Economía Circular: descubre lo que es antes de que reviente el Planeta. #Economía-Circular* [Archivo de vídeo]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Lc4-2cVKxp0>

³Real Academia Española de la Lengua (RAE)(2014), *Diccionario de la lengua española* [base de datos en línea], <http://dle.rae.es/?i=d=WMGvvdn> [fecha de consulta: 23 de agosto de 2017]

⁴Larousse (2016), *Gran Diccionario de la Lengua Española* [base de datos en línea] <https://www.larousse.es/> [fecha de consulta: 23 de agosto de 2017]

⁵Significados (2013 - 2017), *Significado de reciclar* [base de datos en línea] <https://www.significados.com/reciclar/> [fecha de consulta: 23 de agosto de 2017]

Recuperar

- “Volver a poner en servicio lo que ya estaba inservible”³

- Está más relacionado con los procesos industriales y consiste en volver a usar materiales o elementos que sirvan como materias primas.



Figura 3

Es una muy buena iniciativa aplicar estos conceptos en el día a día y reducir la contaminación y los residuos, tanto por parte de las empresas como de los consumidores. Pero esto no soluciona el problema, tan solo consigue retrasarlo un poco y ralentizar el ciclo destructivo que igualmente algún día se convertiría en una situación insostenible para el planeta. Se siguen explotando los recursos naturales del planeta, se sigue produciendo a un ritmo frenético a la vez que se contamina y el consumo compulsivo no cesa. Como dijo uno de los grandes genios de la historia:

“El mundo no puede evolucionar más allá de su actual situación de crisis utilizando el mismo pensamiento que creó esta situación”⁶

De hecho, este sistema sólo aplica soluciones al final del proceso, es decir, lo que se consigue es retrasar el mismo final, como así se dice en el libro *Cradle to Cradle* que se presentará más adelante:

“Utilizamos soluciones de tipo “de final de tubo” para reducir al mínimo las disrupciones del sistema. Pero estamos descubriendo que las iniciativas que simplemente pretenden mejorar lo que estamos haciendo actualmente tienen resultados limitados. De hecho, podría resultar imposible que fuera ecológicamente sostenible lo que estamos haciendo actualmente.”⁷

⁶ Frase célebre de Albert Einstein

⁷BRAUGART, Michael / McDONOUGH, William, *Cradle to Cradle (De la Cuna a la Cuna): rediseñando la forma en que hacemos las cosas*, McGraw-Hill Companies, Madrid, 2005

1.3.3. Nuevas iniciativas en la gestión de recursos: economía circular.

El mundo tecnológico actual fue creado a partir de la Revolución Industrial de siglo XIX, pero respecto a su productividad y prosperidad, la economía moderna está repleta de errores y fallos que no fueron previstos en aquel entonces. Ahora, reducir, reutilizar o reciclar son conceptos que urgen a la gente concienciada con el medio ambiente, hacer más con menos para reducir el impacto, pero los cimientos sobre los que se basa el sistema no fueron bien diseñados.

Alrededor del año 1970, cuando se comenzó a discutir acerca de las problemáticas con los residuos y el medioambiente, nació el término “Cradle to Grave” (de la cuna a la tumba), utilizado como reivindicación para acondicionar mejores lugares donde depositar la basura. Frente a esto, el arquitecto Walter R. Stahel reaccionó con el término “Cradle to Cradle” (de la cuna a la cuna) con la intención de hacer hincapié en que el vertedero debe ser el último recurso y la solución al problema era una economía en bucle o circular.⁸

Más tarde, el químico alemán Michael Braungart y el arquitecto norteamericano William McDonough, recuperaron el concepto del “Cradle to Grave” para hacer referencia a una consideración errónea de la naturaleza como una fuente inagotable de recursos, los cuales acaban destruidos y convertidos en basura inutilizable, un modelo económico que solo tiene un destino posible, la creación de tremendas cantidades de contaminación y residuos. Por lo contrario, ellos plantean un sistema en el que existan dos ciclos, el biológico y el tecnológico. El primero abarcaría todo lo que son productos para el consumo, que contienen nutrientes y materias biodegradables y una vez terminada su vida útil, puedan ser devueltas a la naturaleza. El segundo contendría todo lo que son servicios, formados por “nutrientes tecnológicos” los cuales deberán poder ser desmontados y devueltos al ciclo productivo una y otra vez, infinitamente.

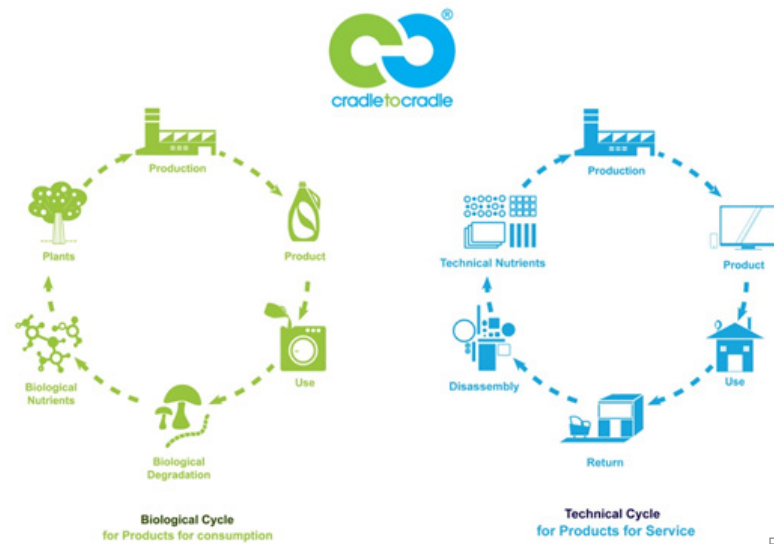


Figura 4

⁸ Magazineitmagazine.net (5 de julio de 2013), *The circular economy: interview with Walter Stahel* [base de datos en línea] <http://www.makingitmagazine.net/?p=6793> [fecha de consulta: 2 de septiembre de 2017]

Ellos son los autores del libro “Cradle to Cradle: Remaking the way we make things” que tiene como objetivo la explicación de las deficiencias del sistema actual frente a las posibilidades de una nueva concepción económica, la economía circular.

El concepto “Cradle to Cradle”, para ellos, nace de la naturaleza, haciendo una comparación con el mismo ciclo de ésta en la que se intenta expresar que cualquier tipo de producto podría ser diseñado con el fin de que sus “residuos” pudieran servir de “alimento” para algún otro producto nuevo cuando su vida útil finalice. Es decir, concebirlas como nutrientes biológicos que circulan constantemente como materias valiosas dentro de un ciclo industrial cerrado en lugar de ser “downcycled” (término que se usa para referirse a una materia que es reciclada para formar parte de algún producto de peor calidad que el anterior). A esto lo denominan “Waste = Food” (basura = alimento), concepto que da nombre a uno de los capítulos del libro Cradle to Cradle.

“[...]La naturaleza actúa según un sistema de nutrientes y metabolismos en el que no existe basura. Un cerezo fabrica muchas flores y frutos para que (tal vez) haya germinación y crecimiento. Por eso el árbol se cubre de flores. Pero las flores extra no son en absoluto inútiles. Caen al suelo, se descomponen, alimentan a varios organismos y microorganismos, y enriquecen la tierra. En todo el mundo, animales y humanos exhalamos dióxido de carbono, que las plantas capturan y utilizan para su propio crecimiento. El nitrógeno residual es transformado en proteínas por microorganismos, animales y plantas. Los caballos comen hierba y producen boñigas, que proporcionan alojamiento y alimentación a las larvas de las moscas. Los principales nutrientes de la Tierra –el carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno– entran en ciclos y son reciclados. Los desechos son alimento. [...]”⁹

Los autores critican insistentemente el concepto de reciclaje tal y como es concebido hoy en día, piensan que sólo sirve para crear productos de inferior calidad y retrasar su condición de basura final. Además, tienen muy claro que la sostenibilidad, como se trabaja en la actualidad, no es suficiente y hay que ir más allá.

“[...] Bueno, realmente no reciclamos productos, ese es el problema, los reciclamos para conseguir otro producto de peor calidad (downcycled products) [...]”⁹

“[...] Si nos fijamos en las botellas de plástico, tienen antimonio, un metal pesado cancerígeno, residuo de una reacción catalítica. Pues podríamos eliminar el antimonio y conseguir un producto de mayor calidad en lugar usarlo para hacer un banco del parque, ensuciarlo con otros químicos y luego quemarlo. [...]”⁹

“[...] Estamos buscando cosas que de verdad se puedan reciclar. Que vuelvan a su condición inicial o se puedan devolver al sistema de producción para formar parte de un producto de mayor calidad (upcycled). [...]”⁹

⁹ BACKLIGHT [Villaggio Vivailsole]. (2013, marzo 17). *Waste=Food* [Archivo de Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=2xhgsKenR5w> [Idioma original inglés, traducido por el autor]

"[...] El objetivo es muy simple y técnico, un mundo delicioso, diverso, seguro, sano y justo con aire limpio, un suelo limpio, agua limpia, energía limpia y económica, equitativa, ecológica y elegantemente disfrutado. [...]"⁹

"[...] Sostenibilidad no es suficiente para nosotros porque si yo te preguntara, "¿Cómo va la relación con tu novia?", y tu me contestaras, "sostenible", entonces te diría, "Oh Grob, lo siento por ti". Si esa es la clave, sostenibilidad, entonces es solo un mínimo, de alguna manera puedes lidiar con eso, es sólo mantenimiento. [...]"⁹

Esta manera innovadora de concebir los procesos de producción es la base de la economía circular en la que todo puede ser devuelto, de una u otra manera, de nuevo al ciclo y dejar de ser un sistema lineal en el que todo tiene un principio y un fin. Para ello, el Cradle to Cradle Products Innovation Institute, ha creado una certificación de productos Cradle to Cradle®. Esta evalúa la seguridad del producto para el medio ambiente y el diseño que tiene de cara a una vida futura. Se centra en el uso de materiales seguros que puedan ser desmontados y reciclados como nutrientes técnicos o desechados como nutrientes biológicos. Además, los materiales usados y el proceso de fabricación de los productos se califican según estas 5 categorías:

Salud del material: garantizar que todos los componentes químicos de los productos estén definidos como positivos y eliminar del proceso y reemplazar cualquier componente que esté clasificado como de riesgo alto o como no clasificable. Esta cualidad se juzga según un conjunto de criterios ambientales y de salud humana.

Reutilización de materiales: se deben poder identificar los flujos de materiales que se pueden reutilizar cuando el producto se recupera después de haber sido usado por el usuario o el cliente. Los materiales se reutilizan como materias primas en el proceso de fabricación (tecnosfera) o como nutrientes biológicos (biosfera).

Uso de energías renovables: uno de los tres principios más importantes de Cradle to Cradle es usar la energía solar actual, lo cual significa que ese uso de energía debe ser, en la mayor medida posible, renovable. De esta manera, las empresas garantizan que la mayoría de sus actividades y productos tengan un impacto positivo en el medio ambiente y en la salud humana.

Gestión del agua: las empresas que siguen este camino deben demostrar que están usando los recursos del agua de un modo responsable y eco-eficiente, y que los vertidos de las fábricas a los ríos locales sean lo más limpios posibles.

Responsabilidad social: las empresas deben demostrar que cumplen con los más estrictos principios de responsabilidad en relación a su personal y deberán esforzarse en garantizar que las empresas de su cadena de suministro no estén violando estos principios.

Existen 5 tipos de certificación de los productos: Base, Bronce, Plata, Oro y Platino. Se le adjudican, dependiendo de la calificación que tenga un producto en las 5 categorías anteriores. Esto ayuda a muchas empresas a desarrollar sus productos de manera que cada vez sean menos perjudiciales para el medio ambiente. Además es aplicable a cualquier tipo de empresa, productos de limpieza, telas, maderas, jabones, pinturas carpinterías, moquetas, etc.¹⁰

Un ejemplo fantástico es el panel para acabados exteriores de madera de la empresa estadounidense Bark House. Es el único producto que ha obtenido el certificado platino de Cradle to Cradle. Se trata de unos paneles aplanados, secados al horno y recortados a medida, hechos de corteza de árbol recuperada. Un producto que cumple a la perfección los requisitos impuestos para este certificado.¹¹



Figura 5

Otra pionera en el ámbito es Ellen McArthur, ex-marinera, emprendedora y conocida como la "dama de la economía circular". Fue la impulsora de la Fundación Ellen McArthur, organización benéfica que trabaja en las áreas de la educación, inspirando nuevas generaciones para rediseñar el futuro, los negocios, trabajando en la innovación de las empresas y en la investigación para revolucionar el mundo del diseño.

La economía circular fue introducida a nivel europeo a partir de la influencia ejercida por la fundación, que logró que esta idea fuese aceptada totalmente por la Comisión Europea y las juntas directivas de grandes corporaciones multinacionales. Su visión de la economía circular también distingue entre ciclos técnicos y biológicos y es una economía reparadora y regenerativa, que pretende conseguir que los productos, componentes y recursos en general, mantengan su utilidad y valor en todo momento. Esta consiste en un ciclo continuo de desarrollo positivo y está basada en 3 principios clave:

Preservar y mejorar el capital natural, controlando existencias finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables.

Optimizar el uso de los recursos, rotando productos, componentes y materiales con la máxima utilidad en todo momento, tanto en los ciclos técnicos como en los biológicos.

Fomentar la eficacia del sistema, revelando y eliminando externalidades negativas.

¹⁰ Cradle to Cradle Products Innovation Institute (c2cc)(2017) "Product Certification" [base de datos en línea] <http://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certification><http://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certification> [fecha de consulta: 17 de septiembre de 2017]

¹¹ Bark House (2017) "Products" [base de datos en línea]<https://barkhouse.com/> [fecha de consulta: 17 de septiembre de 2017]

Pero también distingue unas características fundamentales que describen lo que sería una economía estrictamente circular:

Diseñar sin residuos: los residuos no existen cuando los componentes biológicos y técnicos de un producto se diseñan con el fin de adaptarse dentro de un ciclo de materiales biológicos o técnicos, y se diseñan para el desmontaje y la readaptación.

Aumentar la resiliencia por medio de la diversidad: los sistemas diversos con muchas conexiones y escalas son más resilientes a los impactos externos que los sistemas contruidos simplemente para maximizar la eficacia y el rendimiento con resultados de fragilidad extremos.

Trabajar hacia un uso de energía de fuentes renovables: los sistemas deberían tratar de funcionar fundamentalmente a partir de energía renovable, lo que sería posible por los valores reducidos de energía que precisa una economía circular restaurativa.

Pensar en “sistemas”: la capacidad de comprender cómo influyen entre sí las partes dentro de un todo y la relación del todo con las partes, resulta fundamental.

Pensar en cascadas: para los materiales biológicos, la esencia de la creación de valor consiste en la oportunidad de extraer valor adicional de productos y materiales mediante su paso en cascada por otras aplicaciones.¹²

Desde la Fundación Ellen McArthur crearon un esquema explicativo, dibujado por McDonough y Braugart, donde se pueden ver los ciclos biológico y tecnológico y la trayectoria que tomaría cada producto en una economía perfectamente circular.

Un buen ejemplo en el ciclo biológico sería la madera. Después de ser obtenida de un árbol, ésta podría ser usada, por ejemplo, para hacer un revestimiento de chapas de madera. Sus procesos de “cascada” podrían ser, en primer lugar, un aglomerado de partículas de madera y luego un producto hecho con fibras. Finalmente, si durante alguno de estos procesos se le ha añadido algún químico, este se le extrae y puede ser usada para generar biogás o ser devuelta a la biosfera.

Un caso dentro del ciclo tecnológico podría ser una lavadora. En caso de que se estropeará, sería reparada y devuelta a su uso con normalidad. Una vez el primer usuario no la necesitara, podría ser reutilizada por otro. Si termina su vida útil y esta ya no sirve para realizar su función, puede ser devuelta al lugar donde fue fabricada y desmontada para usar sus piezas de nuevo en otra lavadora o bien para ser recicladas para obtener de nuevo los materiales que conformaban esas piezas.

La economía circular es un sistema que engloba a cualquier tipo de industria, desde la que hace caramelos, hasta la que construye grandes aviones. Abarca cualquier parte del proceso, desde el consumidor, hasta la empresa más grande. Incluye cualquier etapa del proceso productivo, desde que se planta un árbol para la extracción de la madera como materia prima, hasta que ésta, después de haber sido reutilizada y reciclada, vuelve al suelo de dónde nació para ser

nutriente de otro nuevo árbol. Puede ser aplicada a la industria textil, alimentaria, informática, robótica, automovilística, etc. Pero el sector en el que se centra este trabajo es el de la arquitectura, un campo en el que todavía hay mucho camino por recorrer.

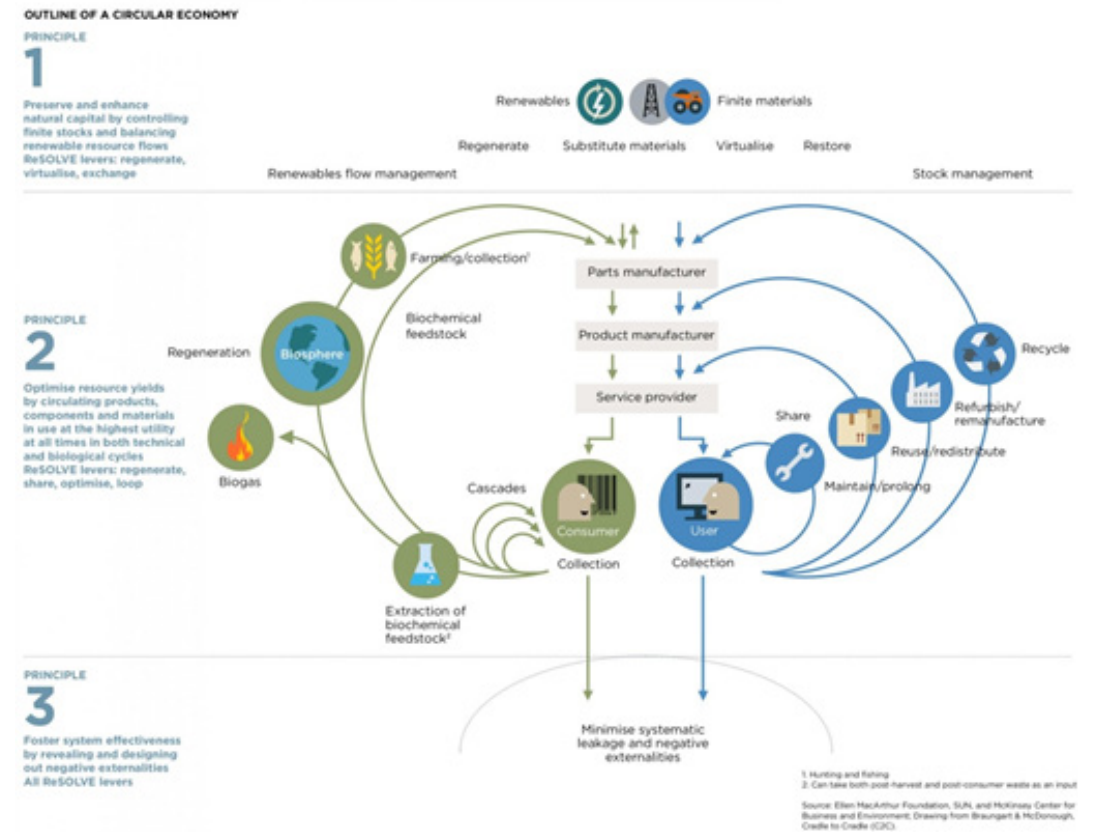


Figura 6

¹² Ellen McArthur Foundation (2017) *Building Blocks of a Circular Economy* [base de datos en línea] <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/building-blocks> [fecha de consulta: 21 de septiembre de 2017]

2. LA ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA A LA ARQUITECTURA

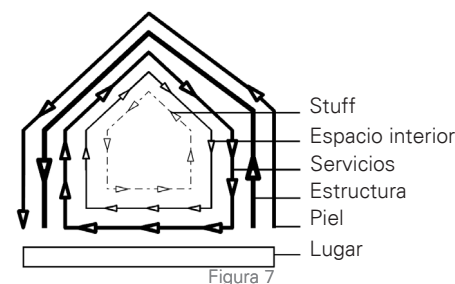
2.1. ARQUITECTURA CIRCULAR: DEFINICIÓN Y PRINCIPIOS

Hace ya mucho tiempo que se lleva escuchando las palabras “sostenibilidad”, “eficiencia energética”, “arquitectura sostenible”, etc, pero la sociedad avanza muy rápido y con ella el sector de la construcción y la arquitectura. Estos conceptos, que hace muy poco tiempo eran novedosos y avanzados, ya quedan demasiado desgastados y usados, muchas veces erróneamente. Una vez los consumos y las emisiones de los edificios son reducidos al mínimo, la siguiente meta es el impacto sobre el medio ambiente que hay más allá del edificio. La energía consumida, los recursos necesarios y los residuos que produce la industria de la construcción también deben ser regulados.

Hoy en día, la mejor manera de actuar de forma sostenible, es aplicando el concepto de la economía circular a la arquitectura, de ahí el título “Arquitectura Circular”, que en otros sectores de la industria ya se utiliza con más frecuencia. Ya no sirve simplemente con reciclar o usar materiales reciclados. La idea es ir más allá y rediseñar las cosas teniendo en cuenta que, al finalizar su vida útil, puedan ser desmontadas o despiezadas y aprovechadas en un futuro. El problema es que se siguen construyendo edificios según unas necesidades para un tiempo indefinido, bonitos y funcionales en el contexto actual, pero no se suele pensar que será del mismo durante toda su vida útil, si será habitado o no, o si cumplirá siempre la misma función. También se usan materiales con una caducidad diferente (madera, acero, hormigón, plásticos, etc) sin tener en cuenta si con el paso de los años el edificio tendrá que ser rehabilitado, rediseñado o demolido y, en caso de serlo, cómo sería ese proceso. Pero entonces surge una pregunta: ¿sería factible diseñar un edificio en el cual todos los componentes que lo forman pudieran ser reutilizados, reciclados o re-fabricados al concluir su vida útil?.

Bien, es un reto complicado, pero se puede trabajar en ello. Para empezar, desde el punto de vista circular, se debe diseñar mediante sistemas funcionales, es decir, teniendo en cuenta la adaptabilidad y modularidad de todas sus partes y también el posible cambio de necesidades a lo largo de su vida. Esto permitiría enfrentarse a cada problema desde diferentes puntos de vista ofreciendo nuevas posibilidades de uso y reutilización. Además, es indiscutible la importancia del diseño de un proyecto, pero también es crucial la implicación de las empresas proveedoras y la relación entre ambas partes, ya que el proceso de proyección debe ir de la mano de la adquisición de los materiales para poder prever su montaje, interacción, adaptación, comportamiento y desmontaje.

Existe un concepto llamado Shearing Layers, pensado por Steward Brand, que organiza los edificios en diferentes grupos: parcela, estructura, envolvente, instalaciones, espacio interior y mobiliario. Evidentemente, la vida de cada una de estas partes puede variar muchísimo, por lo que no pueden ser tratadas igual, pero sí han de estar coordinados entre sí.



Trabajar de esta manera permite mejorar mucho la interacción entre las diferentes partes y conseguir la concordancia y el fácil mantenimiento a lo largo de la vida útil del edificio. Pero todavía no se ha encontrado ningún edificio “perfectamente circular” aunque aplicando estas premisas, considerando temas como el uso de materiales reutilizables, reciclables o re-fabricables, admirando la posibilidad de alquilar como alternativa a la compra o optando por la fabricación seca en taller con ensamblajes mecánicos en lugar de adhesivos in situ para facilitar el desmontaje, entre otras cosas, se puede acercar poco a poco al objetivo.

En la arquitectura convencional se trabaja de manera similar, pero una vez construido, en gran parte de los casos, la única manera de deshacerlo es la demolición. En este caso también existe un trabajo de coherencia entre las partes pero muchas de ellas quedan unidas sin una vuelta atrás, en cambio, en la arquitectura circular, cada elemento es independiente, teniendo la gran ventaja de poder ser desmantelado un edificio y aprovechadas de nuevo todas sus partes. Además, el objetivo es que cada una de ellas sea 100% reutilizable y reciclable según los principios de la economía circular y obviamente, en la medida de lo posible, respetar las máximas medidas de sostenibilidad en cuanto a eficiencia energética. Esto mejoraría cuantiosamente la calidad de un edificio y su respeto en el medio ambiente y con la salud del planeta.

2.2. SITUACIÓN ACTUAL EN EUROPA

En la Unión Europea ya se trabaja desde hace unos pocos años en la implantación de la economía circular. En diciembre de 2015, la Comisión del Parlamento Europeo presentó el comunicado “Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular”, donde se plantea la transición de Europa hacia una economía más circular, en la cual el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, en la que se reduzca al mínimo la generación de residuos y se cree empleo a nivel local.

Más tarde, en enero de 2017 se publica el Informe de la Comisión para el Parlamento Europeo, el Consejo Europeo, el Comité Económico y Social Europeo y el Comité de las Regiones. En él, se recoge una serie de iniciativas clave presentadas durante los años 2015 y 2016 para el apoyo a la economía circular, las cuales cubren desde la producción hasta el consumo, gestión de residuos y uso de materias primas secundarias. Entre muchas otras, se propone varias estrategias relacionadas con la construcción:¹³

Ecodiseño (noviembre de 2016): mientras que las medidas de diseño ecológico se han centrado principalmente en la eficiencia energética, en este plan de trabajo, la Comisión se comprometió a explorar la forma más sistemática de establecer requisitos a productos pertinentes para la economía circular, como durabilidad, reparabilidad, capacidad de actualización, diseño para el desmontaje o información y facilidad de reutilización y reciclaje, características que dependen en gran medida del diseño inicial del producto. También pidió a las organizaciones europeas de normalización que desarrollaran normas genéricas sobre durabilidad, reutilización y reciclabilidad de ciertos productos.

Construcción y demolición (9 de noviembre de 2016): es un protocolo voluntario para toda la industria sobre la gestión de residuos de construcción y demolición. Según su volumen, gran parte de los desechos de la Unión Europea provienen de este sector, sin embargo, su potencial de reutilización y reciclado no se explota en su totalidad por la falta de confianza en su calidad, es por eso que se establece el objetivo de recuperar el 70% en 2020. El propósito es mejorar la identificación, separación de fuentes, recolección de desechos, así como la logística, procesamiento y gestión de calidad para aumentar la confianza en los materiales reciclados y fomentar su uso en el sector de la construcción.

Además del apoyo desde el ámbito institucional, a nivel empresarial también existen algunos casos que aplican la economía circular tanto en sus procesos de producción como en sus productos. A continuación se exponen algunos de los ejemplos encontrados:

Desso, una empresa centrada en la producción de moquetas y césped sintético. Su objetivo es que antes de 2020, todos sus productos, basados en la filosofía Cradle to Cradle, sean retornables, separables por materiales y reciclables en su totalidad.¹⁴

Bundles, situada en Ámsterdam, ofrece alquiler de electrodomésticos. Consiste en pagar una tarifa mensual y ellos se encargan de la instalación y del mantenimiento. Una vez termina su vida útil, se encargan de desmontarlo y reutilizar hasta el 85% de sus piezas para crear nuevos aparatos, proporcionando uno nuevo al cliente.¹⁵

Fatra, una empresa checa situada en Brno, que ofrece una amplia gama de productos de plástico, ya sea tuberías, aislamientos, ventanas, puertas, revestimientos, techos, impermeabilizantes, etc. La ventaja de estos productos es que están mayormente hechos de PVC y son rentables, reciclables y de bajo mantenimiento.¹⁶

Otra iniciativa muy interesante que ayuda a alargar la vida de los materiales, es una página web llamada Oogstkaart, que pone en contacto empresas o particulares que tienen cualquier material relacionado con la construcción en desuso o sobrante, con un usuario que pueda estar interesado en adquirirlo para su uso o reutilización. En la web se pueden encontrar ejemplos localizables en el mapa junto a las características y propiedades específicas de cada material y sus condiciones de venta. Por ejemplo, si se busca un material metálico, se puede escoger esa opción y en el mapa salen las ofertas de ese tipo de material. Luego se puede pinchar en la oferta en la que se esté interesado y ver la ficha con sus especificaciones.¹⁷

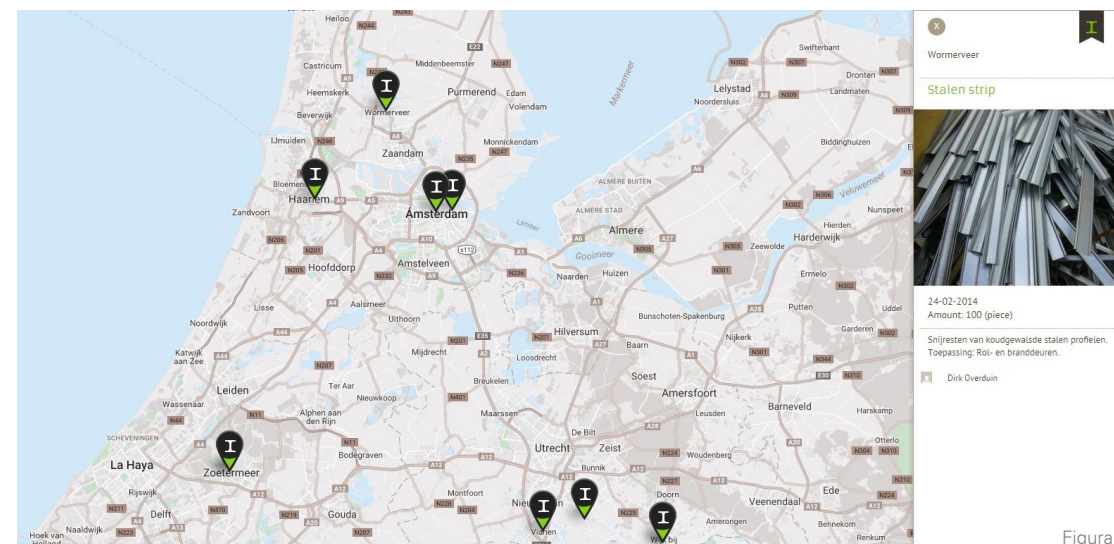


Figura 8

¹³ Comisión Europea. (2017) *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the implementation of the Circular Economy Action Plan* (COM(2017) 33 final). Recuperado de http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/implementation_report.pdf

¹⁴ Bundles (2017) *How it works* [base de datos en línea] <https://www.bundles.nl/en/how-it-works/> [fecha de consulta: 29 de septiembre de 2017]

¹⁵ Bundles (2017) *How it works* [base de datos en línea] <https://www.bundles.nl/en/how-it-works/> [fecha de consulta: 29 de septiembre de 2017]

¹⁶ Fatra (2017) *Product use: Building and construction* [base de datos en línea] <http://www.fatra.cz/usage/stavebnictvi/> [fecha de consulta: 29 de septiembre de 2017]

¹⁷ Oostkaart (2017) *Harvest map* [base de datos en línea] <https://harvestmap.org/oogstkaart/> [fecha de consulta: 2 de Octubre de 2017]

Estos son algunos de los ejemplos que se pueden encontrar en la web:

Se venden listones de madera como residuo de construcción y demolición en Werkendam, Holanda, con diferentes precios por metro, dependiendo de la calidad de madera y de su estado.



Figura 9

Se ofrecen 5000 metros de raíles de una antigua vía de tren en piezas de una longitud máxima de 6 metros en Duurstede, Holanda. El precio indicado en la web es 30€/m. Podrían ser utilizados como elementos estructurales en un proyecto.



Figura 10

Se venden ladrillos usados en la construcción con una compra mínima de 5000 piezas a 0,15€ la pieza. Vienen también las medidas especificadas en la ficha.



Figura 11

Finalmente y directamente relacionado con la arquitectura, se encuentra WikiHouse Foundation, una fundación con sede en Reino Unido. Su propósito es permitir que las empresas, organizaciones y gobiernos trabajen juntos para desarrollar nuevas tecnologías abiertas, estándares e infraestructuras comunes para la vivienda y el desarrollo sostenible. Está siendo desarrollado por arquitectos, diseñadores, ingenieros, fabricantes y constructores, que colaboran para crear las más simples y sostenibles tecnologías de construcción que cualquier persona pueda usar y mejorar. Su sueño es que estas nuevas tecnologías se conviertan en los nuevos estándares de la industria, los ladrillos y mortero de la era digital. Los objetivos principales de la iniciativa son:

Proponer soluciones de diseño para construir viviendas de bajo costo, bajo consumo de energía y alto rendimiento en manos de todos los ciudadanos y negocios.

Usar la digitalización para facilitar que las industrias existentes diseñen, inviertan y fabriquen hogares mejores, más sostenibles y más asequibles.

Desarrollar una nueva industria de vivienda distribuida, que comprenda a muchos ciudadanos, comunidades y pequeñas empresas que desarrollen hogares y vecindarios por sí mismos.

Tienen un modelo llamado WREN que consiste en la generación de una estructura de madera a base de piezas de contrachapado, recortadas con una máquina CNC y pensadas para ser montadas mediante sistemas de machihembrado, como si fuese un gran puzle. Los planos CAD están en la WEB para ser descargados gratuitamente por cualquier persona en cualquier lugar, así como un manual de montaje y archivos con especificaciones. Ya se han construido alrededor de 15 proyectos diferentes basados en los principios de la fundación y con una estructura basada en este modelo. Las ventajas que tienen este tipo de construcciones es que es fácil de montar y desmontar, sus piezas son duraderas y sostenibles, son muy eficientes energéticamente, ya que tienen grandes espesores de aislamiento, tienen elementos modulares como puertas, ventanas o servicios que se pueden intercambiar, son adaptables a casi cualquier tipo de cimentación y son totalmente personalizables.¹⁸

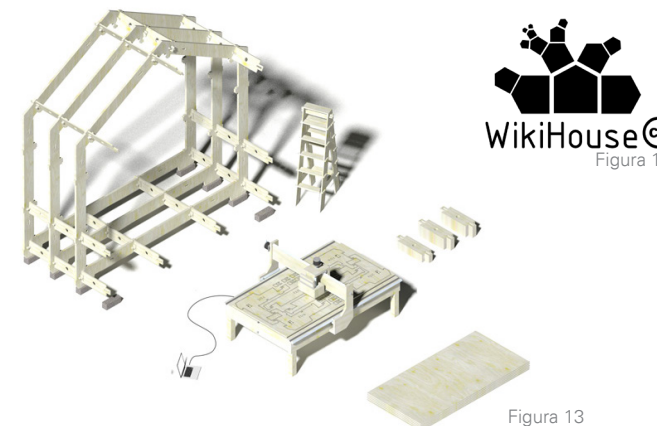


Figura 13

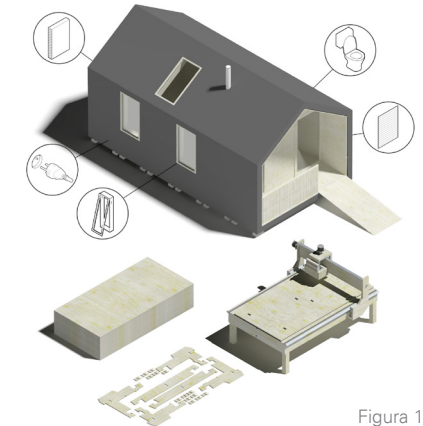


Figura 14

¹⁸ Wikihouse (2017) WREN [base de datos en línea] <https://wikihouse.cc/library/technologies/structure/wren> [fecha de consulta: 2 de Octubre de 2017]

Como se puede ver en Europa, tanto desde las instituciones como a menor escala, la economía circular e iniciativas que siguen los principios de ésta, ya se están poniendo en marcha y existen posibilidades de que poco a poco vaya haciéndose un hueco en el ámbito de la arquitectura. Más tarde se verá el análisis de algunos de los casos experimentales realizados en Europa en los que se aplican los principios de la arquitectura circular, donde se puede ver la manera de relacionar los procesos constructivos con la circularidad de sus componentes. Son ejemplos de ello el Circular Building en Londres, la Ice House, inaugurada en Davos, Suiza, o el modelo de Dot-Architects Pavilion, entre otros.

2.3. SITUACIÓN ACTUAL EN ESPAÑA

El desarrollo y aplicación de la economía circular en España parece no estar actualmente a la altura de otros países europeos, especialmente en el sector de la arquitectura. No obstante, ya se promueve desde el gobierno, instituciones y también a más pequeña escala la posibilidad de evolucionar y generar una transición hacia esta economía más sostenible.

Desde el gobierno central, el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medioambiente, publicó el 18 de septiembre de 2017 en Madrid el "Pacto por una economía circular: el compromiso de los agentes económicos y sociales 2018-2020" suscrito por la ministra Isabel García Tejerina y el comisario europeo de medio ambiente Karmeno Vella con el apoyo de 53 empresas españolas. En este documento se ve reflejado un objetivo principal, la transición de una economía lineal a una economía circular, tratando de involucrar a toda la sociedad. Tanto las administraciones públicas como los sectores económicos, fabricantes, productores, distribuidores, encargados de la gestión de residuos y los consumidores, que tienen la potestad de elegir que productos consumen, forman parte de este proceso. Para ello, se comprometen con una serie de acciones relacionadas con reducir el uso de recursos no renovables, impulsar el ecodiseño, promover formas de consumo sostenible, favorecer la reutilización y el reciclado, etc.¹⁹



Figura 15

¹⁹ MAPAMA (2017) *Pacto por una economía circular: el compromiso de los agentes económicos y sociales 2018-2020*. Recuperado de http://www.mapama.gob.es/es/prensa/170911pacto_economiacircular_tcm7-466648_noticia.pdf

Desde otras instituciones gubernamentales, como por ejemplo en la Región de Murcia, el Consejo de Gobierno, a propuesta de la Consejería de Turismo, Cultura y Medio Ambiente, aprobó a principios de octubre de 2017 la constitución de una Comisión de Dirección y una Mesa Técnica para la elaboración de la “Estrategia de Economía Circular de la Región de Murcia”. El objetivo es el mismo: estimular la transición de una economía lineal a una economía circular para impulsar la competitividad, fomentar el crecimiento económico sostenible y crear nuevos puestos de trabajo en los sectores vinculados.²⁰

También aparecen en España iniciativas como la Fundación para la Economía Circular, cuyo objetivo es promover la sostenibilidad en general y la economía circular en particular. Para ello, organizan una serie de actos públicos, como una conferencia internacional sobre estándares e indicadores para la economía circular que se realizó el 2 de marzo de 2017 en Barcelona o el Congreso Internacional sobre estrategias de economía circular en islas, previsto para los días 23 y 34 de noviembre de 2017 en Tenerife. Además, en su página web, se pueden encontrar publicaciones como la monografía “Por qué y cómo desarrollar estrategias de economía circular en el ámbito regional”, en la que se resumen las razones por las que impulsar las estrategias de economía circular especialmente por las administraciones regionales.²¹



Figura 16

Asimismo, comienzan a crecer nuevas formas de compromiso con la economía circular, esta vez un poco más enfocadas hacia la arquitectura. Este es el caso de MatMap, una empresa emergente que está creando una plataforma similar a la de Oogstkaart para que los usuarios tengan la posibilidad de anunciar aquellos materiales de construcción que deseen vender y estos a su vez aparezcan geolocalizados con la información relativa a su cantidad, disponibilidad y características. Así, cualquier diseñador, arquitecto o constructor pueda acceder a ellos y cubrir las necesidades de sus proyectos.²²

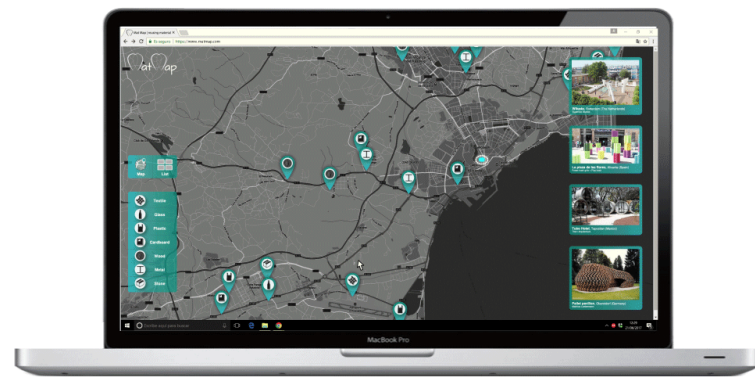


Figura 17

²⁰ La Opinión de Murcia (2017) *Comienzan los trabajos de la Estrategia de Economía Circular de la Región* [base de datos en línea] <http://www.laopiniondemurcia.es/consejo-gobierno/2017/09/20/comienzan-trabajos-estrategia-economia-circular/861258.html> [fecha de consulta: 5 de Octubre de 2017]

²¹ Fundación Economía Circular (2015). *La fundación* [base de datos en línea] <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular> [fecha de consulta: 2 de Octubre de 2017]

²² MatMap (2017) *Nuestro concepto* [base de datos en línea] <http://matmapco.com/> [fecha de consulta: 2 de Octubre de 2017]

Sin embargo, aunque ya se empieza a introducir el concepto de economía circular en España, todavía no existe ningún proyecto arquitectónico que destaque en este campo, tal y como ha sucedido ya en algunos países europeos. En España la última tendencia en sostenibilidad es la llamada “Passivhaus”.

Este nuevo estándar de construcción nació en Alemania en 1991 y ha sido extendido por todo el mundo. Estas casas se diseñan para conseguir ahorros de energía en calefacción y refrigeración de hasta un 90% más que las convencionales y un 75% en comparación al promedio de nuevas construcciones. Usan menos de 1,5L de petróleo o 1,5m³ de gas para calentar un m² de espacio vital al año, sustancialmente menos que los edificios comunes eficientes. Este ahorro energético se consigue con un uso eficiente del sol, las fuentes de calor internas y la recuperación de calor haciendo que los sistemas de calefacción convencionales sean innecesarios en invierno, usando técnicas de enfriamiento pasivo como el sombreado estratégico en los meses más cálidos, con niveles adecuados de aislamiento y puentes térmicos mínimos o niveles excelentes de estanqueidad entre otras cosas.²³

El modelo Passivhaus se centra especialmente en el ahorro energético y las emisiones de CO₂, lo que sería uno de los objetivos de la economía circular. Se asume, por esto, que la “arquitectura circular” englobaría los principios de la Passivhaus, por lo tanto, estaría un paso más allá.

²³ PassiveHaus Institute (2017) *About Passive House - What is a Passive House?* [base de datos en línea] http://www.passivehouse.com/02_informations/01_whatpassivehouse/01_whatpassivehouse.htm [fecha de consulta: 7 de Octubre de 2017]

3. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE CASOS

En este apartado del trabajo se procede a recoger información y analizar una serie de proyectos que se considera que cumplen con los principios de la "arquitectura circular". Se han descartado para el análisis proyectos muy interesantes como el EcoCubo, la Waste House o la Upcycled House, considerando que están formados en gran parte por materiales reciclados o reutilizados pero no están pensados para ser "circulares", es decir, no están diseñados para poder ser introducidos de nuevo en el ciclo.

3.1. CIRCULAR BUILDING

Circular Building es un prototipo, un experimento, un reto en el que se pone a prueba la aplicación de la economía circular en la industria de la construcción. El desafío consiste en construir un edificio donde, al final de su vida útil, todos sus componentes puedan ser reutilizados, reciclados o re-fabricados, en definitiva, poder darle otra vida sin producir ningún desperdicio. Para ello, la metodología empleada se basa en el análisis de los impactos ambientales de los productos utilizados durante su fabricación, diseño, construcción, mantenimiento y fin de su vida útil, llegando incluso al análisis de la composición química de los mismos.

El diseño es de ARUP Associates con la colaboración de Frener & Reifer, BAM y The Built Environment Trust donde, junto a los proveedores, se vieron obligados a pensar y rediseñar de manera diferente los materiales y procesos de construcción. Fue construido en Londres para el London Design Festival 2016 y su función fue la de albergar un espacio dónde se realizaban tours informativos acerca del pensamiento circular de la economía aplicada a la construcción y la realización de conferencias también relacionadas con el mismo tema. Se mantuvo abierto al público desde el 19 de septiembre hasta el 6 de octubre de 2016, cuando fue totalmente de-construido.

Estuvo situado justo enfrente de The Building Center, una organización desarrollada para promover la innovación en el entorno de la construcción. La dirección es Store Street 26, Bloomsbury, Londres, muy cerca del Museo Británico (The British Museum). Las coordenadas GPS exactas son 51°31'9.97"N (Latitud) y 0° 7'55.38"O (Longitud).

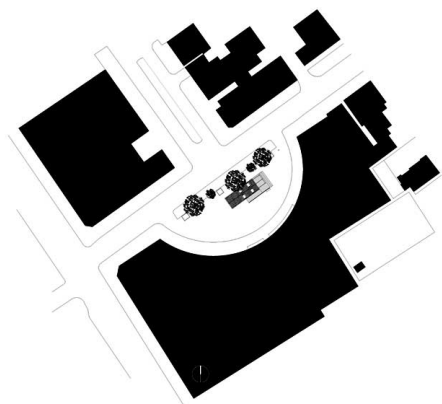


Figura 18

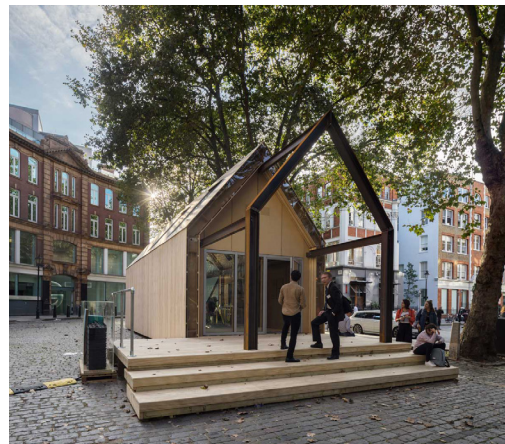


Figura 19

Ánisis constructivo

Los elementos principales del sistema estructural del Circular Building son pórticos de acero a dos aguas hechos de recortes de otros proyectos a los que el edificio tuvo que ajustarse por las longitudes de acero disponibles. Los perfiles se unieron mediante un sistema mecánico que permite su fácil desmontaje para que, una vez terminada su vida útil, pudieran ser devueltos al proveedor, para ser reciclados o, en el mejor de los casos, reutilizados. Durante el proceso de reciclaje, los subproductos que aparecen pueden ser utilizados como materias primas en otras industrias como el cemento, fertilizantes o combustibles para aviones.

En cuanto a la unión entre estas vigas, se usaron unos sistemas de acero diseñados específicamente para fijar elementos sin necesidad de agujerearlos, formados por placas, tornillos y tuercas de acero para fijar las vigas entre sí, o a otros materiales como la envolvente de madera. Las piezas las facilitó la empresa Lindapter.

Para la subestructura del suelo, se tanteó la opción de obtener viguetas de madera recuperada, incluyendo el uso de maderas victorianas que en ese momento se estaban eliminando de otro sitio en Londres, pero estas opciones no fueron factibles finalmente. La madera de abeto utilizada fue cosechada y fabricada en Suecia, suministrada con certificación PEFC de bosques bien gestionados de acuerdo a criterios de sostenibilidad. Respecto a su uso posterior, no hay rutas de reutilización establecidas para la madera tratada y el reciclaje es incluso problemático, pero el grupo Travis Perkins Group, proveedor del material, quiso aprender participando en el proyecto y examinó la idoneidad de la madera para su reutilización. En el peor caso, recuperarían la energía de las maderas como parte de la red de reciclaje y recuperación establecida.

La envolvente del edificio estaba formada por paneles de madera con 4 tipos diferentes de aislamiento para probar su rendimiento. En la cara interior se colocaron unos paneles acústicos en una de las zonas y en la cara exterior de los paneles, membranas impermeables y un revestimiento de madera laminada.

Dichos paneles, se hacen a partir de desperdicios agrícolas y colas naturales con mejores propiedades estructurales e ignífugas que las alternativas de madera. Se montan "in situ" mediante un sistema de machihembrado de las piezas para su fácil desmontaje. Respecto a los aislantes, el primero está formado por aerogel, un producto novedoso que goza de una conductividad térmica muy baja y es transpirable y resistente al agua, propiedades ideales para un aislante. El segundo de ellos es un aislante creado con residuos agrícolas combinados con micelio, el "pegamento de la naturaleza" para hacer productos libres de formaldehído, seguros, saludables y sostenibles, además de poder ser usados como abono al final. El tercero es un aislante de lana de roca y por último es el llamado Inno-Therm, hecho un 80% de tela vaquera y algodón, todos ellos reutilizables y reciclables.

Los paneles acústicos del revestimiento interior, que se colocaron en una zona solamente, se fabrican a partir de Polietileno Tereftalato (PET) reciclado transformando botellas de plástico en estos paneles.

En cuanto a la cara exterior de los paneles de madera, se colocaron primero las membranas impermeables, hechas a partir de Policloruro de Vinilo (PVC) reciclado, transpirables y adheridas

al cerramiento mediante arandelas y tornillos de manera que se puedan recoger de nuevo. Encima de ellas se puso el acabado de madera laminada, procedente de bosques controlados y sostenibles, tratada de manera que pueda ser reciclada.

Los últimos componentes de la envolvente son las claraboyas. Tienen un rendimiento energético excepcional y una esperanza de vida de 30 años, además no utilizan adhesivos en su fabricación ni en su instalación y tienen un fácil desmontaje y reciclaje. Sus respectivos vidrios están hechos sin recubrimiento que permite su reciclaje sin introducir impurezas en el ciclo del material.

En relación con las instalaciones, la eléctrica se alimenta de unas baterías que funcionan a base de agua salada y no contienen metales pesados ni productos químicos tóxicos, tampoco son inflamables ni explosivos. Son las únicas que tienen el certificado Cradle to Cradle. Las lámparas están hechas de vidrio reciclado de jarras y pensadas para ser desmontadas y recicladas de nuevo. Respecto al sistema de ventilación, es mecánico y está diseñado y construido con una impresora 3D con PET de botellas reciclado al 90%, el resto son aluminio reciclado y plexiglás. Para los conductos se utiliza cartón y un recubrimiento de cartulina, ambos materiales provenientes de bosques gestionados y sostenibles.

Para el equipamiento interior se utiliza una moqueta de la empresa Desso, ya nombrada en el trabajo, de la cual al menos el 70% de su contenido es reciclado y tiene el certificado Cradle to Cradle. Los sillones, BuzziNordic, están hechos 100% de residuos de botellas de plástico reciclado. Los aparatos electrónicos están proporcionados por la empresa Re-Tek que se encarga de re-establecer y reparar aparatos electrónicos para hacer posible su reutilización y reduciendo la emisión de 2000 toneladas de CO2 al año. Por último, las sillas Moss del fabricante OrangeBox, diseñadas para poder ser desmontadas recicladas al final de su vida útil.

Conclusiones

Es realmente sorprendente como en este proyecto, el Circular Building, se trata tan al detalle la "circularidad" de los materiales componentes. Entre todos, tanto diseñadores como proveedores, trabajan codo con codo para conseguir así la máxima aplicabilidad de la economía circular. La gran mayoría de los materiales de construcción son reciclados y algunos nuevos, pero todos se pueden reutilizar después de su uso y muchos pueden ser vueltos a reciclar.

Es muy importante también que el edificio pueda ser desmontado al 100%, cada pieza y cada elemento, de la misma manera en la que llegó al montaje y así respetar el concepto de circularidad. Es un muy buen ejemplo para ver en la realidad como se podría aplicar este concepto y hasta qué punto se puede llegar hoy en día.

De todas maneras, esto fue tan solo un experimento, un edificio de planta baja, tamaño reducido y uso temporal. Seguramente sería bastante más complicado en caso de que fuera un edificio de grandes dimensiones y para un uso que requiera de unas características especiales o más complicadas. Aun así, no cabe duda de que es un gran avance en el sector y un gran ejemplo a seguir.



Figura 20



Figura 21



Figura 22

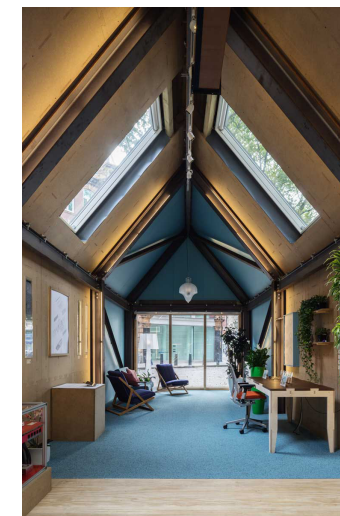


Figura 23

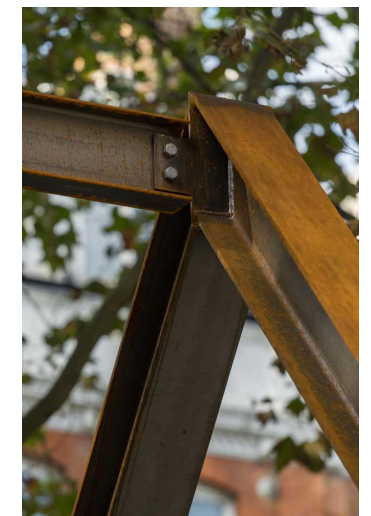


Figura 24

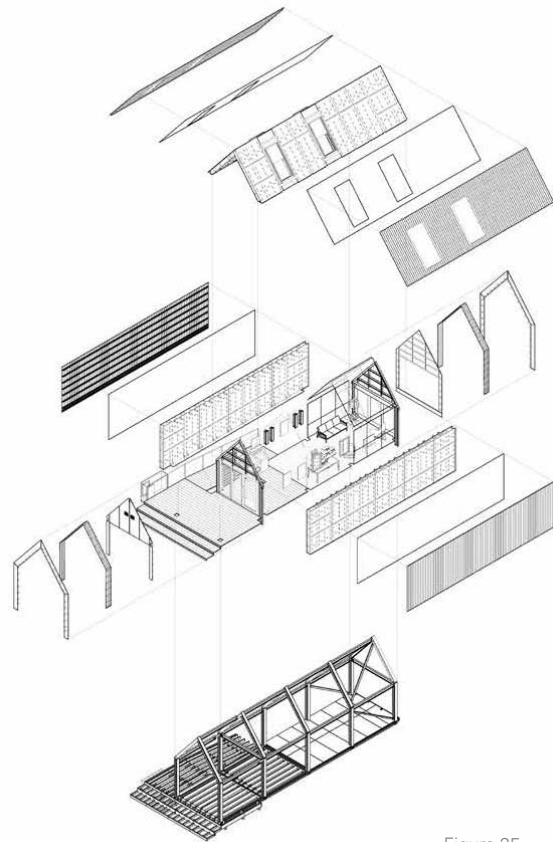


Figura 25

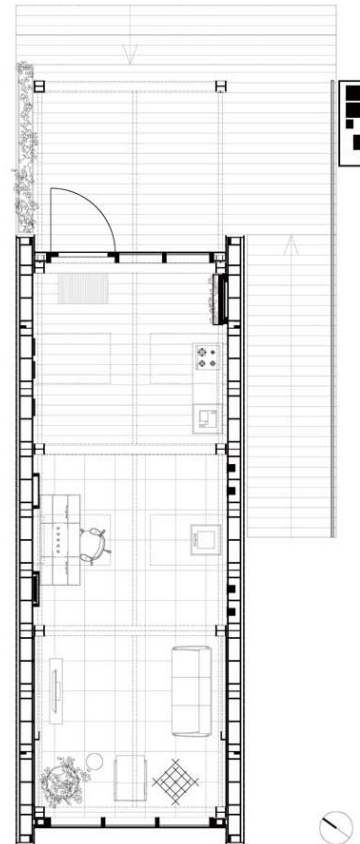


Figura 26

3.2. ICEHOUSE

ICEhouse es un prototipo experimental construido en enero de 2016 para los asistentes de la reunión anual del Foro Económico Mundial en Davos (Suiza), con el objetivo de discutir el futuro de la innovación en la economía circular. Fue diseñado por William McDonough + Partners y construido por WonderFrame LLC, con la colaboración de SABIC y SAP.

Su nombre es un juego de palabras, ya que por un lado "ICE" es el acrónimo de "Innovation for the Circular Economy" y, por otro, significa hielo. Explica el autor: "ICEhouse es una estructura diseñada para ser desmontada y reconstruida. En un sentido poético, como el hielo, ICEhouse es efímero: está aquí una semana, en los Alpes. La semana que viene se derretirá... destinado a aparecer en otro lugar"

El edificio fue construido en 9 días y hecho para demostrar el diseño positivo descrito en el libro Cradle to Cradle, los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas y la reutilización de los recursos implícitos en la economía circular. Según su diseñador:

"[...]Creo que lo realmente apasionante para mí es que fuéramos capaces de construirlo en 7 días y la semana siguiente sea transportado a Amsterdam. Es un edificio que demuestra los conceptos del Cradle to Cradle donde los residuos se convierten en "comida", es decir, se convierte en un edificio útil una y otra vez y nunca terminará en un vertedero, nunca, es nutrición para el ciclo tecnológico. Esto me emociona, pero también me emociona que delante de la asombrosa audiencia que hay en Davos, podamos mostrar una estrategia que realmente proporciona un nuevo sistema de construcción que puede ser útil para gente necesitada alrededor del mundo, para billones de personas[...]"

Este edificio, así como el Circular Building, tiene la peculiaridad de poder ser desmontado y vuelto a montar en otro lugar, adaptándose a las condiciones meteorológicas. Su primera localización fue en Davos, un pueblo suizo en plena cordillera de los Alpes. Su dirección exacta fue Promenade 93, 7270 Davos Platz y sus coordenadas GPS 46°48'4.68"N (Latitud) y 9°49'41.60"E (Longitud).



Figura 27

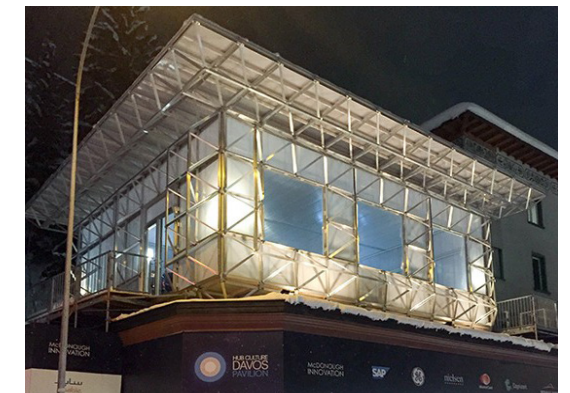


Figura 28

En abril de 2016, el ICEhouse se reconstruyó en The Valley, Schiphol Trade Park en Amsterdam, la ubicación del nuevo National Hub para la economía circular, diseño del cual todavía está en desarrollo y McDonough es el principal arquitecto. Es un lugar todavía ocupado por campo, justo al lado de la estación de tren de Hoofddorp y sus coordenadas GPS aproximadas son 52°16'58.80"N (Latitud) y 4°41'47.64"E (Longitud).

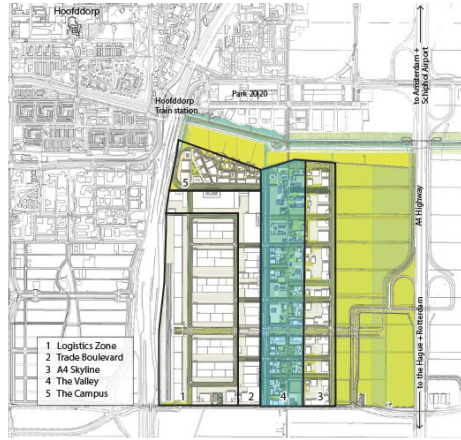


Figura 29

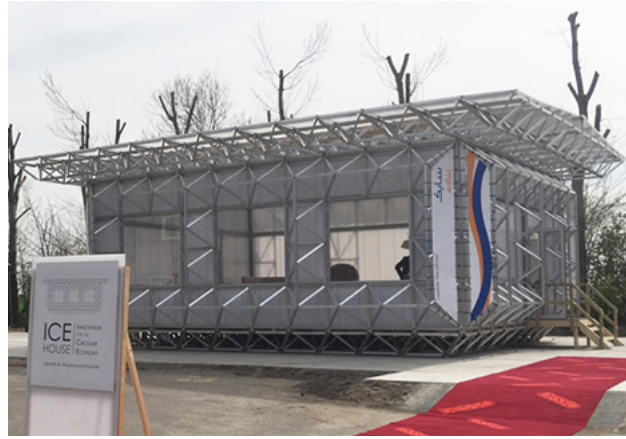


Figura 30

Análisis constructivo

Está compuesto por una estructura triangulada formada por perfiles angulares de aluminio unidos mediante pernos. El objetivo de este sistema es que pueda ser construido por cualquier persona con sus propias manos y dos llaves inglesas. Es un experimento en el empleo del WonderFrame, diseño de William McDonough en busca de un sistema estructural simple y flexible que podría levantarse rápidamente con materiales locales y adaptarse a una variedad de usos. Se sigue investigando para usar otras materias primas como plásticos o bambú.

En cuanto a la envolvente, tanto las paredes como el techo están formados por paneles de policarbonato LEXAN, de la empresa SABIC. Estos paneles contienen un aislante en su interior, el primero hecho de nanogel y con la certificación Cradle to Cradle.

Finalmente, respecto a las instalaciones y el equipamiento, todas las luminarias del edificio están hechas de policarbonato, así como los muebles que hay en el interior, ofrecido por la empresa italiana Kartell. En cuanto a la moqueta del suelo, está hecha de Nylon 6 y fabricada por la empresa Patcraft.

Conclusiones

Como se puede observar, el edificio está construido de manera que pueda ser fácilmente desmontable para poder ser vuelto a construir y hecho en su totalidad por 4 materiales, aluminio, policarbonato, nanogel y Nylon 6. Además, definidos como "nutrientes técnicos", al final de su ciclo de uso estos materiales serán devueltos a la industria y re-fabricados sin fin en nuevos productos sin que el material pierda su calidad. Todos los materiales tienen la certificación Cradle to Cradle o están en proceso de obtenerla. Sin duda, este prototipo es un ejemplo brillante de arquitectura circular pensado desde el principio para tener una vida "infinita".



Figura 31



Figura 32

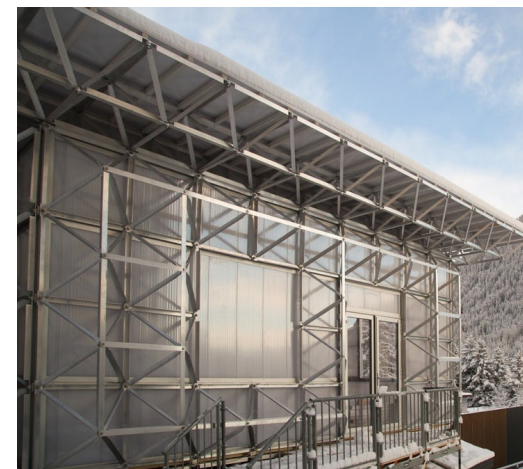


Figura 33



Figura 34

3.3. MICROHOUSE

Wikihouse, la fundación mencionada en el punto 2.2, tiene un modelo "beta" estándar de un diseño pensado para adaptarse a diferentes usuarios y lugares, el llamado Microhouse, todavía en desarrollo. Un modelo muy simple y básico que contiene una habitación, un baño y un salón-cocina en una superficie construida de 37,5 m². En la misma web se puede descargar gratuitamente toda la información acerca del modelo, planos CAD de sus piezas, tanto estructurales como de mobiliario, un manual de montaje y un archivo Excel con todas las especificaciones de los materiales ideales para el montaje. El precio total del modelo oscila entre los 42.000 y 50.000€.

Desde el mismo manual de montaje, se advierte al consumidor que es un modelo todavía en desarrollo y no se garantiza su perfecto funcionamiento. Además, se recomienda contactar con un especialista de la construcción ya que los cimientos no están incluidos y es imprescindible su empleo adaptándose al lugar y las condiciones finales del edificio y, por supuesto, para cumplir la normativa legal vigente de cada lugar.

Análisis constructivo

La estructura principal del modelo está formada por 10 pórticos de madera contrachapada de 18mm de espesor, rellenos de aislante de poliestireno extruido, con cubierta a dos aguas y separados entre sí una distancia aproximada de 1m, para más tarde colocar una serie de planchas de las mismas características en las paredes y el techo formando la envolvente, que también va rellena de aislante.

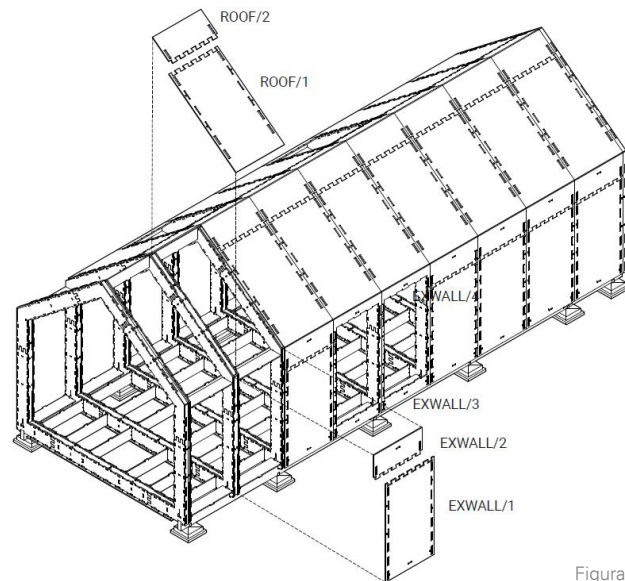


Figura 35

En la cara exterior de la envolvente, va colocada la membrana impermeabilizante y un revestimiento de placas metálicas recubiertas de PVC, atornilladas a unos listones con sección en forma de cruz que a su vez van colocados encima de la membrana y encajados sobre los pórticos, tanto en las paredes como en el tejado.

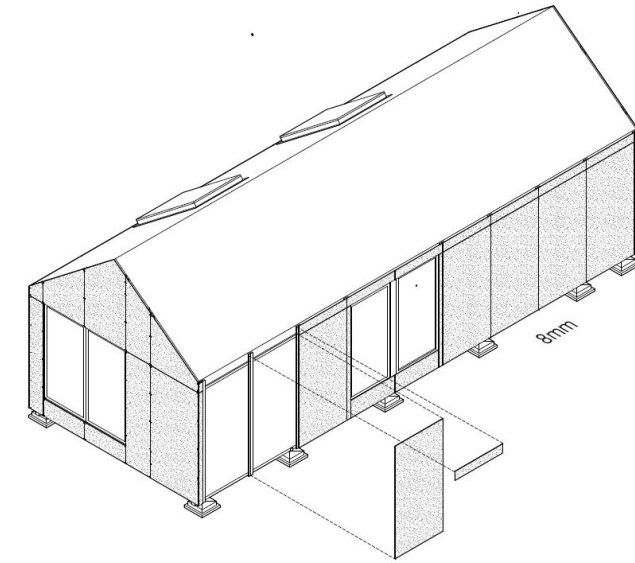


Figura 36

El sistema está perfectamente modulado, por lo que las puertas y ventanas se pueden cambiar de lugar, así como su composición y modelo, dependiendo de lo que haya al alcance en cada lugar en concreto. Esto ocurre también para los elementos y materiales del resto de la casa como acabados interiores, instalación eléctrica, fontanería, elementos sanitarios, algunos elementos de mobiliario, etc.

Conclusiones

Es un modelo hecho por y para todo el que lo quiera, por lo que cada persona puede seguir los pasos hasta el punto que crea conveniente, ya que es totalmente modificable y personalizable. Además, al estar estructurado con un sistema de piezas machihembradas y unidas mediante sistemas mecánicos, puede ser desmontado y reutilizado o reciclado, dependiendo de los materiales y productos que use el consumidor. Podría convertirse en el primer hogar de la "arquitectura circular".

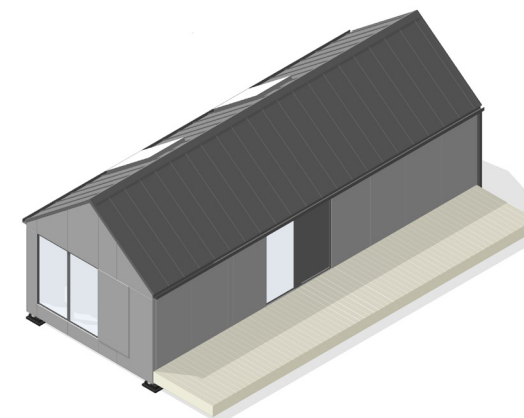


Figura 37

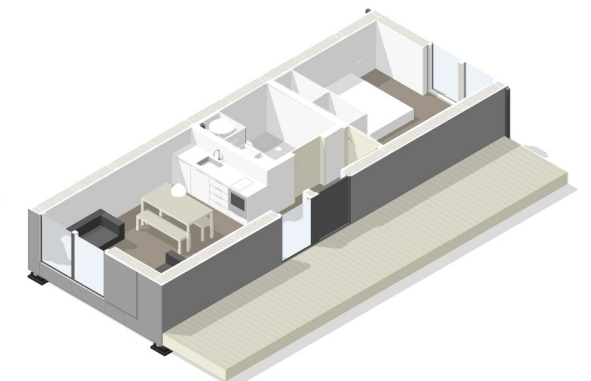


Figura 38

3.4. DASHILAR PAVILION

Este prototipo fue construido en Dashilar, en la ciudad de Beijing, en un instituto de secundaria para el Beijing Design Week en octubre de 2016. Fue diseñado por DotMake y construido en solamente 7 horas por 12 alumnos de secundaria.

Análisis constructivo

Está basado en el sistema estructural de WikiHouse pero se modificó el tamaño y la altura del pabellón de acuerdo con las condiciones del sitio y teniendo en cuenta que iba a ser construido por niños, se buscó un material que no fuera tan pesado como el original contrachapado de madera. El material elegido fue PVC de alta densidad, ya que no necesita recubrimiento y es bastante más ligero. Dado que el pabellón era una estructura temporal, se redujo la sección de los elementos estructurales y el aislamiento térmico fue reemplazado por bancos de madera prefabricados. Finalmente, para el techo, se usaron hojas de policarbonato huecas y translúcidas.

Conclusiones

El proceso de ensamblaje demostró perfectamente la eficacia del sistema WikiHouse. Como contribución al proyecto de código abierto, DotMake subió los dibujos y compartió la experiencia con la comunidad para ayudar a otros equipos a desarrollar aún más su propia versión del proyecto. Finalmente, este proyecto está formado solamente por 3 materiales, PVC de alta densidad, madera y policarbonato y, aunque no se conoce la utilidad que se les dio después de su uso para el Beijing Design Week 2016, se sabe que es perfectamente desmontable y todas sus piezas reutilizables y reciclable, por lo que cumpliría con los principios de la "arquitectura circular".



Figura 39



Figura 40

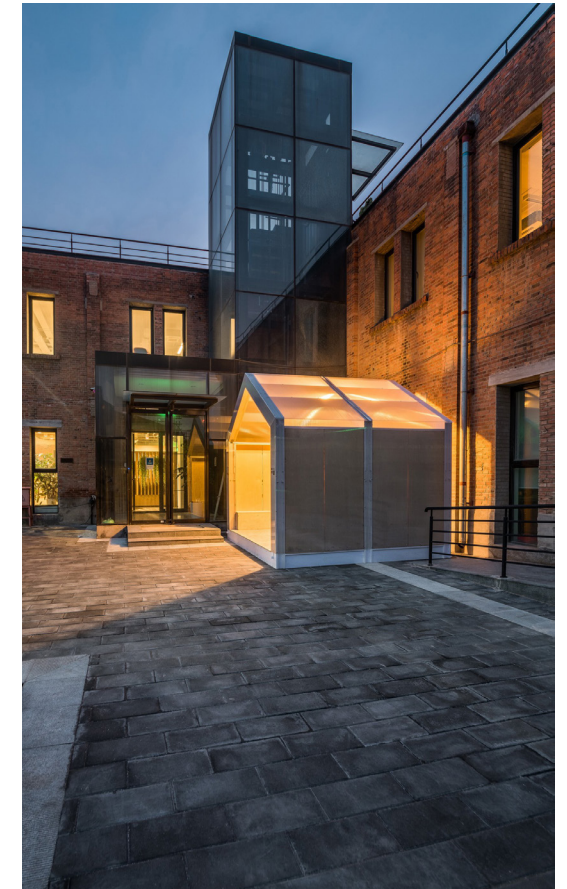


Figura 41



Figura 42



Figura 43

3.5. FOUNTAINBRIDGE COMMUNITY PAVILION

Durante un fin de semana de octubre de 2015, más de 100 voluntarios entre 6 y 75 años se reunieron para montar un espacio comunitario en Fountainbridge, Edimburgo. El diseño fue realizado por la Fountainbridge Canalside Initiative adaptándose a las peculiares condiciones de uso, lugar y presupuesto. El objetivo de este proyecto era crear un lugar de uso comunitario para llevar a cabo diversas actividades como talleres de artesanía o eventos en torno a cuestiones locales relevantes como el urbanismo participativo.

Análisis constructivo

Para su construcción se usaron 70 planchas de contrachapado de madera de abeto de 18mm de espesor para imprimir las piezas de la estructura de 5 pórticos a dos aguas y 1976Kg de hormigón reciclado en la base para hacer de cimentación. En cuanto al aislamiento térmico, tiene dos tipos, uno de poliestireno y otro de tela vaquera reciclada. La membrana roja del exterior es una membrana autoadhesiva súper hermética pero permeable al vapor para liberar la condensación.

Fue construido en solamente 3 días, el primero se encajaron las piezas para formar los pórticos, el segundo, se unieron entre si y se levantó la estructura y el último día se colocó la membrana autoadhesiva y las ventanas y puertas, que fueron donaciones.

En septiembre de 2016, fue desmontada y todas sus partes reutilizadas o recicladas. Toda la información se puede encontrar en la web gratuitamente, tanto el manual de montaje, como el modelo 3D, los planos de CAD para su impresión, así como documentos con información detallada acerca del proyecto.

Conclusiones

De nuevo, toda la estructura está montada con un sistema de machihembrado, lo que facilita su desmontaje, pero en este caso, hay un problema, la membrana autoadhesiva. Puede que este elemento dificulte el desmontaje del edificio pero aun así, todo lo demás sigue cumpliendo con los principios de la "arquitectura circular", por lo que lo podemos considerar un buen ejemplo.



Figura 44



Figura 45



Figura 46



Figura 47



Figura 48



Figura 49

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Después de la realización del trabajo, se puede considerar que se ha cumplido satisfactoriamente con el objetivo propuesto y por consiguiente, con las metas para alcanzarlo.

Tras estudiar los dos modelos, la economía circular frente a la economía lineal, se ha llegado a la conclusión de que la primera posee una serie de ventajas frente a la segunda. La economía circular propone un uso responsable de las materias primas aprovechando al máximo sus recursos y reduciendo así notablemente la generación de desperdicios y la contaminación del medio ambiente, considerando los residuos como fuente principal de recursos. Asimismo, fomenta el uso de energías renovables, lo que reduce la emisión de CO2 y frena el calentamiento global, además, al minorar la producción, se limita también el consumo de energía. Otra importante ventaja es el ahorro que conseguiría el sector industrial por el hecho de que el proceso más caro es el de extracción de materia prima, posibilitando la generación de más empleo y la mejora de las condiciones laborales.

Del estudio de esta nueva corriente económica, la economía circular, se constata que debe aplicarse de arriba abajo pero a su vez desde la base hasta la cima, es decir, para su aplicación real, debe haber una iniciativa por parte del gobierno y las grandes empresas promoviendo el modelo y siguiendo sus principios, pero al mismo tiempo cualquier persona individualmente tiene que participar desde el punto de vista del consumidor. Desde la que compra un alimento con un embalaje reciclable o biodegradable o un teléfono móvil de segunda mano, hasta la gran empresa que usa energías renovables para su proceso de producción. Pero al final, gran parte de la responsabilidad reside en las empresas que fabrican y desarrollan cualquiera de los productos.

En cualquier caso, del estudio realizado sobre la economía circular, se extraen los siguientes principios: uso de materiales circulares, analizar los componentes químicos de cada material y garantizar que sea admisible para ser devuelto al sistema cíclico y reemplazar o descartar para siempre aquellos que no lo sean; optimización del uso de recursos, tratar de alargar la vida de cada producto, componente o material al máximo mediante la reutilización y en el peor de los casos, el reciclaje, ya sea en el ciclo biológico o el tecnológico; diseño sin residuos, todo tiene que estar pensado para, al final de su vida útil, poder ser reutilizado, reciclado o desmontado para que sus partes o componentes puedan serlo; planeamiento de "sistemas", entender como interaccionan entre sí las partes de un todo para generar diseños coherentes a la hora de adquirir una categoría circular; uso de energías renovables, garantizar que los procesos de producción se alimenten de energías renovables para asegurar un impacto positivo en el medio ambiente; alquiler en lugar de compra, promover el alquiler de los productos desde las empresas para hacerse cargo de la devolución al ciclo del producto y mayor satisfacción del consumidor, siempre y cuando sea posible.

Como se ha visto a lo largo del trabajo, en la actualidad, la economía circular todavía está buscando su espacio y aunque avanza lentamente y es un sistema que necesita mucho tiempo para ser implantado, ya hay intención de conseguir hacerlo, como así se recoge en el Informe de la Comisión Europea de 2017. Aunque en Europa algunos de los países más avanzados en este ámbito sean Reino Unido, Dinamarca u Holanda, en España también se empieza a hablar de economía circular como se puede ver en la reciente publicación del Pacto por una Economía Circular publicado en septiembre de 2017. Sin duda, es importante que las instituciones

gubernamentales tomen la iniciativa de fomentar la implantación del nuevo modelo. Por otro lado, existen corporaciones como el certificado Cradle to Cradle o la Fundación Ellen McArthur que se encargan de educar, promover y garantizar la aplicación de la economía circular en empresas, siendo unos de los grandes impulsores de esta revolución.

En cuanto a la relación entre economía circular y arquitectura, bautizado el concepto en este trabajo como "Arquitectura Circular", se puede ver como especialmente en el norte de Europa, van un paso por delante. Es el caso de ejemplos como la empresa holandesa Desso, cuyos productos, en su mayoría moquetas, serán retornables, separables y reciclables en su totalidad o iniciativas como la de Oostkaart, de compraventa de materiales de construcción, nacida en Holanda pero que va propagándose ya por toda Europa. Además, como se ha visto en el análisis de casos, ya hay prototipos como el Circular Building o el ICEhouse que son claros ejemplos de "Arquitectura Circular", lo que supone un gran avance en el sector de cara a conocer su aplicación real. En España concretamente, al igual que en Europa, también existe una plataforma muy similar a la anteriormente nombrada Oostkaart, llamada MatMap también dedicada a la compraventa de materiales de construcción, pero todavía no hay ningún ejemplo de "Arquitectura Circular" real.

En relación con el análisis de la aplicación de la economía circular en los proyectos arquitectónicos encontrados, se han sacado algunas conclusiones al respecto:

Primero. Estos edificios están claramente diseñados por partes, es decir, diferenciando muy bien cuál es la función de cada material en concreto, como se puede ver en el ICEhouse que usa un material para cada parte, estructura, envolvente, acondicionamiento y revestimiento interior.

Segundo. Es muy importante es el diseño pensado para ser desmontado, como se puede comprobar en cualquiera de los proyectos analizados, especialmente el Circular Building y el ICEhouse. Así, se puede ver en las uniones mecánicas de las piezas estructurales, en el montaje de los paneles de los cerramientos o en la colocación de la lámina impermeabilizante en el primer caso, o en las uniones atornilladas de la estructura metálica del segundo caso.

Tercero. Se ha comprobado que prima un diseño modular, lo que facilita mucho el proceso de montaje y además permite la posibilidad de realizar cambios o reparaciones en cualquiera de las partes o componentes, ya sea por causas de durabilidad u otros motivos.

Cuarto. También es muy importante la creación de un catálogo de todos los materiales utilizados para cada proyecto y sus especificaciones como durabilidad, reciclabilidad, composición, etc, además de incluir una explicación de su tratamiento, cómo se debe reparar o su desmontaje. Un buen ejemplo de esto son Dashilar Pavilion o FountainBridge Community Pavilion, en los que existe una base de datos de cada uno con los materiales usados y todas sus características y especificaciones, así como su montaje.

Quinto. Como pasa en el Circular Building, es preferible el alquiler frente a la compra de componentes. Es decir, mediante un alquiler, la empresa se encarga, por ejemplo, de suministrar listones de madera para el revestimiento exterior y cuando están en mal estado o ya no se necesitan, recogerlos para su reciclaje o reutilización, suministrando otros nuevos al cliente en caso de necesitarlos. Es un modelo que beneficiaría a la empresa, ya que recuperaría la materia

prima de nuevo, y al cliente, que tendría un material competente en todo momento.

Pero después de conocer los casos reales, se interpreta que todavía queda mucho camino por hacer y hoy en día tiene muchos límites. Los prototipos analizados, aparte de ser solamente experimentos, son arquitectura temporal y no están preparados para ser habitados, excepto MicroHouse que, aunque diseñado para ello, todavía está en desarrollo. Son edificios de una planta y de un tamaño pequeño, ya que si se planteara el hecho de hacer un edificio “circular” de grandes dimensiones, seguramente se complicaría mucho el diseño. Además, habría que tener en cuenta cuestiones como todas las instalaciones que contiene un edificio convencional, electricidad, fontanería, ventilación, etc, y habría que compatibilizar el hecho de construir con materiales “circulares” a la vez que tener en cuenta la eficiencia energética y el confort de las personas. Otra cuestión que quedaría por resolver sería la transmisión de cargas al terreno al aumentar la dimensión. De todos modos, poco a poco y mientras la sociedad avance hacia la economía circular, se irán resolviendo estas cuestiones.

Finalmente y para concluir con los resultados, se destacan una serie de principios básicos a los que debería responder una ideal “Arquitectura Circular”:

Diseño para el desmontaje: cada componente de un edificio debe estar pensado para poder ser reparado, cambiado o desmontado sin ser dañado para su reutilización o reciclaje al final de su vida útil, teniendo en cuenta la diferencia de durabilidad de cada elemento.

Diferenciación de partes y uniones entre ellas: saber el comportamiento de cada parte del edificio, cuál es su función y como se relacionan las diferentes partes entre ellas. Así como las uniones, preferiblemente mecánicas para poder ser separadas con facilidad.

Creación de un catálogo: recoger las especificaciones y características de cada material empleado en el edificio para conocer en todo momento sus necesidades y poder compartir las ventajas. Así como conocer cómo puede ser reutilizado o reciclado en un contexto circular.

Eficiencia energética: tratar de reducir al mínimo el consumo energético de los edificios.

Alquiler: conseguir materiales o productos provenientes de empresas que ofrezcan el alquiler de sus productos, para que la misma empresa se haga cargo de su reparación, reutilización o reciclaje y así evitar residuos y conseguir un mejor servicio.

En lo que concierne a la aplicabilidad de la economía circular en la arquitectura, a pesar de que es un campo muy reciente y poco desarrollado, se puede considerar que la Arquitectura Circular es una realidad y tiene un gran futuro por delante. Cada vez se habla más de sostenibilidad y de arquitectura sostenible. Pero, como apunta Mire León, la arquitectura circular va más allá de la arquitectura sostenible. El camino es largo pero ya parece que se camina en esa dirección. Intenciones gubernamentales, cambios legislativos, iniciativas empresariales, diseños técnicos y demandas de consumidores pueden facilitar que se avance en este nuevo modelo más respetuoso con el medioambiente.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

BRAUGART, Michael / McDONOUGH, William, *Cradle to Cradle (De la Cuna a la Cuna): rediseñando la forma en que hacemos las cosas*, McGraw-Hill Companies, Madrid, 2005

Videos

WEBSTER, Ken [TEDx Talks]. (2012, enero 30). *TEDxLoodusele – Ken Webster – Circular economy* [Archivo de vídeo]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=mvQEBB3ldZM&t=508s>

WHYMAPS STUDIO [COTEC]. (2017, marzo 8). *Economía Circular: descubre lo que es antes de que reviente el Planeta. #EconomíaCircular* [Archivo de vídeo]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Lc4-2cVKxp0>

BACKLIGHT [Villaggio Vivailsole]. (2013, marzo 17). *Waste=Food* [Archivo de Vídeo]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=2xhgsKenR5w>

William McDonough [Hub Culture]. (2016, enero 21). *Davos 2016 Hub Culture Interview w William McDonough, Architect of the ICEhouse* [Archivo de Vídeo]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?time_continue=11&v=0KHhyUJNQ0E

Documentos

Pchol, P. (2015) *Course essay. Cradle to cradle theory applied to building materials.*

Comisión Europea. (2017) *Report from de Comission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the implementation of the Circular Economy Action Plan (COM(2017) 33 final)*. Recuperado de http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/implementation_report.pdf

MAPAMA (2017) *Pacto por una economía circular: el compromiso de los agentes económicos y sociales 2018-2020*. Recuperado de http://www.mapama.gob.es/es/prensa/170911pacto_economiacircular_tcm7-466648_noticia.pdf

Artículos

Magazineitmagazine.net (5 de julio de 2013), *The circular economy: interview with Walter Stahel* [base de datos en línea] <http://www.makingitmagazine.net/?p=6793> [fecha de consulta: 2 de septiembre de 2017]

Fundación Arquia (17 noviembre 2016), “La arquitectura en la economía circular. Cómo diseñar de manera circular” [Base de datos en línea] <http://blogfundacion.arquia.es/2016/11/la-arquitectura-en-la-economia-circular-como-disenar-de-manera-circular/> [fecha de consulta: 23 de septiembre de 2017]

Fundación Arquia (2 septiembre 2016), “La nueva arquitectura sostenible: La economía circular” [Base de datos en línea] <http://blogfundacion.arquia.es/2016/09/la-nueva-arquitectura-sostenible-la-economia-circular/> [fecha de consulta: 23 de septiembre de 2017]

Páginas web

Oficina Europea de Estadística (EUROSTAT) (2016), *Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method* [base de datos en línea], <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=tsdpc240&language=en> [fecha de consulta: 13 de septiembre de 2017]

Real Academia Española de la Lengua (RAE)(2014), *Diccionario de la lengua española* [base de datos en línea], <http://dle.rae.es/?id=WMSGvvdn> [fecha de consulta: 23 de agosto de 2017]

Larousse (2016), *Gran Diccionario de la Lengua Española* [base de datos en línea] <https://www.larousse.es/> [fecha de consulta: 23 de agosto de 2017]

Significados (2013 - 2017), *Significado de reciclar* [base de datos en línea] <https://www.significados.com/reciclar/> [fecha de consulta: 23 de agosto de 2017]

Cradle to Cradle Products Innovation Institute (c2cc)(2017) *Product Certification* [base de datos en línea] <http://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certificationhttp://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certification> [fecha de consulta: 17 de septiembre de 2017]

Bark House (2017) *Products* [base de datos en línea]<https://barkhouse.com/> [fecha de consulta: 17 de septiembre de 2017]

Ellen McArthur Foundation (2017) *Building Blocks of a Circular Economy* [base de datos en línea] <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/building-blocks> [fecha de consulta: 21 de septiembre de 2017]

Ellen McArthur Foundation (2017) *Building Blocks of a Circular Economy* [base de datos en línea] <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/building-blocks> [fecha de consulta: 21 de septiembre de 2017]

Desso (2017) *Products* [base de datos en línea] <http://www.desso.es/productos/> [fecha de consulta: 29 de septiembre de 2017]

Bundles (2017) *How it works* [base de datos en línea] <https://www.bundles.nl/en/how-it-works/> [fecha de consulta: 29 de septiembre de 2017]

Fatra (2017) *Product use: Building and construction* [base de datos en línea] <http://www.fatra.cz/usage/stavebnictvi/> [fecha de consulta: 29 de septiembre de 2017]

Oostkaart (2017) *Harvest map* [base de datos en línea] <https://harvestmap.org/oogstkaart/> [fecha de consulta: 2 de Octubre de 2017]

Wikihouse (2017) *WREN* [base de datos en línea] <https://wikihouse.cc/library/technologies/structure/wren> [fecha de consulta: 2 de Octubre de 2017]

La Opinión de Murcia (2017) *Comienzan los trabajos de la Estrategia de Economía Circular de la Región* [base de datos en línea] <http://www.laopiniondemurcia.es/consejo-gobierno/2017/09/20/comienzan-trabajos-estrategia-economia-circular/861258.html> [fecha de consulta: 5 de Octubre de 2017]

Fundación Economía Circular (2015). *La fundación* [base de datos en línea] <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular> [fecha de consulta: 2 de Octubre de 2017]

MatMap (2017) *Nuestro concepto* [base de datos en línea] <http://matmapco.com/> [fecha de consulta: 2 de Octubre de 2017]

PassiveHaus Institute (2017) *About Passive House - What is a Passive House?* [base de datos en línea] http://www.passivehouse.com/02_informations/01_whatisapassivehouse/01_whatisapassivehouse.htm [fecha de consulta: 7 de Octubre de 2017]

ARUP (2016) *Circular Building 2016* [base de datos en línea] <http://circularbuilding.arup.com/> [fecha de consulta: 22 de Septiembre de 2017]

Arquitectura + Acero (2016) *Circular Building* [base de datos en línea] <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building> [fecha de consulta: 22 de Septiembre de 2017]

McDonough, W. (2016) *William McDonough's ICEhouse™ debuts in Davos* [base de datos en línea] <http://www.mcdonough.com/william-mcdonoughs-icehouse-debuts-in-davos/> [fecha de consulta: 9 de Octubre de 2017]

William McDonough + Partners (2016) *ICEhouse* [base de datos en línea] <http://mcdonoughpartners.com/projects/icehouse/> [fecha de consulta: 9 de Octubre de 2017]

Roberts Stu (2016) *ICEhouse designed for continuous reuse and quick construction* [base de datos en línea] <https://newatlas.com/william-mcdonough-partners-icehouse/41470/> [fecha de consulta: 11 de Octubre de 2017]

Wikihouse (2017) *Microhouse* [base de datos en línea] <https://wikihouse.cc/library/types/microhouse> [fecha de consulta: 17 de Octubre de 2017]

Dot Make (2016) *WikiHouse Dashilar Pavilion* [base de datos en línea] <https://medium.com/wikihouse-stories/wikihouse-dashilar-pavilion-bd470f8ad5b8> [fecha de consulta: 18 de Octubre de 2017]

Kobayashi, A. (2016) *Fountainbridge Community Pavilion* [base de datos en línea] <https://docs.google.com/document/d/13B5JiK7zdh-MHsGm5CwU9belqb7pmfp7nHV8LdFdJyA/edit> [fecha de consulta: 23 de Octubre de 2017]

ÍNDICE DE IMÁGENES

- Figura 1: Climent, A. (2017). *Tratamiento de la basuras en España y la UE* [tabla]. Información extraída de: <http://ec.europa.eu/eurostat/>
- Figura 2: McArthur, E. (2012). *Linear Economy* [Esquema] Recuperado de: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>
- Figura 3: PSD Graphics. (2011). *Green recycling symbol* [Imagen]. Recuperado de: <http://www.psdgraphics.com/file/green-recycling-symbol.jpg>
- Figura 4: C2C Platform. (2013). *Cradle to Cradle (C2C)* [Esquema] Recuperado de: <https://www.c2cplatform.tw/>
- Figura 5: C2C Platform. (2014). *Certified Cradle to Cradle (C2C)* [Imagen] Recuperado de: <http://www.c2ccertified.org/>
- Figura 6: McDonough, W. y Braugart, M.. (201). *Outline of a circular economy* [Esquema] Recuperado de: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>
- Figura 7: David Ing. (2006). *Shearing Layers* [Imagen] Recuperado de: <http://www.coevolving.com>
- Figura 8: Climent, A. (2017). *Captura de pantalla Oostkaart* [Imagen]. Recuperado de: <https://harvestmap.org/oogstkaart/>
- Figura 9: Lettow Studios. (2012). *Listones de madera* [Imagen]. Recuperado de: <https://harvestmap.org/oogstkaart/steigerhout/>
- Figura 10: Lettow Studios. (2012). *Railes de tren* [Imagen]. Recuperado de: <https://harvestmap.org/oogstkaart/spoorrails/>
- Figura 11: Lettow Studios. (2012). *Ladrillos cerámicos* [Imagen]. Recuperado de: <https://harvestmap.org/oogstkaart/middenstukken-van-bakstenen/>
- Figura 12: WHOISGUARD, INC. (2011). *Logo Wikihouse* [Imagen]. Recuperado de: <https://wikihouse.cc/>
- Figura 13: Wikihouse. (2012). *WikiHouse* [Imagen]. Recuperado de: <http://www.impactdesignhub.org/wp-content/uploads/2012/06/wikihouse.jpg>
- Figura 14: Wikihouse. (2014). *WikiHouse* [Imagen]. Recuperado de: <http://www.globallighting.com/wp-content/uploads/2014/01/WikiHouse.jpg>
- Figura 15: MAPAMA. (2016). *Estrategia española de economía circular* [Imagen]. Recuperado de: <http://www.mapamac.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular>
- Figura 16: Fundación Economía Circular. (2015). *Logo de la fundación* [Imagen]. Recuperado de: <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular>
- Figura 17: MatMap. (2016). *Web gif* [Imagen]. Recuperado de: <http://matmapco.com/resources/img/web.gif>
- Figura 18: ARUP. (2016). *Circular building* [Plano]. Recuperado de: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>
- Figura 19 - 24: Kennedy, S. (2016). *Circular building* [Imagen]. Recuperado de: <http://arupassociates.com/en/projects/circular-building/>
- Figura 25 - 26: ARUP. (2016). *Circular building* [Plano]. Recuperado de: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>
- Figura 27 - 28: McDonough Innovation. (2016). *ICEhouse* [Imagen]. Recuperado de: <http://mcdonoughpartners.com/projects/icehouse/#big-image>
- Figura 29: William McDonough + Partners. (2016). *The Valley at Schiphol Trade Park* [Imagen]. Recuperado de: <http://www.mcdonoughpartners.com/projects/the-valley-at-schiphol-trade-park/>

- Figura 30: William McDonough + Partners. (2016). *ICEhouse* [Imagen]. Recuperado de: <http://www.mcdonough.com/icehouse-reassembled-netherlands/>
- Figura 31 - 34: McDonough Innovation. (2016). *ICEhouse* [Imagen]. Recuperado de: <http://mcdonoughpartners.com/projects/icehouse/#big-image>
- Figura 35: Prest, C. (2016). *Image 1* [Imagen]. Recuperado de: https://github.com/wikihouseproject/Microhouse/blob/master/MicroHouse_AssemblyManual_v1_sm.pdf
- Figura 36: Prest, C. (2016). *Image 2* [Imagen]. Recuperado de: https://github.com/wikihouseproject/Microhouse/blob/master/MicroHouse_AssemblyManual_v1_sm.pdf
- Figura 37: Parvin, A. (2016). *Microhouse_0.5_isoFull* [Imagen]. Recuperado de: https://github.com/wikihouseproject/Microhouse/blob/master/microhouse_0.5_isoFull.jpg
- Figura 38: Parvin, A. (2016). *Microhouse_0.5_iso* [Imagen]. Recuperado de: https://github.com/wikihouseproject/Microhouse/blob/master/microhouse_0.5_iso.jpg
- Figura 39: Climent, A. (2017). *Captura de piezas DWG* [Imagen]. Hecha por el autor.
- Figura 40 - 43: Qhinshan, W. (2016). *Dashilar Pavilion* [Imagen]. Recuperado de: <https://medium.com/wikihouse-stories/wikihouse-dashilar-pavilion-bd470f8ad5b8>
- Figura 44 - 49: Kobatashi, A. (2016). *FountainBridge Community Pavilion* [Imagen]. Recuperado de: <https://drive.google.com/drive/folders/0B-qLixGksK4DMTFHeVA3ZnVwZVlk>

ANEXO

ENTREVISTA A MIREN LEÓN

- ¿Crees que la sociedad actual está preparada para aplicar correctamente la economía circular? Si no, ¿cuánto tiempo crees que necesitará y de qué depende?

Creo que como sociedad, estamos perfectamente preparados para aplicar la economía circular, pero aún nos queda mucho camino por recorrer. Somos gente de costumbres y de resultados a corto plazo, y culturalmente nos cuesta mucho realizar este tipo de cambios tan grandes si no vemos resultados inmediatos. Son sólo unas pocas empresas, organizaciones y universidades quienes están dando pequeños pasos hacia la aplicación de los principios de esta economía.

Pero este proceso de cambio va a llevar tiempo...Y dependerá mucho de la legislación, que es la otra razón por la que nos inclinamos al cambio: cuando nos obligan o nos penalizan por hacer o no hacer algo. Actualmente, los cambios legislativos que vienen desde Europa y los instrumentos de financiación son los que están empujando el desarrollo de iniciativas hacia la Economía Circular, pero todavía de manera muy puntual.

En los próximos años van a ir apareciendo cada vez más iniciativas basadas en la re-utilización de materiales para el diseño de productos, productos cada vez más sostenibles y envases biodegradables, pero hace falta un cambio global de modelos de negocio que se basen en la recirculación de componentes y productos y este es un cambio muy grande, que supone cambios en procesos de diseño y producción. Y tanto empresas como consumidores tenemos que cambiar culturalmente para poder llevarlo a cabo, y eso no se produce de la noche a la mañana, lleva años.

- ¿Qué crees que diferencia la arquitectura sostenible de la arquitectura circular? ¿Hay diferencias o una contiene a la otra?

Para mí el concepto de arquitectura circular va más allá del de arquitectura sostenible. Creo que la arquitectura circular es sostenible, pero eso no quiere decir que la arquitectura sostenible sea siempre circular. Ahora mismo la arquitectura sostenible habla mucho de eficiencia energética y de materiales de construcción, de Passivehaus y de edificios de consumo casi nulo. Eso está muy bien, es necesario que diseñemos edificios que consuman menos energía y a poder ser que la necesiten menos. Pero ahora no se está teniendo en cuenta que pasará con estos edificios cuando termine su vida útil, que es lo que pretende la arquitectura circular.

En realidad, con la rapidez con la que evoluciona la sociedad es difícil pensar que pasará con un edificio dentro de 50 o 100 años, y que necesidades tendremos nosotros como usuarios. Pero ese es el reto para la arquitectura circular, llegar a una concepción global de la arquitectura que nos lleve a

diseñar desde el principio pensando en todo el ciclo de vida de la edificación, incluyendo su futura reutilización o la demolición de la misma. Y de este modo crear soluciones arquitectónicas que se adapten de la mejor manera posible a los cambios que se puedan producir, y cuyos componentes puedan reutilizarse una vez llegado el fin de su vida útil.

-¿Dónde crees que se ha avanzado más en este ámbito?

En Holanda sin duda. Son un poco los precursores de la economía circular, y tienen un plan para convertirse en un país circular. También en Reino Unido y Dinamarca, existen programas para convertir Londres y Copenhague en ciudades circulares, algo que Ámsterdam también busca. A escala más pequeña, los primeros intentos de edificación circular se encuentran en estos países.

-¿Crees que sería posible construir una vivienda que aplique el sistema circular en España hoy en día? ¿Espejismo o realidad?

Pues hoy en día creo vamos en camino pero aún no es del todo posible. Ya no por la dedicación e investigación necesaria; cada vez existen más ejemplos de viviendas prefabricadas que ya inciden un poco en el tema del desmantelamiento, pudiendo desmontarlas y cambiarlas de sitio.

Pero ahora mismo estamos centrados en otra cosa. La arquitectura sostenible está derivando hacia el Passivehaus, que es un buen camino hacia la eficiencia energética y el consumo casi nulo de energía, pero creo que además de aplicar estos conceptos deberíamos darle una vuelta de tuerca más al concepto, al diseño. No solo por utilizar materiales sostenibles o reutilizados vamos a ser circulares. Hay que ser circular desde el diseño, y eso es algo que cuesta un poco más llevar a cabo. Sobre todo por la falta de costumbre de pensar en el futuro, y por falta de formación y conocimiento sobre la economía circular.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA