

ECONOMÍA CIRCULAR EN LA ARQUITECTURA CÓMO PROYECTAR DE MANERA CIRCULAR



LIDA MERCADO MARTÍN

Tutor: Miguel Ángel Padilla Marcos

Trabajo Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

RESUMEN

Aunque las acciones para ralentizar el cambio climático son cada vez más importantes, la realidad es que el mundo cada día está más cerca de llegar a su límite. El agotamiento de recursos naturales y la generación de residuos son unos de los problemas fundamentales del actual modelo de consumo. La arquitectura es uno de los sectores con mayor influencia en ellos. Para equilibrar estos dos problemas, y redireccionar el modelo industrial hacia uno más sostenible, se presenta el pensamiento circular, en este caso aplicado a la arquitectura.

La economía circular trata de reconectar los residuos con los recursos, oponiéndose totalmente a la idea de “usar y tirar”, por lo que se propone una nueva forma de proyectar en la cual el impacto ambiental de la arquitectura sea positivo. Para ello se reconoce la figura del arquitecto, en la fase de diseño, como un elemento decisivo dentro del proceso constructivo total.

Palabras clave: impacto ambiental, economía circular, recursos, residuos, pensamiento circular, diseño, arquitectura

ABSTRACT

Although actions to slow down climate change are increasing, the reality is that the world is getting closer to its limit. The depletion of natural resources and the generation of waste are two of the key problems of the current consumption model. Architecture is one of the sectors with the greatest influence over them. In order to balance these two problems, and redirect the industrial model towards a more sustainable one, circular thinking is expounded, in this case applied to architecture.

The circular economy tries to reconnect waste with resources, it is totally against the idea of “use and throw”. So a new way of projecting is proposed, with the aim of creating architecture with a positive environmental impact. To this end, the figure of the architect is recognised, in the design phase, as a decisive element within the total construction process.

Keywords: environmental impact, circular economy, resources, waste, circular thinking, design, architecture

OBJETIVOS

Se realiza este trabajo con el objetivo principal de analizar la aplicación de la economía circular a la arquitectura, como solución a la gran cantidad de recursos que consume y de residuos que genera:

- Analizar el impacto de la construcción
- Explorar las acciones de la arquitectura contra el cambio climático.
- Verificar la aplicabilidad de la economía circular en el ámbito de la arquitectura.
- Analizar el papel del arquitecto.
- Recopilar las ideas y estrategias aplicados a la arquitectura.
- Concienciación.

ÍNDICE

• Introducción	9
• Medio natural, cambio climático, recursos y gestión ambiental.	11
• De la arquitectura tradicional a la arquitectura consumista.	15
• De la arquitectura consumista a la arquitectura sostenible. La arquitectura, su impacto ambiental y su lucha contra el cambio climático.	21
- Las administraciones. Normativa.	23
- El arquitecto. Estrategias de diseño.	26
- La sociedad. Concienciación ecológica.	28
• La economía circular.	31
- Orígenes del pensamiento circular.	33
- Políticas.	36
- Principios.	38
- Beneficios.	39
- Ejemplos economía circular en el diseño. Producto y servicio.	41

• La economía circular aplicada a la arquitectura.	43
• Impacto ambiental arquitectura actual. Análisis general proceso constructivo.	45
- Producción	46
- Transporte	48
- Construcción	48
- Vida útil	50
- Gestión y tratamiento de residuos	52
- Diseño	58
• Análisis ejemplo arquitectura circular. The circular building.	61
- Referencias. El concepto <i>Shearing Layers</i>	64
- Rasgos generales del proyecto	66
- Componentes del edificio	68
1. Lugar	69
2. Estructura	70
3. Envoltente	74
4. Instalaciones	82
5. Acabados interiores	86
6. Mobiliario	89
• La arquitectura circular. Cómo proyectar de manera circular.	94
- Agentes implicado en el avance hacia la <i>arquitectura circular</i>	96
- Estrategias y recursos para la <i>arquitectura circular</i>	97
• Conclusiones	101
• Bibliografía	103
• Índice de imágenes	109
• Índice de tablas	117
• Índice de gráficos	119

INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempo nos enfrentamos como sociedad a serios problemas con nuestro anfitrión, nuestro planeta, la Tierra. Hemos vivido durante muchos años ajenos a sus limitaciones, estirando hasta el límite sus recursos, poniendo a prueba su atmósfera, usando como vertederos los lugares equivocados y dando por hecho que el globo entero estaba a nuestra entera disposición. Y sí, podríamos decir que para esto último está, pero no lo hemos hecho correctamente.

Durante los últimos años, como sociedad nos hemos ido haciendo conscientes de la necesidad de cuidar el mundo donde vivimos. Nos hemos dado cuenta de que el cambio está en nuestras manos, y en cambiar nuestros hábitos, muy mal acostumbrados.

Palabras como ecología, sostenibilidad, reciclar, consumo cero, energías renovables, economía circular... se van escuchando cada vez más en nuestra vida diaria. La mayoría de la gente se preocupa por tener varios cubos de basura y confiamos en los medios que tenemos para reciclarlos adecuadamente. Pero hay más sectores donde la sostenibilidad tiene lugar: la industria del automóvil, cosmética, alimentación y producción de energía, entre otras. Gracias a los avances tecnológicos y científicos, se han ido realizando grandes cambios en estos campos y el sector de la construcción y la arquitectura no quedan al margen de esta conciencia ecológica. La introducción de energías renova-

bles, la adaptación al paisaje, el descubrimiento de nuevos materiales y el rescate de viejos, debido a sus cualidades olvidadas... son sólo algunas de las muchas ideas que la arquitectura está poniendo en práctica, sin olvidar nunca la comodidad y experiencia del usuario.

Pero, ¿es suficiente? A pesar de lo alto que se oyen estas propuestas, la realidad es que la industria de la construcción sigue estancada en un modelo tradicional que consume cantidades ingentes de recursos naturales, gasta abundante energía y produce una gran cantidad de residuos a menudo desaprovechados, trasladando el impacto medioambiental no sólo a la construcción sino al resto de la vida útil de los edificios, a su uso por parte de las personas y, de manera postergada, a su consecutivo final.

Es necesaria una evolución dentro de este sector, un cambio radical dentro del sistema, y con una visión global, de principio a fin del proceso. Necesitamos entender que no deben ser sólo pequeños avances, sino pasos hacia una nueva forma de entender y de ver la arquitectura, su diseño, construcción y vida. La intervención en el diseño con estrategias energéticas y de utilización de recursos que protejan, aprovechen, reutilicen y mejoren la gestión funcional del mismo, minorará el impacto medioambiental que la construcción tiene sobre el medio natural.

**“VIVIMOS EN
LA TIERRA
COMO SI
TUVIÉRAMOS
OTRA
A LA QUE IR”**

TERRI SWEARINGER

MEDIO NATURAL, CAMBIO CLIMÁTICO, RECURSOS Y GESTIÓN AMBIENTAL

“EN CASO DE QUE LA POBLACIÓN MUNDIAL ALCANCE LOS 9600 MILLONES DE PERSONAS EN 2050, SE PODRÍA NECESITAR EL EQUIVALENTE A CASI TRES PLANETAS PARA PROPORCIONAR LOS RECURSOS NATURALES NECESARIOS PARA MANTENER LOS ESTILOS DE VIDA ACTUALES”

ONU

“...el calentamiento global es la causa del cambio climático, es decir, el aumento de la temperatura del planeta provocado por las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero derivadas de la actividad del ser humano, están provocando variaciones en el clima que de manera natural no se producirían.”

ACCIONA¹

Esta es la definición de cambio climático y calentamiento global que nos da Acciona como empresa que lucha contra el calentamiento global, la superpoblación y la crisis del agua.

A lo largo de la historia de la Tierra, el planeta también ha sufrido calentamientos, pero nunca a una velocidad como la actual, la llamada “la gran muerte” donde murieron sobre el 95% de especies marinas y el 70% de vertebrados terrestres, fue también provocada por un calentamiento global, la diferencia es que este se desarrolló durante miles

de años, en cambio el actual cambio climático se está desarrollando en tan sólo cientos, y podemos decir que el ser humano es el responsable principal.

En el informe Cambio Climático 2013² del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de la ONU) aseguran al 95% que la actividad humana es la principal causa del calentamiento global. Este informe expone las evidencias físicas de un cambio climático desde finales del siglo XIX (imagen 1) y sitúa al ser humano como influencia dominante en el aumento de temperatura de la tierra y de la capa superior del océano, en el aumento de los gases de efecto invernadero, en la destrucción de la capa de ozono, en el ciclo del agua, en la pérdida de hielo, retroceso de los glaciares y la subida del nivel del mar; y, reclama la atención de la sociedad, y en especial de gobiernos y dirigentes.

Sus efectos son desastres climáticos, expansión de desiertos, incendios forestales, el deshielo de los

1. ¿Qué es el cambio climático y cómo nos afecta?. (2020). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Acciona, página web: <https://www.acciona.com/es/cambio-climatico/>

2. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (2013). *Cambio climático 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes.*

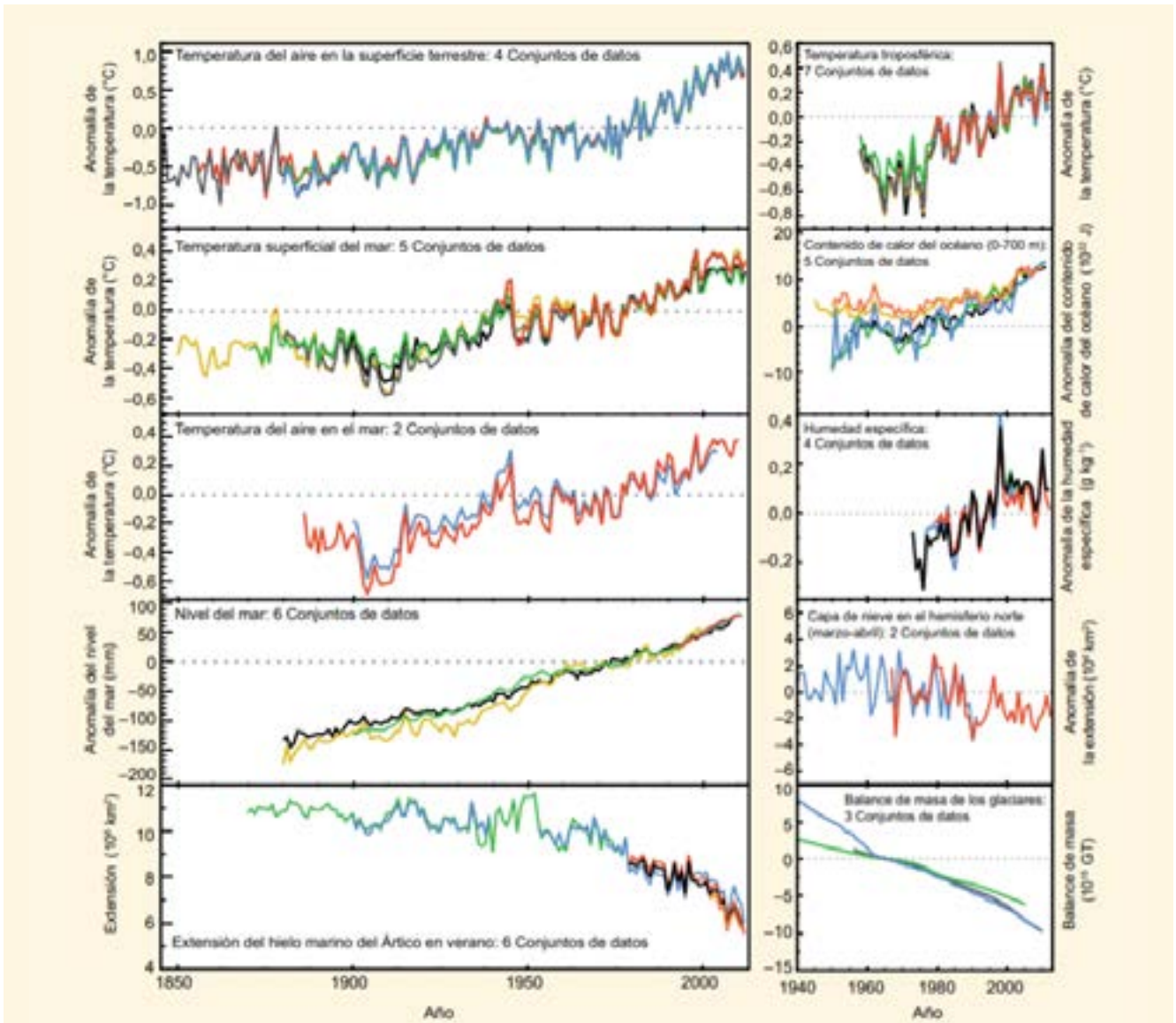


Imagen 1: Múltiples indicadores independientes del cambio del clima global. Cada línea representa una estimación derivada de forma independiente del cambio de un elemento climático. Fuente: Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (2013). Cambio climático 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes.

polos, la subida del nivel del mar y el desbordamiento de ríos y lagos, o la muerte y el desplazamiento de especies... algunos de ellos ya visibles en el mundo, como el aumento de las precipitaciones extremas de los ciclones tropicales en América del Norte y Central o los incendios a gran escala en Australia o Amazonas en 2019 y 2020. Y aunque parar el cambio climático, ya es imposible, aún podemos ralentizarlo.

Viendo los datos, los riesgos y lo que se espera que ocurra, muchos países del mundo se están implicando de forma global y particular en tomar medidas para cumplir objetivos que ayuden a desacelerar el calentamiento.

La ONU (Organización de las Naciones Unidas) lidera y coordina las acciones mundiales contra el calentamiento global, su primer paso en este tema fue en 1992 con la Cumbre para la Tierra que dio lugar a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Continuando con el Protocolo de Kioto en 1997, un acuerdo internacional que marca unas metas para reducir las emisiones. En este acuerdo participan actualmente 192 países.

Pero es en la 21ª Conferencia de París (COP21) de 2015, cuando se alcanza un acuerdo histórico por las Partes de la CMNUCC. Son 175 líderes mundiales los que firmaron el Acuerdo de París,

con un objetivo común: combatir el cambio climático. Según la ONU: “El principal objetivo del Acuerdo de París es reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático manteniendo el aumento de la temperatura mundial en este siglo por debajo de los 2°C con respecto a los niveles preindustriales y proseguir con los esfuerzos para limitar aún más el aumento de la temperatura a 1,5°C”.³ A día de hoy se siguen sumando países a los diferentes acuerdos, hoy ya son 195 países los que se han comprometido con el Acuerdo de París.

“Vivimos en la Tierra como si tuviéramos otra a la que ir”. Afirmaba Terri Swearingen, ganadora del premio Medioambiental Goldman en 1997.⁴

Y es que no sólo nos estamos enfrentando al

problema de la contaminación y del calentamiento global, sino a que además vivimos principalmente de recursos finitos y como afirma la ONU al ritmo que llevamos el planeta no va a dar más de sí: “En caso de que la población mundial alcance los 9600 millones de personas en 2050, se podría necesitar el equivalente a casi tres planetas para proporcionar los recursos naturales necesarios para mantener los estilos de vida actuales”.⁵

El modelo de producción y sistema económico que predomina en el mundo está basado en extraer recursos, transformar, utilizar y tirar. Un proceso lineal, que sólo funciona en un sentido, por lo que se siguen extrayendo materias primas sin límites, y produciendo y acumulando residuos sin control.

-
3. Cambio climático. (2020). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Organización de las Naciones Unidas, página web: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html#:~:text=El%20principal%20objetivo%20del%20Acuerdo,aumento%20de%20la%20temperatura%20a>
 4. Terri Swearingen - Goldman Environmental Foundation. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Goldman Environmental Foundation, página web: <https://www.goldmanprize.org/recipient/terri-swearingen/>
 5. Moran, M. (2020). Consumo y producción sostenibles. Consultado el 10 de septiembre de 2020, Organización de las Naciones Unidas, página web: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/7/>

DE LA ARQUITECTURA TRADICIONAL A LA ARQUITECTURA CONSUMISTA

La arquitectura es uno de los sectores que, con el paso de los años, los avances tecnológicos y las nuevas necesidades que con estos se crean, ha seguido el mismo camino de adaptación y a la vez ha sacado partido a todo lo que la ciencia y la tecnología ha ido ofreciendo con cada nuevo descubrimiento.

Hace no mucho tiempo, la arquitectura preindustrial explotaba al máximo los recursos de los que disponía para poder sacar el mayor rendimiento al lugar y lo que éste ofrecía. Se empleaban ma-

teriales autóctonos, naturales y orgánicos; los que estaban a su alcance: barro, madera, tierra, piedra... Materiales sin procesar que junto a estrategias tradicionales de diseño trataban de conseguir habitabilidad y confort en los edificios. Las técnicas y los medios eran mucho más pobres que los actuales, pero se aprovechaba y reutilizaba todo lo que estaba disponible.

Ejemplo de esto es la **arquitectura rural tradicional de España**. En el caso de los **caseríos** (imagen 2), originarios del norte de la Península, los



Imagen 2: Etxeberri (Altzo Muño), caserío guipuzcoano. Con piedra y madera de roble. Fotógrafo: Xabi Otero. Fuente: <http://bertan.gipuzkoakultura.net/>



Imagen 3: Casas-Cueva en Granada. Fuente: Artículo: Un recorrido por la vivienda tradicional de España. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/913794/un-recorrido-por-la-vivienda-tradicional-de-espana>



Imagen 4: Barracas de la Comunidad Valenciana. Fuente: Artículo: Un recorrido por la vivienda tradicional de España. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/913794/un-recorrido-por-la-vivienda-tradicional-de-espana>

animales habitaban la parte baja o la zona norte del edificio, de esta manera la vivienda se situaba en las plantas superiores o resguardada por los animales para aprovechar el calor desprendido por estos. Este era un recurso muy utilizado en otras zonas y tipologías. En las **casas cueva** (imagen 3) de la provincia de Granada, se construía dentro de la montaña para mantener un ambiente fresco en verano, y guardar el calor en invierno, un ejemplo de eficiencia energética. Uno de los materiales más usados en muchas zonas de España, es el adobe. En la **arquitectura tradicional de Castilla**, las **barracas** típicas de la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia (imagen 4), o algunas **masías**, se construían con adobe, uno de los materiales más usados en la historia. Además de su fácil disponibilidad, es un material que destaca por su resistencia al fuego, y su capacidad de aislar, térmica y acústicamente.

Con la industrialización y los avances tecnológicos, la arquitectura pasó a ser mucho más rica y variada en cuanto a recursos, materiales, técnicas, formas... , en cuanto a posibilidades. A partir sobre todo de la mitad del siglo XIX, se puede apreciar un gran salto generacional en este sector, con la llegada de materiales de origen industrial. Primero el **hierro** y el **vidrio**, para la construcción de edificios industriales, estaciones de ferrocarril, fábricas, mercados, invernaderos, etc. Imagen de esta nueva arquitectura fue el **Crystal Palace** de Joseph Paxton (imagen 5) que se construyó en 1851 para la Exposición Universal de Londres. El proyecto construido en hierro y vidrio, supuso toda una revolución para la época.

En segundo lugar, los otros dos materiales que supusieron el asentamiento de una arquitectura industrializada fueron el **acero** y el **hormigón**, con

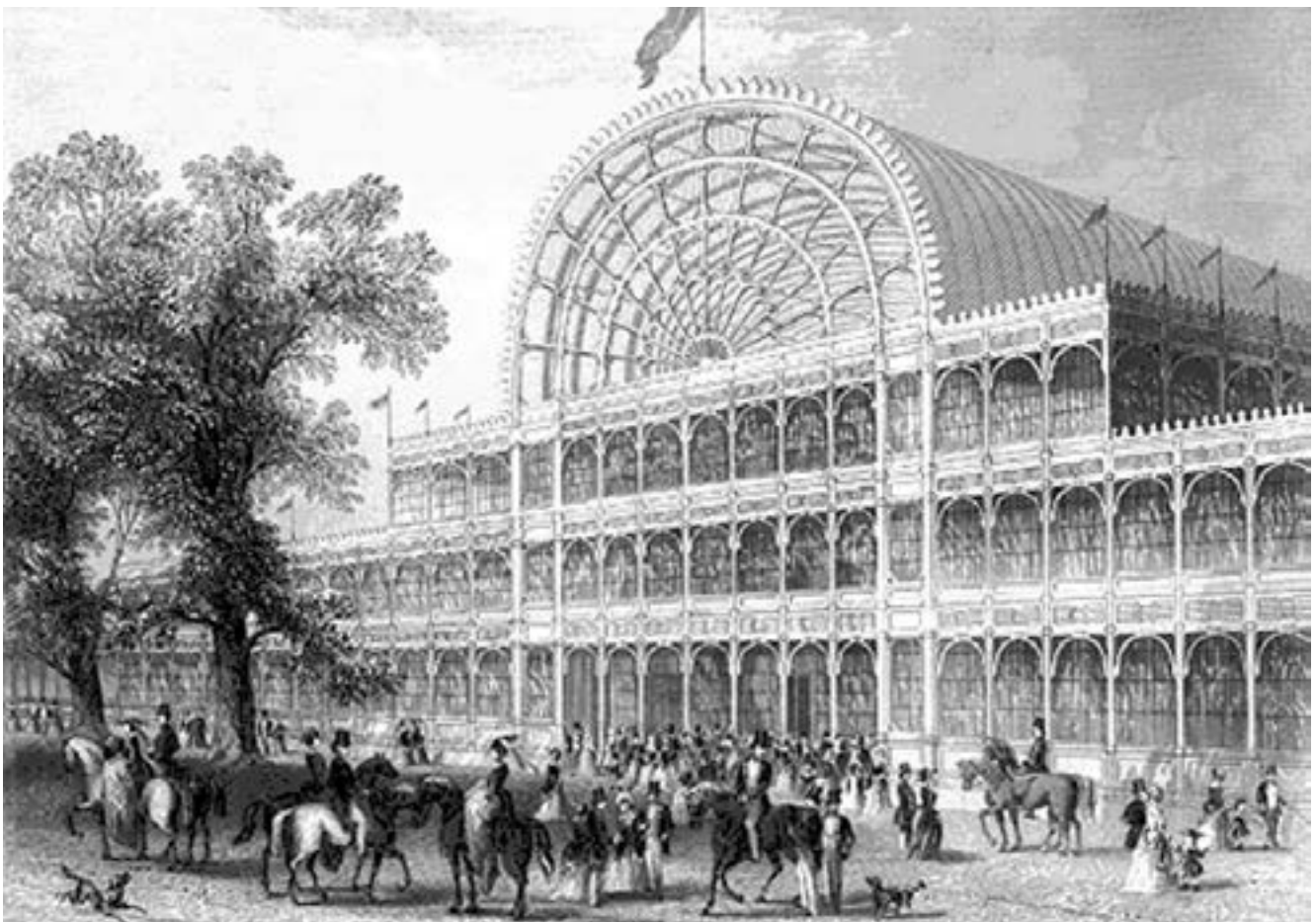


Imagen 5: Crystal Palace de Joseph Paxton, en la Exposición Universal de Londres. Fuente: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/crystal-palace/#>

los que se abrieron las posibilidades de la arquitectura en cuanto a dimensiones y formas. Fue a finales del siglo XIX y sobre todo durante el XX cuando comenzaron a triunfar.

Ejemplo del cambio, gracias a estos nuevos materiales y avances tecnológicos, es la construcción de los primeros **rascacielos** de la **Escuela**

de Chicago, como el **Home Insurance Building** (imagen 6). Se aprovecharon las posibilidades de estos materiales, la invención del ascensor, la eliminación de los muros de carga por una construcción sobre pilares, para reconstruir en altura la ciudad de Chicago que había quedado destrozada tras un incendio en 1871.



Imagen 6: Home Insurance Building. Fuente: <https://en.wikiarquitectura.com/building/home-insurance-building/home-insurance-building/>

Este fue el comienzo de una arquitectura dominada por los materiales industrializados. Actualmente siguen siendo los más utilizados y están fabricados a partir de materiales naturales, pero mediante procesos industriales muy costosos en cuanto a energía y cantidad de recursos. Por un lado, están el hormigón, el acero, o el vidrio, y por otro materiales mucho más elaborados como plásticos o el aluminio. Además, los materiales naturales anteriormente referidos continúan siendo utilizados, y también han entrado en esta industria. Los materiales naturales se procesan para poder mejorar y exprimir al máximo sus posibilidades, lo que, aunque en muchos aspectos supone un avance, en cuanto a su posterior procesado y vuelta al medio, en muchos casos se dificulta.

En este salto dentro del campo de la arquitectura, la energía no sólo forma parte del proceso de

producción de los elementos constructivos, sino también forma parte de su **transporte** a obra. No hay límites a la hora de utilizar materiales y elementos procedentes de todo el mundo y aunque aporta una gran cantidad de opciones, en muchos casos se deja de lado el impacto ambiental que supone su transporte. Además, el consumo de energía de los productos se extiende a su **uso**, y a la **vida útil** del edificio: calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación, suministro de energía a aparatos eléctricos, etc.

Se ha pasado de una arquitectura tradicional, natural y autóctona, en la que cada recurso se explotaba al máximo; a una arquitectura industrializada mucho más rica y variada, pero en la que esa multitud de posibilidades han llegado a **superponerse incluso a las condiciones climáticas y físicas del lugar**. Los avances tecnológicos y científicos



Imagen 7: Vista aérea de Dubai. Fuente: <https://www.viajes.carrefour.es/guia-viaje/dubai/>

cos no sólo han conseguido sacar el mejor partido a técnicas y materiales, sino que por otro lado la innovación y la búsqueda continua de una mayor calidad se ha convertido en una lucha por superarse, a menudo al margen de la naturaleza, de la cantidad de recursos que se consumen y de los gastos y residuos que se generan en cada proceso. Un ejemplo de esto, es la ciudad de **Dubai** (imagen 7), los rascacielos construídos en ella o la isla artificial de **Palm Jumeirah** (imagen 8).

La posibilidad de disponer de todos estos medios y recursos ha hecho evolucionar hacia una arquitectura consumista. Actualmente esta se sigue comprando y el consumidor no es consciente de esta situación medioambiental y sigue demandando más calidad y nuevas utilidades.

Este sistema consumista, trae consigo otra condición que podríamos denominar “**cultura de usar y tirar**”, no sólo consumimos arquitectura,

sino que, en muchos casos, los edificios se construyen para un fin y cuando este se acaba, o se abandonan y se espera a su ruina, o se reducen a una gran montaña de escombros generando multitud de residuos que, aunque cada vez se traten más, en muchos casos son inservibles.

Se construye para las necesidades del hoy, y aunque se espera a que la vida del edificio sea larga e indefinida, la realidad es que no sabemos cuándo va a cambiar o acabar.

Esto ocurre en la industria de la construcción, pero también en otros sectores, se aseguran de lo que el consumidor quiere sin reparar en el final de su vida útil, o en el impacto medioambiental que supone consumir todos esos recursos y generar esos residuos. Como reacción a todo esto han aparecido **corrientes sostenibles** dentro de ellos, buscando un cambio no sólo en el sector sino en nuestra forma de vida y en el sistema.



Imagen 8: La isla artificial de Palm Jumeirah en Dubai. Fuente: www.dubai.it

DE LA ARQUITECTURA CONSUMISTA A LA ARQUITECTURA SOSTENIBLE

Si bien fue un gran salto el que se dio en la forma de construir entre la **arquitectura tradicional** y la **arquitectura industrializada**, actualmente la arquitectura apunta hacia otro gran salto: una **arquitectura sostenible** preocupada por la protección del medio natural.

Todo el desarrollo y los recursos de los que dispone se están enfocando y deben centrarse en avanzar hacia una arquitectura sostenible, cuyo impacto medioambiental se minimice y a la vez colabore en el desarrollo de estilos de vida sostenibles. El cambio anterior se fue produciendo a medida que los avances y recursos económicos lo fueron permitiendo, ahora tenemos los conocimientos y las herramientas suficientes para que también se produzca y sobre todo, la necesidad de una mejora es casi inmediata.

La arquitectura y construcción deben verse desde un punto de vista global. El cambio debe actuar además de en los pequeños detalles, sobre el sistema y la forma de concebir la construcción de la arquitectura, desde el principio hasta el final. Este es un proceso muy complejo con muchos agentes involucrados.

La influencia de la arquitectura va más allá de su construcción, por lo que un cambio en este campo es importante en dos niveles.

A **nivel social**: en primer lugar, la arquitectura es un campo que interviene de forma directa en el lugar que habitan las personas y donde se desarrolla la actividad humana. Un arquitecto crea entornos para que la sociedad pueda desarrollar la vida plenamente. Por lo tanto, tiene la capacidad de intervenir y orientar a la sociedad hacia formas de vida mejores, en este caso sostenibles.

Y por otra parte a **nivel constructivo**: la arquitectura y su construcción es uno de los sectores más contaminantes, que más recursos consume y que más residuos genera, por lo que el cambio por el que se apuesta, sería además un gran salto en la lucha contra el cambio climático.

Actualmente, los cambios hasta ahora producidos apuntan hacia una arquitectura basada en **economía circular**, de manera que el proceso se entienda de manera global, como un conjunto, y así se pueda conectar y redirigir sus residuos con los recursos que necesita, cerrando el ciclo.

LA ARQUITECTURA, SU IMPACTO AMBIENTAL Y SU LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

“NECESITAMOS MÁS DE 2 TONELADAS DE MATERIAS PRIMAS POR CADA M² DE VIVIENDA QUE CONSTRUIMOS, LA CANTIDAD DE ENERGÍA ASOCIADA A LA FABRICACIÓN DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN UNA VIVIENDA PUEDE ASCENDER, APROXIMADAMENTE, A UN TERCIO DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE UNA FAMILIA DURANTE UN PERÍODO DE 50 AÑOS, LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN SUPERA LA TONELADA ANUAL POR HABITANTE”
ITeC

La construcción también es en parte responsable de este calentamiento global, y la arquitectura es uno de los sectores que también sufrirá los efectos de este fenómeno y se tendrá que adaptar a ellos, inundaciones, sequías, fenómenos meteorológicos extremos, etc. Es una industria que interacciona con el medio en el que se encuentra constantemente, y por lo tanto, tiene la necesidad y la responsabilidad de que la gestión ambiental tenga un papel fundamental en su proceso.

Los datos actuales sitúan a este sector en uno de los más contaminantes, utilizando un elevado número de recursos, agua, materias primas y energía. La construcción utiliza alrededor un 36% de la energía global y genera un 45% de los residuos, además de contaminar el aire, suelo y las aguas.⁶ Además según la Comisión Europea, en la UE en 2014, el 50% de los materiales extraídos eran des-

tinados a actividades de construcción, y el 25% del agua consumida también.⁷

Hay que añadir, que no sólo es la parte de la construcción del edificio lo que contamina, sino la vida que el usuario hace en él, de la que es responsable la arquitectura, y es importante intervenir. Este sector es consciente de ello, y varias son las propuestas que aporta a la lucha contra el cambio climático y a favor de una arquitectura y estilo de vida sostenible. Desde normativas nacionales y europeas y participación en las acciones mundiales anteriormente nombradas, hasta nuevas estrategias de diseño o acciones de información y sensibilización. Estas acciones las podemos clasificar en las llevadas a cabo por las administraciones, las llevadas a cabo por los arquitectos, y un tercer grupo en el que estarían las acciones sociales.

LAS INSTITUCIONES



NORMATIVA

EL ARQUITECTO



DISEÑO

EL USUARIO



CONCIENCIA ECOLÓGICA

6. Impacto ambiental en la construcción. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, ITeC, página web: <https://itec.es/infoitec/articulos/impacto-ambiental-en-la-construccion/>
7. Energy efficient buildings - European Commission. (2020). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Comisión Europea, página web: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings_en
8. «BOE» núm. 27, de 31 de enero de 2007, páginas 4499 a 4507
9. «BOE» núm. 207, de 29 de agosto de 2007, páginas 35931 a 35984
10. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2011). Plan de Energías Renovables 2011-2020. Madrid.
11. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2011). 2º Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética en España 2011-2020. Madrid.
12. Red Española de Ciudades por el Clima. FEMP. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (n.d.). *Guía para el desarrollo de normativa local en la lucha contra el cambio climático.*

LAS ADMINISTRACIONES: NORMATIVA

El Ministerio de Fomento es el encargado de regular la normativa de la edificación en España, de manera que se ajuste a los requisitos de las políticas nacionales y europeas. Actualmente las normativas se centran en actuaciones relacionadas con los ámbitos de la eficiencia energética y desarrollo sostenible y la gestión de residuos, muy importante su papel para poder marcar un camino normativo por el que avanzar a una arquitectura sostenible.

EFICIENCIA ENERGÉTICA

Cuando hablamos de eficiencia energética hablamos de reducir el consumo energético, pero proporcionando los mismos servicios, fomentando el uso sostenible de estos, de manera que se consiga un menor impacto ambiental. Se propone un uso racional de la energía y una mayor expansión de las energías renovables.

En referencia a estos términos en España hay normativa que exige, regula y orienta a la hora de proyectar, construir, y ponerlos en práctica:

- **Código Técnico de la Edificación CTE, aprobado por el Real Decreto 314/2003, de 17 de marzo.** La eficiencia energética se incluye en el Código Técnico de la Edificación (CTE), en un Documento Básico de Ahorro de Energía. Este, además de establecer las exigencias básicas que los edificios han de cumplir, aporta los métodos de cálculo y verificación y propone estrategias energéticas pasivas y activas que ayuden en el diseño de una arquitectura más sostenible.

- **Procedimiento Básico para la Certificación de Eficiencia Energética de Edificios de Nueva Construcción aprobado por el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero.** Los usuarios o propietarios tienen el derecho de tener a su disposición, un certificado de eficiencia energética del edificio, con el objetivo de promover la eficiencia energética.⁸
- **Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.** Es una norma básica que cuantifica y caracteriza las exigencias en materia de eficiencia energética y seguridad para las instalaciones térmicas de los edificios, con relación a diseño, dimensionado, manejo, mantenimiento, uso e inspección, siempre manteniendo el confort y el bienestar de los usuarios.⁹
- **Plan de Energías Renovables 2011-2020.** Documento que establece medidas en favor de la utilización de fuentes de energías renovables, para poder alcanzar unos objetivos relacionado con el mayor uso de éstas.¹⁰
- **Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011/2020.** Con el objetivo de reducir el consumo energético, establecen estrategias y mecanismos de actuación para conseguirlo.¹¹

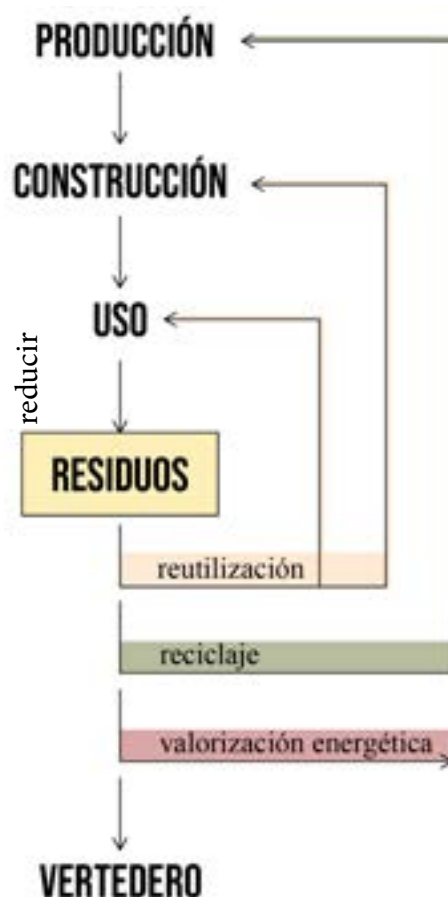
Según la **Guía para el Desarrollo de Normativa Local en la Lucha contra el Cambio Climático**¹² se calcula que gracias a estas normas se reducirán de un 30% a un 40% las emisiones de gases de efecto invernadero en este sector. Con el objetivo de cumplir con las metas establecidas en UE.

Los residuos de construcción y demolición (RCD), son aquellas sustancias u objetos que se generan en procesos de construcción, demolición, reforma y rehabilitación de edificios y, en excavaciones (imágenes 10, 11, 12). Actualmente, el sector de la construcción es uno de los que más toneladas de residuos generan. Entre 2004 y 2016 en Europa, alrededor de un 40% del total de los residuos fueron producidos por este sector, el último dato de 2016 indica que fueron unos 923 millones de toneladas¹³. Por lo que su gestión es uno de los puntos importantes dentro del proceso de construcción y precisa de una regulación específica, ya que los residuos producidos son muchos y muy heterogéneos. Además, esta gestión es importante porque parte de ellos pueden ser posteriormente reciclados y reintroducidos en el proceso como nuevos recursos, como materia prima secundaria.

En el caso de **España**, existe una normativa y unas responsabilidades dentro del proceso de construcción en cuanto a gestión de residuos: generación, clasificación, traslado y tratamiento. Son principalmente las **Comunidades Autónomas** las que lo regulan, aunque a su vez el Estado también ha establecido unos **Planes Nacionales**.

Imagen 9: Esquema de los objetivos en España de los Planes Nacionales de gestión y tratamiento de residuos. Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de la página web del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en el apartado de Planes y Programas para la Gestión y Tratamiento de Residuos¹⁴.

En primer lugar, el objetivo es **reducir** la cantidad de residuos, tener en cuenta desde un principio los deshechos que se van a generar en el proceso y pensar antes cómo pueden disminuir. Con los residuos que aun así se generen, se prioriza la reutilización de los elementos y materiales cuyo estado lo permita, posteriormente reciclar lo que no se pueda reutilizar y finalmente pasará a otras formas de valorización energética aquello que no se haya podido aprovechar en alguno de los procesos anteriores (imagen 9).¹⁴



13. Eurostat. Consultado el 10 de septiembre de 2020, Eurostat, página web: <https://ec.europa.eu/eurostat/home?>

14. Planes y Programas. Consultado el 10 de septiembre de 2020, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, página web: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/Planes-y-Programas.aspx>

15. Legislación. Consultado el 10 de septiembre de 2020, Federación Española de Asociaciones de Empresas Gestoras de RCD, página web: <http://federacionrcd.org/documentacion/legislacion/>

16. «BOE» núm. 297, de 12 de diciembre de 2015, páginas 117395 a 117397

17. Vázquez García, D. (2011). *Algunos apuntes sobre la nueva ley de residuos y suelos contaminados*.

18. «BOE» núm. 38, de 13 de febrero de 2008

19. «BOE» núm. 25, de 29 de enero de 2002

20. «BOE» núm. 254, de 21 de octubre de 2017 Sec. I.

21. Plan Integral de Residuos de Castilla y León aprobado por el Decreto 11/2014

Con estas premisas se desarrolla la legislación básica general en España en relación a los residuos de la construcción y la demolición¹⁵:

- **Plan Estatal Marco de Residuos (PEMAR 2015):** “instrumento para orientar la política de residuos en España, impulsando las medidas necesarias para mejorar las deficiencias detectadas y promoviendo las actuaciones que proporcionan un mejor resultado ambiental y que aseguren la consecución de los objetivos”.¹⁶
- **Ley de residuos y suelos contaminados. Ley 22/2011, de 28 de julio.** Establece un conjunto de medidas vinculadas a la producción y gestión de residuos, con el objetivo de proteger el medio ambiente.¹⁷
- **Real Decreto 105/2008 por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.** Orientado a un desarrollo sostenible, en el que prevalezca la prevención, reutilización, reciclado y valorización, y que el resto pasen a tratamientos de eliminación adecuados.¹⁸
- **Real Decreto 1481 / 2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en**

vertedero. Establece el marco jurídico y técnico, las características y la correcta gestión de los residuos que en última instancia acaban siendo depositados en vertederos.¹⁹

- **Normas generales de valorización de materiales naturales excavados para su utilización en operaciones de relleno y obras distintas a aquéllas en las que se generaron. Orden APM 1007/2017, de 10 de octubre.** Establecen el marco normativo de la valorización de los materiales naturales y los residuos no peligrosos que se generan en obras de construcción o demolición.²⁰

Después cada Comunidad Autónoma tiene una normativa más específica, que indica más detalladamente el proceso a seguir.

En el caso de Castilla y León, la normativa que destaca en la regulación de la gestión de RCD es el **Plan Integral de Residuos de Castilla y León aprobado por el Decreto 11/2014, de 20 de marzo.** Un documento en el que se lleva a cabo un análisis de la situación actual de la gestión de residuos en la comunidad y se describen los principios, programas, modelos, instrumentos y gastos de la gestión de residuos de diferentes sectores, entre ellos los RCD.²¹



Imágenes 10, 11, 12: Residuos de la construcción generados en obras actuales de chalets en Palencia. Fuente: Elaboración propia, Palencia 2 de septiembre de 2020.

EL ARQUITECTO: ESTRATEGIAS DE DISEÑO

El diseño de un edificio a la hora de que sea eficiente y sostenible es la fase más importante. El arquitecto tiene la posibilidad de tomar decisiones que influyan totalmente en su vida útil posterior, su demanda energética, o qué sistemas van a funcionar. Dentro de la arquitectura, el del proyectista es un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático, y tener en cuenta desde las primeras decisiones el impacto ambiental que tendrá el edificio en un futuro, es una de las claves para una arquitectura respetuosa con el medio ambiente.

ESTRATEGIAS PASIVAS

Las **estrategias pasivas** son aquellas que están integradas en el diseño arquitectónico del proyecto, para poder aprovechar las condiciones del lugar al máximo y así conseguir un proyecto más independiente energéticamente, manteniendo la calidad y el confort del usuario. Su efectividad depende del arquitecto, pero también del uso que les dé el ocupante.

Las condiciones del lugar que se deben tener en cuenta son:

- El **clima**
- La **orientación**
- La **vegetación**
- El **terreno**

Las partes del edificio que hay que tener más en cuenta son:

- La **forma**
- Los **materiales** que conforman la envol-



Imagen 13: Instalación de paneles fotovoltaicos en una casa. Estrategia Activa. Fuente: <https://www.tynmagazine.com/energia-solar-una-solucion-al-alcance-de-la-mano/>

vente: fachada, cubierta, aislamiento, color, inercia, etc.

- Los **huecos** y su constitución
- La **iluminación natural**

Algunas estrategias pasivas son:

- Selección de **materiales naturales, materiales reciclados...**
- Para climas fríos, y/o en invierno: **muros captadores** (trombe (imagen14, 15) y parietodinámico), **galerías acristaladas** (soluciones invernadero)...
- Para climas cálidos, y/o en verano: **patios interiores, protecciones solares, envolventes vegetales, presencia de agua, vegetación, etc.**
- Para ventilación: natural o inducida.
- Para ahorro de agua: **recuperación de aguas pluviales, recuperación y aprovechamiento de aguas grises, etc.**

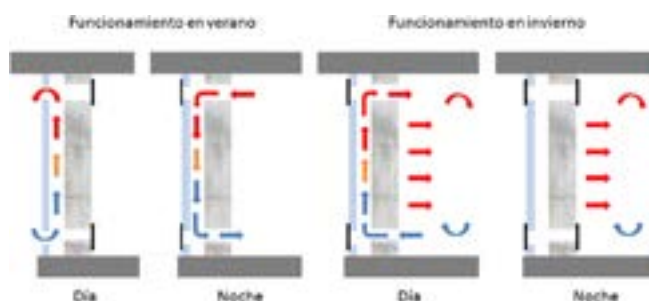


Imagen 14: Esquema del funcionamiento muro captador trombe. Estrategia Pasiva. Fuente: <https://huellasdearquitectura.wordpress.com/2018/10/22/muros-trombe-que-son-y-como-funcionan/>



Imagen 15: Ejemplo muros captadores. Estrategia pasiva. Fuente: <https://huellasdearquitectura.wordpress.com/2018/10/22/muros-trombe-que-son-y-como-funcionan/>

ESTRATEGIAS ACTIVAS

Las **estrategias activas** corresponden a las instalaciones que son necesarias para alcanzar los niveles de confort, ya que puede que con sólo las estrategias pasivas no se alcancen.

Es importante reducir al mínimo el consumo, tener en cuenta el origen de la energía y asegurar la eficiencia de la instalación, hablamos principalmente de **fuentes de energía renovables**.

Algunas de estas instalaciones son:

- **Paneles termosolares** para producir agua caliente.
- **Paneles fotovoltaicos** para producir de electricidad (imagen 13).
- **Ventilación mecánica o forzada.**
- **Geotermia.**
- **Aerotermia.**
- **Iluminación de bajo consumo.**

ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

Cuando hablamos de estrategias de diseño que actualmente en la arquitectura se están empleando para reducir su impacto medioambiental, tenemos que hablar también de **arquitectura bioclimática**.

La **arquitectura bioclimática** es la que busca reducir el impacto ambiental, centrandose su estudio en la relación entre el lugar, la arquitectura y las personas que la habitan. Trata de aprovechar al máximo los recursos que el lugar, y su clima ofrece para conseguir el mismo confort, pero con el mínimo consumo de energía. La arquitectura bioclimática, obtiene lo máximo del lugar y del diseño mediante las estrategias pasivas, para reducir al mínimo las activas. Es uno de los primeros y principales modelos de arquitectura sostenible.

LA SOCIEDAD: CONCIENCIACIÓN ECOLÓGICA

Actualmente no sólo es un deber como arquitectos diseñar minimizando el impacto medioambiental, sino que también hay una **demanda por parte de los usuarios**. En la sociedad cada vez más personas se preocupan por el impacto medioambiental que tienen los productos o servicios que adquieren y van adaptando su estilo de vida a uno más sostenible, desde alimentos ecológicos o un medio de transporte menos contaminante, hasta una demanda en los muebles o la vivienda con una dinámica y materialidad sostenible. La **conciencia ecológica** es una realidad en el diseño, en la arquitectura y a la hora de comprar por parte del consumidor, que actúa de manera reflexiva cuando tiene que decidir, y puede optar por la opción más sostenible.

Las personas que buscan la sostenibilidad, también consiguen unas condiciones mejores de salubridad y un ahorro económico a medio y largo plazo. Por una parte una arquitectura bioclimática reducirá la demanda de energía en la parte de la calefacción o refrigeración, y por otra lo que se necesite principalmente vendrá de energías renovables, estas instalaciones en un primer momento supondrán un mayor gasto, que posteriormente será recuperado, a lo largo de la vida útil del edificio. Se podría decir que es una inversión.

Para este tipo de clientes cada vez hay más servicios y productos dentro del mercado de la construcción. Es el caso de los estándares de edificación sostenible que caracterizan a ciertos edificios. A su vez, hay profesionales que se especializan y se dedican enteramente a desarrollar modalidades de construcción sostenible.

ESTÁNDARES DE EDIFICACIÓN SOSTENIBLE

CERTIFICACIONES NO OBLIGATORIAS

Dentro de esta demanda, hay una serie de certificaciones, además de las necesarias, que se han creado bajo unos **estándares de edificación sostenible** y que dan a los edificios un lugar de cierto prestigio dentro del mercado de la construcción sostenible. Son empresas u organizaciones que definen una serie de parámetros, en términos de sostenibilidad, que un edificio debe cumplir para poder ser **certificado** bajo el estándar. Y así caracterizar a esa construcción con su sello y dándole cierto renombre. De esta manera el cliente cuando compra sabe exactamente qué características tiene en relación con la sostenibilidad.

El ejemplo más representativo de estos estándares es **PassivHaus**, un estándar de construcción dirigido por el **Passiv Haus Institute**, creado por **Wolfgang Feist** y caracterizado por ser energéticamente eficiente, asequible, cómodo y ecológico. Los edificios tendrán que cumplir con una serie de requisitos, enfocados a valores mínimos de consumo, para obtener el certificado PassivHaus y poder ser denominado así.



Imagen 16: Placa para edificios certificados PassivHaus. Fuente: PassivHaus Institut, página web: <https://passivehouse.com/>

ARQUITECTURA CONVENCIONAL SOSTENIBLE

Por otra parte, son muchos los arquitectos que apuestan por la edificación sostenible, siendo una característica más de su trabajo. Este es el caso de estudios como **Snøhetta**.

Snøhetta es un estudio de arquitectura noruego, cuyo trabajo está directamente comprometido con la sostenibilidad social y ambiental. Analizan en cada fase de un proyecto los efectos ambientales que puede tener, para poder reducir el impacto lo máximo posible. Para una mejor eficiencia y enriquecimiento de sus proyectos, colaboran con otros organismos especializados en sostenibilidad, como SINTEF (Instituto de investigación independiente más grande de Europa) o Powerhouse (asociación multidisciplinaria de empresas dedicadas a crear edificios de energía positiva), entre otros.

Un ejemplo de su arquitectura es la casa piloto ZEB (imagen 17), una casa familiar cuyas cualidades arquitectónicas y sistemas integrados son claro ejemplo de arquitectura bioclimática y de energía positiva. Tiene los sistemas e instalaciones necesarias para poder producir excedentes de energía durante todo el año.



Imagen 17: Casa piloto ZEB. Fuente: Snøhetta, página web: www.snohetta.com

NUEVOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN

También hay arquitectos que crean todo un sistema constructivo con el que hacer nuevos edificios. **Earthship Biotecture** es una marca de tipología de vivienda, diseñada por **Michael Reynolds** desde 1970.

Se caracteriza por ser una arquitectura solar pasiva, independiente en su funcionamiento, ya que produce su propia electricidad, mediante energía solar o del viento; y, recoge, almacena y trata las aguas pluviales y residuales. Los materiales con los que está construida son respetuosos con el medio ambiente, de manera que utiliza principalmente materiales naturales y materiales reciclados, cuyo transporte sea mínimo, fabricados con poca o nula energía, y duraderos. Entre ellos utilizan: neumáticos reciclados para los cimientos y los muros estructurales, tierra para rellenar y hacer de unión entre los elementos reciclados, madera en la estructura, latas de aluminio y botellas recicladas para tabiques, etc. Actualmente no sólo construyen viviendas, sino también escuelas y otros edificios.

En la imagen 18 podemos ver la construcción de uno de los edificios de esta tipología.



Imagen 18: Construcción Earthship Biotecture. Fuente: Earthship Biotecture, página web: www.earthshipglobal.com

LA ECONOMÍA CIRCULAR

“EN 1997, LA TIERRA CONSUMIÓ LOS RECURSOS NATURALES QUE ES CAPAZ DE REGENERAR EN UN AÑO A FINALES DEL MES DE SEPTIEMBRE. EN 2016 EL “OVERSHOOT DAY” (DÍA DE SOBRECAPACIDAD DE LA TIERRA) FUE EL 8 DE AGOSTO, EN EL 2018 OCURRIÓ EL 1 DE AGOSTO Y EN 2019 EL 29 DE JULIO YA HABÍAMOS AGOTADO TODOS LOS RECURSOS QUE LA NATURALEZA PUEDE REGENERAR EN DOCE MESES.”

WWF

Según WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza) cada año, agotamos antes los recursos naturales que la Tierra tiene la capacidad de regenerar en un año, lo que se llama el **Día de Sobrecapacidad de la Tierra**. Ahora mismo la humanidad vive con los recursos de 1,75 planetas al año²². Lo que trae mayores consecuencias además de la escasez de recursos: deforestaciones, pérdida de biodiversidad, escasez de agua, contaminación del aire, erosión del suelo...

Economía circular es uno de los conceptos que actualmente se relaciona con la sostenibilidad. Está directamente relacionado con un aprovechamiento mejor de los recursos, siendo el agotamiento de los mismos y la acumulación de residuos, unos de los puntos más importantes contra los que luchar en la ralentización del cambio climático como se ha ido viendo hasta ahora.

Según la **Fundación para la Economía Circular** podemos definir *Economía Circular* como “un nuevo sistema económico y social que tiene

como objetivo la producción de bienes y servicios al tiempo que reduce el consumo y el desperdicio de materias primas, agua y fuentes de energía”²³.

Este sistema está enfocado al desarrollo de productos y servicios, y surge como alternativa al modelo de consumo y de producción actual, en el que se extraen los recursos, se fabrica un producto, se utiliza y se desecha. Ya que muchos de los recursos son finitos o su tiempo de regeneración es mucho mayor de lo que se tarda en consumirlos, es importante que en las actuaciones a favor del cambio climático esto se tenga muy en cuenta.

Tanto la fabricación como el proceso para acabar con el uso de un producto o servicio implican un impacto medioambiental, por lo que la economía circular propone una recuperación de ese residuo generado para reintroducirlo al proceso como un nuevo recurso, minimizando por una parte la cantidad de residuos que se acumulan en vertederos y por otra la necesidad de extracción de nuevas materias primas. Se trata de eliminar la palabra *re-*

22. Fondo Mundial para la Naturaleza, WWF (World Wide Fund for Nature), página web: <https://www.google.com/search?q=wwf+significado&coq=wwf+significado&caqs=chrome..69i57j0l7.4383j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

23. Economía Circular. (n.d.). Fundación para la Economía Circular, página web: https://economiecircular.org/wp/?page_id=62

siduo, para pasar a denominarlo *recurso*, buscando así una economía más eficiente, en la que los productos duren más, y haya otro tipo de materias primas que sustituyan aquellas finitas, o aquellas con mayores problemas de regeneración y abastecimiento.

Esta nueva visión pretende poner fin al sistema consumista de “**usar y tirar**” en el que vivimos, apostando por la recuperación, la reutilización y el reciclaje. Para ello es muy importante que el diseño del producto o servicio, desde un primer momento tenga en cuenta el impacto medioambiental y lo

que ocurrirá al final de su vida útil, lo que se denomina dentro de la rama del diseño: **Ecodiseño**.

Un diseño basado en la economía circular aumentaría la vida de los productos, y les daría una segunda, e incluso una tercera. En muchos sectores un cambio de mentalidad hacia una economía circular, implicaría pasos más grandes contra el cambio climático. En el caso de la arquitectura, todo cambio a una arquitectura más sostenible debe pasar por esta nueva visión, apuntando a lo que se podría denominar **Arquitectura Circular**.



Imagen 19: Funcionamiento economía circular frente a economía lineal. Fuente: La economía circular en España. Ecoembes, página web: <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/envases-y-proceso-reciclaje/la-economia-circular-en-espana>.

EL CONCEPTO “CRADLE TO CRADLE”

El concepto “**Cradle to Cradle**” (de la cuna a la cuna), también conocido como C2C, fue desarrollado por William McDonough y Michael Braungart, en su libro “**Cradle to Cradle: Remaking the way we make things**” publicado en 2002.

Este concepto no sólo habla de reducir el impacto negativo, sino de que el impacto de la actividad humana debería ser **positivo**. Con ese objetivo se añadirían los conceptos de “**rediseñar, recuperar y repensar**”, a los conceptos de sostenibilidad anteriores “reducir, reciclar y reutilizar” que se quedan, según los autores, muy lejos de ser suficientes.

A cerca de las prácticas sostenibles actuales, su ideas son: reducir no acaba con el agotamiento de recursos o la producción de residuos, sino que ralentiza el proceso. Por lo tanto ayuda, pero no es una solución al problema, sólo lo retrasa.

Sobre la reutilización, a menudo, los productos no están diseñados para ser reutilizados, por lo que en muchos casos los productos no duran, y se convierten en desechos antes de que puedan ser reutilizados.

En cuanto a los procesos de reciclaje actuales, en muchos casos se recicla para conseguir materiales de peor calidad, que harán productos de menor valor, con una vida más corta y acabarán siendo desechados.

Este pensamiento propone solución a esto y sigue tres principios (imagen 20)²⁴:

- El desperdicio es alimento, “**Waste is food**”: Basándose en el funcionamiento de la naturaleza donde no existe la basura, defienden que todo debería fluir en ciclos continuos de material, donde no se vaya perdiendo su valor y cada residuo sirva de recurso para otro.
- Uso de **energías renovables** como requisito básico para el funcionamiento de edificios y de los procesos de producción.
- **Promover la diversidad**, la multitud de soluciones y posibilidades, atendiendo a las diferencias culturales, creativas o materiales.

Estas ideas hacen del concepto C2C, uno de los orígenes y referencias del pensamiento circular, se opone directamente al modelo de producción y consumo actual y se muestra crítico hacia prácticas sostenibles actuales, ya que las considera insuficientes, y en algunos casos mal enfocadas.

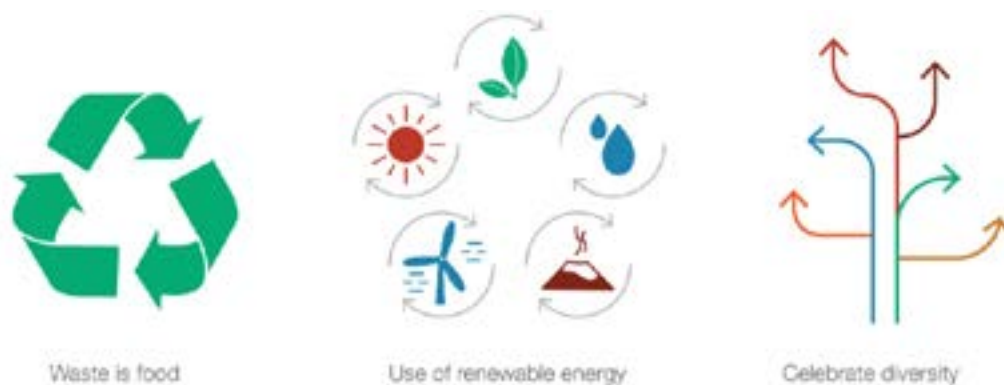


Imagen 20: Principios del concepto Cradle to Cradle. Fuente: *Guideline for Building Services Design inspired by the Cradle to Cradle Concept*. Arup. (2019)

24. Arup. (2019). *Guideline for Building Services Design inspired by the “Cradle to Cradle” Concept*.

Ellen MacArthur es una de las personas más reconocidas dentro del pensamiento circular. Ella es la impulsora de la **Fundación Ellen MacArthur**, una organización que trabaja para acelerar la transición hacia el modelo económico circular, “...una nueva forma de diseñar, fabricar y usar cosas dentro de los límites de la tierra...”²⁵. Trabajan en los campos de la educación, asesorando a empresas e inspirando a los responsables políticos e instituciones.

Proponen el cambio hacia un sistema circular basado en tres **principios**²⁵:

- **Diseñar los desechos y la contaminación.** Defienden la etapa de diseño como una parte determinante dentro del proceso de producción, el impacto ambiental del resto de fases es en gran parte el resultado de la forma en que se diseñan las cosas.
- **Mantener los productos y materiales en uso.** Ante el agotamiento de los recursos, proponen que los materiales y productos se mantengan en el sistema, aumentando su duración, y promoviendo su reutilización y su reciclaje.
- **Regenerar los sistemas naturales.** Como apuntaban anteriormente William McDonough y Michael Braungart, en lugar de intentar hacer menos daño, se debería trabajar para que el impacto fuera positivo, y reactivar la naturaleza.

Basándose en ideas anteriores desarrollaron un modelo (imagen 22) de como funcionaría un siste-



Imagen 21: Logo Fundación Ellen MacArthur. Fuente: Ellen MacArthur Foundation, página web: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>

ma circular, en el que se distingue entre dos tipos de ciclos que suceden paralelamente e interactúan: **ciclos biológicos y ciclos tecnológicos**.

En los **ciclos biológicos**, los materiales siguen un proceso en el que se retroalimenta el sistema a través de procesos como el compostaje. Estos ciclos son los que siguen los recursos renovables. Por otro lado están los **ciclos tecnológicos**, donde para recuperar los recursos se recurre a acciones de reutilización, reparación o reciclaje, por ejemplo.

A partir de todo esto, la Fundación identifica lo que para ellos son las claves para instaurar una economía circular²⁵:

- **El diseño circular:** selección de materiales, componentes estandarizados, productos diseñados para durar, diseño para una clasificación fácil al final de su vida útil, separación o reutilización de productos y materiales, y criterios de diseño para la fa-

25. Ellen MacArthur Foundation, página web: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>

bricación que tienen en cuenta las posibles aplicaciones útiles de los subproductos y los desechos.

- **Nuevos modelos comerciales** innovadores que reemplacen a los actuales: como la venta del producto como servicio.

- **Ayudas para conseguir unas condiciones favorables por parte del sistema:** los cambios en los mecanismos del sistema económico deberán ser respaldados por las instituciones, educativas los responsables políticos y los líderes.

OUTLINE OF A CIRCULAR ECONOMY

PRINCIPLE

1

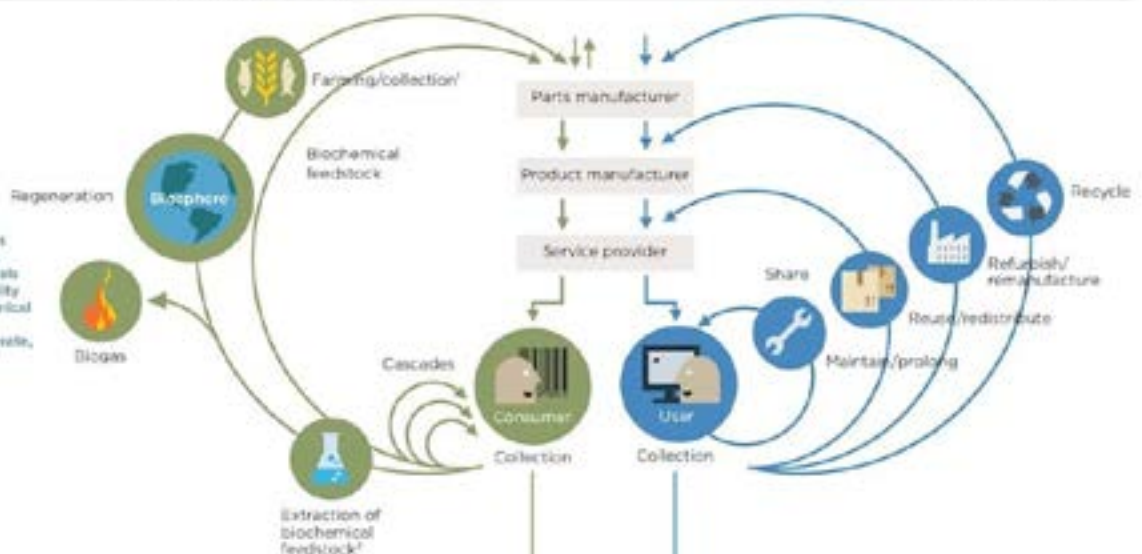
Preserve and enhance natural capital by controlling finite stocks and balancing renewable resource flows. ReSOLVE levers: regenerate, virtualise, exchange



PRINCIPLE

2

Optimise resource yields by circulating products, components and materials in use at the highest utility at all times in both technical and biological cycles. ReSOLVE levers: regenerate, share, optimise, loop



PRINCIPLE

3

Foster system effectiveness by revealing and redesigning out negative externalities. All ReSOLVE levers



Imagen 22: Esquema modelo economía circular de la Fundación Ellen MacArthur. Fuente: Ellen MacArthur Foundation, página web: <https://www.ellen-macarthurfoundation.org/>

POLÍTICAS PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR

En Europa en 2015, la **Comisión Europea** propone 54 medidas para un crecimiento económico sostenible basado en una gestión más eficiente de los recursos y los residuos orientado hacia una economía circular: **Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular**, según el informe posteriormente redactado que analizaba la aplicación de este plan de acción, estas medidas se están llevando a cabo, y aunque el avance es positivo, aún queda mucho camino por delante.²⁶

En 2020 se propone el **Pacto Verde Europeo** como estrategia de crecimiento hacia una economía sostenible. Se presenta como una guía para adoptar las políticas y medidas necesarias para el cambio hacia una mejor y más eficaz gestión de los recursos, y reducción de la contaminación. En cuanto al sector de la construcción, se hace referencia a él, como uno de los más contaminantes y que más recursos consume, y propone una inter-

acción en materia de residuos y una renovación energética. Uno de los elementos de este pacto, es un plan de acción: **“Plan de Acción para la Economía Circular”**, centrado en los sectores que más recursos consumen y además, que mayor potencialidad tienen para esta economía circular, entre ellos la construcción, y propone iniciativas para todo el ciclo de vida de los productos y servicios. El objetivo principal del plan es **reducir la huella del consumo y duplicar la tasa de utilización del material circular** en la Unión Europea durante los próximos diez años.²⁷

En materia de construcción, proponen una estrategia global que fomente la aplicación de los principios de la economía circular a la arquitectura. Se propone intervenir en la normativa, para un mayor reciclaje y una mayor utilización de aquellos materiales reciclados.

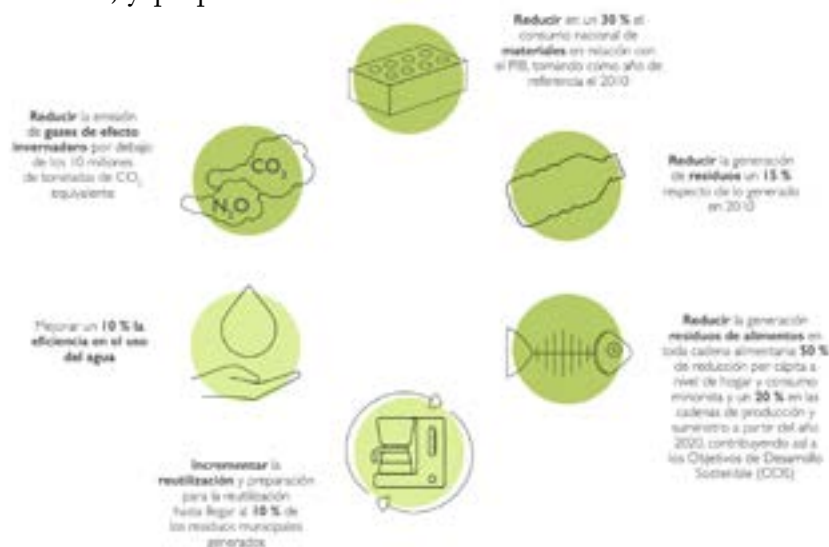


Imagen 23: Objetivos España Circular 2030. Fuente: Estrategia Española de Economía Circular, España Circular 2030. (2020) Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de España.

26. Comisión Europea. Comunicado de prensa del 4 de marzo de 2019. Bruselas.

27. Comisión Europea. (2020). Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. Nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y más competitiva.

28. Economía Circular, Estrategia Española. (n.d.). Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, página web: <https://www.miteco.gob.es/fr/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/estrategia/>

29. Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. (n.d.). Naciones Unidas, página web: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>


ESPAÑA CIRCULAR 2030

Con los anteriores planes como guía y referencia, España aprueba en 2020, la **Estrategia Española de Economía Circular** (EEEC). Ésta propone una serie de objetivos a cumplir y unas orientaciones estratégicas para impulsar un cambio en el modelo de producción y consumo en España, con el fin de dejar atrás las modalidades de consumo y producción lineales actuales. Los objetivos (imagen 23) que plantea son:²⁸

- Reducir en un 30% el consumo nacional de materiales en relación con el PIB, tomando como año de referencia el 2010.
- Reducir la generación de residuos un 15% respecto de lo generado en 2010.
- Reducir la generación residuos de alimentos en toda cadena alimentaria: 50% de reducción per cápita a nivel de hogar y consumo minorista y un 20% en las cadenas de producción y suministro a partir del año 2020.
- Incrementar la reutilización y preparación para la reutilización hasta llegar al 10% de los residuos municipales generados.
- Mejorar un 10% la eficiencia en el uso del agua.
- Reducir la emisión de gases de efecto invernadero por debajo de los 10 millones de toneladas de CO2 equivalente.

Está indicada principalmente para los sectores de la construcción, agroalimentario, pesquero y forestal, industrial, bienes de consumo, turismo y sector textil, sectores que deben ir tomando medidas para adaptarse al cambio.

Estos planes responden a uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). De los 17 objetivos que hay, el número 12: **Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles**²⁹, resumido en:

12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES 

El consumo y la producción sostenibles consisten en hacer más y mejor con menos. También se trata de desvincular el crecimiento económico de la degradación medioambiental, aumentar la eficiencia de recursos y promover estilos de vida sostenibles.

METAS:

12.2 De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales

12.4 De aquí a 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente

12.5 De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.

12.6 Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes

ONU²⁹

A partir, principalmente, de la información de la **Fundación para la Economía Circular**²³ y de **Ecoembes**³⁰, y del resto de información anteriormente expuesta, se proponen unos **principios para la Economía Circular**:

- **Eco-concepción:** considerar el impacto medioambiental de un producto, en todo el proceso, empezando por la extracción de recursos, posteriormente su fabricación y vida útil y teniendo en cuenta qué ocurrirá con el producto al final de su uso.
- **Ecología industrial y territorial:** sistema de organización industrial en un mismo territorio que apuesta por un cambio en el modelo de fabricación y se caracteriza por una gestión colectiva y optimizada de los flujos de materiales, energía, servicios y residuos²³.
- **Economía de la “funcionalidad”:** propone cambiar el concepto de compra-venta de un bien, por el de alquiler de un servicio.
- **El segundo uso:** reintroducir en el circuito económico aquellos productos que ya no se corresponden a las necesidades iniciales de los consumidores²³.
- **Reutilizar:** volver a utilizar ciertos objetos o partes de ellos, con el fin para el que estaban diseñados u otro diferente.
- **Reparar:** hacer cambios para que algo que estaba estropeado, o en mal estado, deje de estarlo y vuelva a ser utilizado, teniendo así una segunda vida.
- **Reciclar:** Someter un material usado a un proceso de transformación para que se pueda volver a utilizar pudiendo ser el producto que era, o uno diferente.
- **Renovar:** actualizar productos antiguos para que continúen con su función, o una nueva.
- **Rediseñar:** Ecoembes nos da esta definición: “El proceso de transformación hacia una economía circular comienza desde el momento del diseño del producto. Es en esta fase cuando decidiremos qué tipos de materiales se usarán para su fabricación, qué envases se emplearán, cómo será su proceso de creación, etc. Introduciendo la ecología en el diseño, también conocida como ecodiseño, fabricaremos productos que tengan en cuenta al medioambiente y la sostenibilidad”³⁰. Se propone una definición alternativa: pensar un nuevo uso, diseño o propósito para algo en desuso, teniendo en cuenta su impacto ambiental.
- **Reducir:** tanto disminuir la cantidad de productos que compramos, como disminuir los recursos materiales y energéticos que necesitamos para fabricar un producto, y los residuos que este produzca. En resumen, reducir el impacto medioambiental de un producto o servicio en todas sus etapas.
- **Recuperar:** Recoger materiales o productos que ya han sido utilizados, y que aún mantienen su utilidad, y reintroducirlos en el proceso productivo.
- **Valorizar energéticamente:** generar energía a partir de los residuos que no se pueden introducir en cualquiera de los procesos anteriores.

BENEFICIOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

La Economía Circular es el modelo de producción y consumo que se presenta como oposición a la Economía Lineal. Éste aporta beneficios principalmente a nivel medioambiental, siendo

AMBIENTALES

- **Disminución del uso de recursos finitos:** un nuevo y mejor aprovechamiento de los residuos, en la idea de volver a ser recursos, reduciría la demanda de recursos finitos a la naturaleza. Además de ser un beneficio, este es uno de los principales objetivos, de este modelo de producción.
- **Reducción de la producción de residuos:** alargar la vida útil de los productos, diseñarlos de manera que puedan tener una segunda o tercera, y que además, puedan ser procesados para reintroducirlos al sistema, reduce la cantidad de residuos, y sobre todo la cantidad de residuos que se puedan acumular en los vertederos sin posibilidad de ningún procesamiento.
- **Reducción del uso de energía:** además de

la lucha contra el cambio climático el principal objetivo del cambio, pero también socialmente y económicamente sigue una estructura que puede activar y revitalizar nuevos sectores y dar nuevas oportunidades. En cuanto a los beneficios que la Economía Circular proporciona, los podemos clasificar en tres áreas:

ser uno de los objetivos de este modelo, en muchos casos los procesos de reciclaje y de procesamiento de residuos para crear nuevas materias primas suponen un gasto energético mucho menor. Por otra parte este modelo aboga por el uso de energías renovables de manera que la energía usada proceda de recursos que no se acaben o se regeneren rápidamente.

- **Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero:** calcular, controlar y reducir la huella de carbono de cada producto y servicio, es otro de los rasgos importantes a tener en cuenta en este sistema. Esto unido al uso de energías renovables reducirán los gases de efecto invernadero que aceleran el calentamiento global.



Imagen 24: La "boina" de contaminación sobre Madrid. Fuente: Periódico El País, página web: https://elpais.com/ccaa/2018/01/27/madrid/1517069800_896497.html

30. La economía circular en España. (n.d.). Ecoembes, página web: <https://www.ecoembes.com/es/usuarios/envases-y-proceso-reciclaje/la-economia-circular-en-espana>

SOCIALES

- **Elaboración de productos más duraderos para el consumidor:** aumentar la vida útil de los productos y fomentar su reutilización y recuperación, además de reducir los residuos y su procesamiento, le otorga al consumidor mayor tiempo de uso, reduciendo la necesidad de adquirir nuevos productos similares. Siendo además la reparación, la primera de las opciones antes de ser desechado.
- **Ahorro económico y mayor calidad de vida:** que los productos que adquieran las personas sean más duraderos y tengan más facilidades para su reparación, reduce el gasto económico de las personas. Por otra parte fomentar la compra de servicios antes que de productos, también colabora a ello. Si tú compras un producto y se estropea, tú tendrás que adquirir otro, por el contrario si tú pagas por un servicio, quien te proporcione ese servicio se hará cargo de que el producto que te lo aporta te lo siga dando.
- **Disminución de la contaminación del aire y del agua, y con ello de los factores de riesgo para la salud, para así mejorar el bienestar de la población:** reducir la emisión de gases y la contaminación mejora la calidad del aire, que además de alargar la vida del planeta, alarga y mejora la vida de las personas. Según la OMS la contaminación atmosférica aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias agudas y cardiopulmonares. Donde más se puede apreciar esto es en las grandes ciudades.

ECONÓMICOS

- **Generación de empleo en el sector de la gestión de residuos:** la gestión y el tratamiento de residuos sería uno de los sectores con más auge. Por una parte se crearían nuevos puestos de trabajo dentro de las empresas e industrias especializadas en ello, pero también en aquellas empresas que fabrican productos, se introduciría una nueva fase de trabajo en la que se recuperen, reciclen o reutilicen sus productos. Cada vez en las empresas hay más preocupación por la sostenibilidad y requieren de gente especializada en ello para adaptarlo a sus procesos y servicios.
- **Reindustrialización del territorio nacional:** en una situación en la que las materias primas escasean y es necesario aprovechar los recursos de los que dispone cada país, se favorecería la reindustrialización local relacionada con los recursos del lugar, reactivando así su economía y generando empleo.
- **Seguridad en el suministro de materias primas y energía:** crear una modalidad de producción sostenible en la que se recuperen los residuos como nuevos recursos y se utilicen fuentes de energía renovable, asegura el abastecimiento a las empresas de energía renovable y materias primas, frente a un futuro en el que productos como el petróleo, el gas, o el carbón escaseen y llegue un momento en el que sea muy poca la cantidad disponible, suba su precio y las industrias no puedan permitirse su adquisición, hasta el agotamiento.

EJEMPLOS DE PRODUCTOS Y SERVICIOS BASADOS EN LA ECONOMÍA CIRCULAR

Existen **fabricantes y diseñadores** que basan su sistema de producción y de consumo en los principios de la economía circular. Es importante entender cómo se puede aplicar esta teoría a pequeños productos para poder extenderla a algo más complejo como la arquitectura. Para poner en práctica estas ideas es importante estudiar y conocer a fondo el producto y sus posibilidades para elegir las estrategias que pueden asegurar un mejor aprovechamiento de él, en su producción, comercialización, uso y recuperación. Ya que no todas las ideas

son aplicables a todos los productos o procesos.

Tras haber analizado la teoría de la economía circular, a continuación se van a explicar algunos de los ejemplos más significativos dentro del diseño circular. Uno de los ejemplos es de un **servicio** y otro de un **producto**. Estos ejemplos sirven como referencia y marcan unas pautas y objetivos a tener en cuenta a la hora de seguir avanzando en el diseño circular y expandirlo a un proceso con tantas partes y agentes implicados como es la arquitectura.

SERVICIO BASADO EN ECONOMÍA CIRCULAR

Uno de los principios de la economía circular denominado “**Economía de la funcionalidad**”, es lo que trata de poner en práctica la empresa situada en los Países Bajos: **Bundles**. Bundles trata de aplicar el cambio de la compra-venta de un bien, por el de **alquiler de un servicio**, a los electrodomésticos: lavadora, secadora, lavavajillas y cafetera.

En el caso de una lavadora, ellos ofrecen el alquiler del servicio para obtener la ropa lavada, los clientes pagan una mensualidad, y la empresa se encarga de instalar y mantener el electrodoméstico operativo. Al final del servicio, o de la vida útil del electrodoméstico, ellos se encargan de retirarlo

y sustituirlo, y reciclar y reutilizar las piezas para fabricar uno nuevo.

Lo que busca Bundles con este sistema, es que las personas utilicen sus electrodomésticos de calidad, que están diseñados para que consuman menos energía, y al final de su vida ser reciclados para crear nuevos, en vez de electrodomésticos de peor calidad que al final de su vida simplemente se desechan. En este caso tanto el cliente como la empresa tienen el mismo interés, que el producto tenga una larga vida útil y un mantenimiento apropiado para que así sea.



Imagen 25: Funcionamiento del servicio de alquiler de electrodomésticos de la empresa Bundles. Fuente: Empresa Bundles, página web: <https://bundles.nl/en/>

PRODUCTO BASADO EN ECONOMÍA CIRCULAR

The Agency of Design, un estudio de diseño multidisciplinar, es el diseñador de estos tres modelos de tostadora, basados en los principios de la economía circular. Como se ha dicho anteriormente, no hay una solución única y perfecta, sino que se pueden investigar diferentes caminos por los que abordar un problema.

En este caso, la idea principal era analizar el final de la vida útil de los productos eléctricos, y tras un análisis de la situación, uno de los principales retos al que se enfrentaron fue la desconexión entre el fabricante y el final de la vida útil de los productos que anteriormente había fabricado. Actualmente un fabricante no tiene ninguna motivación para diseñar de manera que los residuos sean reciclables o reutilizables, ya que sólo la empresa dedicada a la gestión de residuos se beneficiaría de ello.

Buscar esa reconexión es uno de los aspectos al que tratan de dar solución, y utilizan un objeto eléctrico, simple y cotidiano para hacer la prueba: una tostadora. Para ello, utilizaron tres diferentes estrategias para diseñar la tostadora con flujos de material circulares.

El primer modelo (imagen 26), “la optimista”, trataba de poner solución a la obsolescencia de los

productos, por lo que diseñaron: “una resistente pieza de aluminio fundido, tan simple que no había nada que romper”³¹. Estaba diseñada para alargar su vida útil y permitir una fácil reparación de lo que se pudiera romper. Además eligieron el aluminio como material, ya que tenían estudiado su reciclaje.

Con el segundo modelo (imagen 27), “la pragmática”, lo importante era conectar al fabricante con su propio producto al final de la vida útil. Por lo que construyeron una tostadora modular, para que pudiera separarse en caso de fallar y así ser devuelto fácilmente al fabricante para su reparación. Como la idea es que la tostadora vuelva al fabricante para su reparación, su montaje y desmontaje debería ser sencillo y las piezas reutilizables y estándar.

Con el tercer modelo (imagen 28), “la realista”, se buscaba una solución económica que pudiera ser competitiva en el mercado, pero que a su vez se pudiera reciclar los materiales, por lo que era importante que los elementos se pudieran separar y diferenciar fácilmente para ello. En este modelo lo importante era que el desmontaje fuera rápido y eficaz, para separar los materiales en poco tiempo, ser reciclados y fabricar nuevas.

LA OPTIMISTA



LA PRAGMÁTICA



LA REALISTA



Imágenes 26, 27, 28: Imágenes de los tres modelos de tostadora diseñados por The Agency of Design. “La optimista”, “la pragmática”, “la realista”; nombradas de izquierda a derecha. Fuente: The agency of design, página web: <https://www.agencyofdesign.co.uk/projects/design-out-waste/>

31. *Design Out Waste*. (n.d.). The Agency of Design, página web: <https://www.agencyofdesign.co.uk/projects/design-out-waste/>

LA ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA A LA ARQUITECTURA

“LA FORMA EN QUE VIVIMOS PUEDE SER DIRIGIDA UN POCO POR LA ARQUITECTURA”

TADAO ANDO

Como se ha dicho anteriormente, **todo cambio a una arquitectura más sostenible debe pasar por el concepto de economía circular** y la arquitectura es uno de los campos más adecuados, además de por su impacto ambiental, por sus posibilidades.

Aunque la producción de residuos y, la utilización de grandes cantidades de recursos materiales son unos de los puntos críticos dentro del proceso, son los primeros puntos que hacen de la arquitectura y la construcción un sector con potencial para poder avanzar hacia esta nueva modalidad de consumo y producción. Además, es un campo que está en continuo cambio, introduciendo mejoras: nuevas tecnologías, sistemas, materiales, recursos, estéticas... está creando continuamente y como se señala anteriormente, estos cambios cada vez van más enfocados a una arquitectura sostenible, no sólo por el medio ambiente, sino por todas las ventajas de habitabilidad y diseño que aporta.

Para que estos cambios sean efectivos deben valorar y abarcar todo el proceso, ya que es un proceso muy largo en el que están implicados muchos agentes y subprocesos. Esto hace que su

implementación sea algo mucho más compleja que los ejemplos anteriormente vistos. Pero no es suficiente con pequeños cambios, es importante que la arquitectura y el sistema esté preparado para una visión sostenible **de principio a fin**, adaptando las diferentes etapas, los estándares del sector y con la concienciación y colaboración de todas las personas que intervienen.

En este apartado, se procederá a analizar de forma general el **proceso constructivo completo** y los aspectos en los que el **papel del arquitecto** es relevante a la hora de tomar decisiones que afectarán al impacto ambiental de toda la arquitectura. Posteriormente, tomando como referencia el primer apartado y el esquema utilizado, se analizará un **ejemplo de arquitectura proyectada y construida en base a los principios de la economía circular**. El objetivo es poder apreciar las estrategias que se utilizaron, los retos a los que se enfrentaron y cómo los abordaron y los aspectos que consideraron más importantes a la hora de proyectar un edificio que se ajustara lo más posible a los ideales sostenibles de la economía circular.



IMPACTO AMBIENTAL DE LA ARQUITECTURA ACTUAL

ANÁLISIS GENERAL DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Para poder ver más claro el impacto ambiental que tiene el proceso de construcción en la naturaleza actualmente y porqué se propone un modelo circular, se va a proceder a analizar el proceso constructivo habitual, desde la extracción de recursos, durante su vida útil, y hasta el procesado y gestión de los residuos. Aunque se tiende a pensar en el impacto de la arquitectura sobre todo durante su fase de uso y construcción, es importante entender que es un proceso mucho más largo, que no acaba cuando se acaba de construir el edificio y se empieza a usar, sino que la vida del edificio por muy larga que sea un día acaba y ese momento también es relevante en la arquitectura e incumbe a los arquitectos.

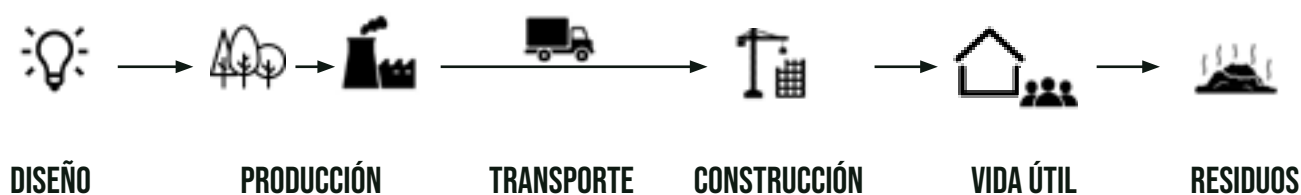
En primer lugar, este análisis se llevará a cabo bajo la premisa principal de que es un **proceso lineal**, aunque en algunos casos se lleven a cabo tareas de reciclaje, reutilización u otras formas de va-

lorización de materiales y elementos constructivos.

Por otra parte, hay que resaltar también que el proceso de construcción es **un proceso muy complejo en el que participan muchos agentes**, con responsabilidades y papeles diferentes, pero todos finalmente conectados.

Para ello se va a dividir el conjunto en una serie de fases principales y genéricas, que en su mayoría se irán sucediendo de manera consecutiva: **diseño, producción, transporte, construcción, vida útil, fin de la vida útil, gestión y tratamiento de residuos**. Y el objetivo será entender la relevancia de la fase de diseño y el papel del arquitecto a la hora de tomar decisiones sobre las siguientes fases. Por ello, el análisis de la fase de diseño se hará al final para poder primero ver el impacto del resto de fases y entender al final todas las decisiones que puede tomar el arquitecto para condicionar el impacto medioambiental.

PROCESO CONSTRUCTIVO LINEAL



Esta fase contempla desde la explotación de recursos naturales y la extracción de materias primas, hasta la fabricación de materiales y elementos constructivos.

EXPLOTACIÓN DE RECURSOS NATURALES

Son aquellos **bienes que nos da el planeta de forma natural, sin la acción del hombre**³². Su explotación es la que nos da las materias primas y la energía, que precisamos para procesos más complejos. Su sobreexplotación es la que está llevando a la Tierra a un problema de agotamiento de recursos naturales. Dentro de ellos podemos diferenciar entre:

- **Recursos no renovables:** aquellos recursos que son finitos, o que tardan mucho tiempo en regenerarse, mucho más del que tarda el ser humano en consumirlos (tasa de regeneración). Dentro de este tipo tenemos el petróleo, gas natural y el carbón, actualmente fuentes de energía en procesos tanto de producción y procesado de materiales y elementos constructivos, como a lo largo de la vida útil de los edifi-

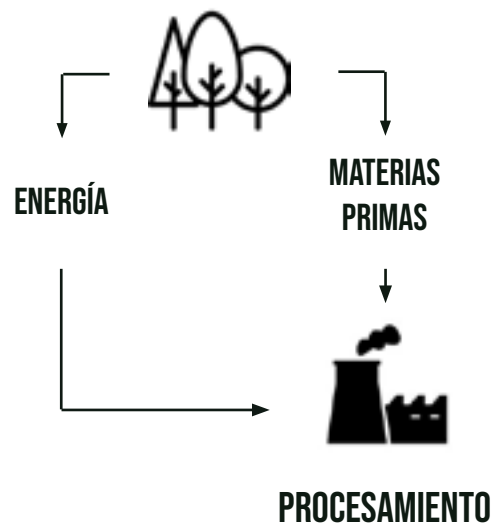


Imagen 29: Extracción de petróleo. Fuente: <http://www.eldiariodelaenergia.com/las-petroleras-mas-importantes-del-mundo/1092>



Imagen 30: Aerogeneradores. Palencia. Fuente: Elaboración propia, Palencia 12 de septiembre 2020.

RECURSOS NATURALES



cios en gran parte de sus instalaciones.

- **Recursos renovables:** aquellos recursos que vuelven a crearse de forma natural en la naturaleza mucho más rápido que lo que tarda el ser humano en consumirlos. Dentro de éstos, hay una parte que no corren el riesgo de acabarse ya que son inagotables, como la radiación solar o el viento, pero por otro lado hay otros que, aunque no hay riesgo real de agotamiento, el ser humano debe cuidar de que sigan renovándose, como la madera en los bosques.

32. ¿Cuáles son las consecuencias de la sobreexplotación de los recursos naturales? (n.d.). Iberdrola, página web: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/sobreexplotacion-de-los-recursos-naturales>

33. Comisión Europea. (2011). Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos.

EXTRACCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Son aquellos **elementos que se extraen de la naturaleza** como: madera, piedra, áridos, arcilla, metal, fibras vegetales, agua, etc. En casi ningún caso se colocan directamente en su estado natural en obra. Generalmente pasan anteriormente algún proceso para perfeccionar sus características, ya sea su forma o tamaño, o mejorar sus cualidades físicas de resistencia o durabilidad.

Según la Comisión Europea el 50% de los materiales extraídos se destinan al sector de la construcción³³.

TRANSPORTE A INSTALACIONES DE PROCESADO

PROCESAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

Para la fabricación de materiales y elementos constructivos. Como se ha dicho anteriormente las materias primas por lo general reciben un tratamiento antes de ser utilizadas en la construcción, pero no todos procesos para el procesado y fabricación de los materiales y elementos constructivos implican el mismo gasto de recursos y energía como podemos ver en la columna de EC_{CBM} (Emisiones de CO₂ por Componente Básico Material)

de la tabla 1. Podemos agruparlos en tres partes:

- Hay ciertos materiales que precisan de tratamientos mínimos por lo que el gasto energético es más reducido, es el caso de la **madera, piedra, fibras vegetales, fibras animales**, etc.
- Después hay otros que, pese a su composición prácticamente natural, son sometidos a procesos industriales con un gasto energético mayor, aumentando también el impacto ambiental, como los **materiales cerámicos** para ladrillos, baldosas y tejas, o el **hormigón**.
- Y en último lugar están los que son prácticamente artificiales, pasan por procesos con un alto impacto medioambiental en los que se necesita una gran cantidad de energía y de recursos: estos son materiales como el **plástico**, el **vidrio**, el **aluminio** o el **acero, barnices y pinturas**.

En un modelo constructivo actual, los materiales más empleados son los áridos, el hormigón y el acero. Por otra parte, materiales como el aluminio o los aditivos, aunque se utilizan cantidades mucho más reducidas, en su producción de emite tanto CO₂, que en comparación el impacto es mayor.

Tabla 1: Tabla emisiones de CO₂ por kg de material y por m² construido de MCH. Fuente: Modelo de cuantificación de las emisiones de CO₂ producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución. M. P. Mercader, A. Ramírez de Arellano, M. Olivares. Junio 2012.

CBMs representativos del MCH definido	Datos ambientales de la imagen de referencia del MCH		
	EC_{CBM} kgCO ₂ /kg	R ^a kg/m ³	ECm ² kgCO ₂ /m ²
Acero estructural y laminado	2,80000	10,76	86,13
Acero cromado, esmaltado, galvanizado	3,78887	5,21	19,74
Aditivo, disolvente, barniz y aceites	13,77640	7,29	100,43
Aluminio (anodizado y lacado)	31,45454	0,99	31,14
Áridos	0,03000	467,19	14,02
Betón astillado	6,49700	1,67	10,85
Cartón yeso	0,47415	22,44	10,64
Cemento	0,41122	29,40	12,09
Material cerámico	0,17516	132,56	23,22
Cobre y cobre recocido	14,82539	0,63	9,34
Hormigón celular y prefabricados	0,45617	31,26	14,26
Hormigón prefabricado y suministrado	0,21851	1026,79	224,37
Mortero prefabricado	0,22268	93,45	20,81
Neopreno	17,65333	1,50	26,48
Temple	14,72049	1,61	23,70
PVC	10,35576	1,04	10,77
Torzazo	0,21619	43,34	9,37
Otros (vidrio, metales, porcelana, cal, etc.)	0,31949	146,48	46,80
Totales imagen de referencia MCH		2043,61	694,16

FASE DE TRANSPORTE

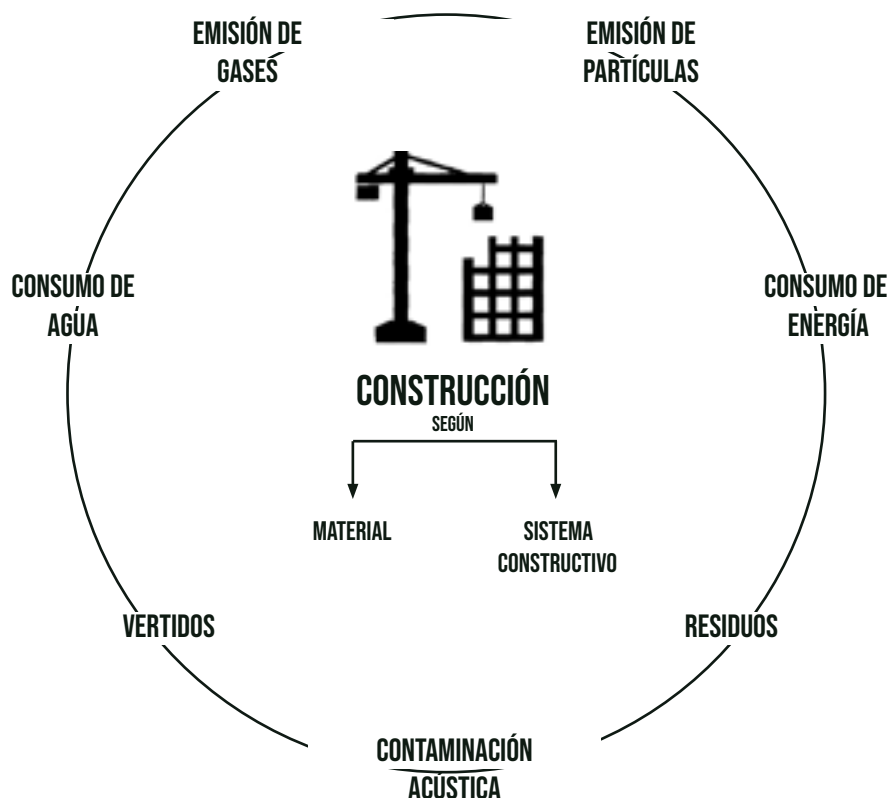
Es la fase en la que se transportan los materiales, sistemas y otros elementos constructivos de fábrica a obra, aunque abarca cualquier tipo de transporte dentro del proceso. Actualmente, los avances tecnológicos, la globalización y las infraestructuras de movilidad, hacen posible el transpor-

te de casi cualquier material a cualquier parte del mundo, lo que conlleva además de un gran impacto ambiental, una disminución de la industrialización local. Poco a poco se está volviendo a apostar por materiales autóctonos, lo que además suele llevar a reducir el impacto del edificio en el entorno.

FASE DE CONSTRUCCIÓN

La fase de construcción comprende, desde la llegada a obra de los materiales, su puesta en obra, y todas las acciones de recogida y limpieza posteriores. Además en esta fase, hay que incluir, todo el material e instalación auxiliar, equipos y material de seguridad, administración, que interviene en cualquier obra. Durante esta fase, el impacto am-

biental podrá ser de diferentes tipos y estos serán mayores o menores en función de las acciones que se lleven a cabo. Estas acciones a su vez serán diferentes según el tipo de sistema constructivo y de los materiales y elementos que se vayan a utilizar, ya que su manejo y puesta en obra es diferente.



TIPOS DE IMPACTO AMBIENTAL:

- **Emisión de gases:** vehículos para transporte en obra, maquinaria y herramientas, pinturas, materiales proyectados.
- **Emisión de partículas:** en acciones de corte, tallado y manipulación de materiales, excavaciones, carga, descarga y transporte de tierras y materiales.
- **Consumo de energía:** maquinaria y herramientas, alumbrado.
- **Consumo de agua:** construcción in situ, limpieza, wc.
- **Generación de residuos:** en acciones de tallado, corte y manipulación de materiales, materiales sobrantes, envases, embalaje, y empaquetado.
- **Vertidos:** contaminación de suelos y aguas.
- **Contaminación acústica:** ruido de maquinaria, señalizaciones.

Tipo de construcción, sistema constructivo.

- **Construcción in situ:** se refiere a un sistema constructivo en el que los materiales se acaban de procesar y preparar en el mismo sitio de la obra, es característica de la construcción con hormigón. En este caso es un proceso más largo y con más fases: amasado, encofrado vertido, fraguado, y curado. Se precisa de más tiempo, maquinaria, mano de obra y materiales auxiliares en cada una de las etapas. Se generan más residuos y precisa de unas acciones de limpieza posteriores. Es el sistema que predomina en la construcción convencional en España (imágenes 31, 32).
- **Prefabricado:** los materiales y elementos constructivos vienen preparados de fábrica para tan solo su colocación en obra. Generalmente los elementos se calculan, dimensionan y fabrican a medida en la fábrica, se transportan y en obra se ensamblan, generando muchos menos residuos, y dependiendo de menos maquinaria y menos mano de obra. El impacto ambiental en obra es mucho menor, se asegura la calidad y es más rápida, pero el proceso de fabricación implica un mayor procesado y en algunos casos transporte especial. Cada vez más, se opta por este sistema (imagen 33).



Imágenes 31, y 32: Construcción in situ. Fuente: Elaboración propia, en Palencia el 2 de Septiembre de 2020.



Imagen 33: Construcción prefabricada. Fuente: <http://maderayconstruccion.com.ar/europa-boom-las-casas-prefabricadas-pasivas-futu->

Tipo de material

En cuanto a los materiales en general con casi todos se producen residuos comunes relacionados con envases, embalajes o materiales de protección. Pero por otra parte dependiendo de sus características y puesta en obra, las acciones que se llevarán a cabo en obra serán diferentes y por lo tanto el impacto que estas produzcan al medio:

- **Tierras:** durante operaciones de movimientos de tierras como desbroces, excavaciones, vaciados, nivelados o desmontes, se produce impacto ambiental debido a la emisión de gases por parte de la maquinaria, emisión de partículas en su transporte, carga y descarga. Todo ello además asociado a ruido, y consumo de energía.
- **Hormigones y morteros:** corresponden generalmente a construcción in situ, y son materiales que durante su producción y puesta en obra pueden llevar a emisión de partículas, generación de residuos procedentes del vertido o de estructuras auxiliares, ruido, consumo de energía, o producción de barros durante las tareas de vertido y limpieza, que pueden llevar a una contaminación de suelo o de aguas.
- **Conglomerantes:** cales, yesos y cementos. Durante su aplicación y puesta en obra se generan residuos sobrantes y precisan de operaciones de limpieza, en las que hay una posible generación de barros que pueden contaminar el suelo o las aguas.
- **Piedra y materiales cerámico:** durante su puesta en obra pueden ser sometidos a operaciones de corte, tallado o adecuación de la forma, que en general se llevan a cabo con herramientas que consumen energía, y se producen durante estas acciones, residuos con el material sobrante.
- **Madera:** operaciones de corte, tallado o adecuación de la forma durante su puesta en obra, generando material sobrante, y que se llevan a cabo con herramientas que consumen energía. La madera también suele ser sometida a tratamientos de protección aplicados en obra, que pueden ser nocivos.
- **Metales:** también operaciones de corte, tallado o adecuación de la forma durante su puesta en obra, generando material sobrante y que se llevan a cabo con herramientas que consumen energía. En soldaduras, añadimos la generación de gases y partículas durante su realización.
- **Pinturas, materiales proyectados:** residuos derivados de su envasado, aplicación, protección y limpieza.
- **Plásticos y polímeros:** durante operaciones de corte, adecuación de la forma y sellado se generan restos de material, y se pueden producir dependiendo del tipo gases nocivos, además de que se utilizan herramientas que normalmente consumen energía.

El impacto medioambiental que produce un edificio durante su vida útil puede venir asociado por una parte a su utilización y vida en él por parte del usuario, y por otra, a las tareas de mantenimiento del edificio durante la misma. Estas dos causas de producción de impacto ambiental durante la vida útil, además, serán diferentes en función de diversos factores del edificio:

Impacto ambiental a causa de su uso y desarrollo de actividades:

- **Consumo energético** para las distintas demandas de uso por parte de los habitantes y usuarios.
 - Calefacción
 - Refrigeración
 - Ventilación
 - Agua caliente
 - Iluminación
 - Suministro para aparatos y sistemas.
- **Consumo de agua**
- **Generación de residuos:** residuos sólidos y aguas residuales.

Impacto ambiental a causa de las tareas de mantenimiento y otras.

Pueden ser a pequeña o a grande escala. Los impactos generados en estas actividades en general son consumo energético y generación de residuos, pero en algunos casos si son de mayor envergadura estas actividades podrán estar asociadas a los mismos impactos o similares que hay en una obra. En este apartado se comprenden tareas de mantenimiento, reparación, rehabilitación del edificio y cambio de uso.

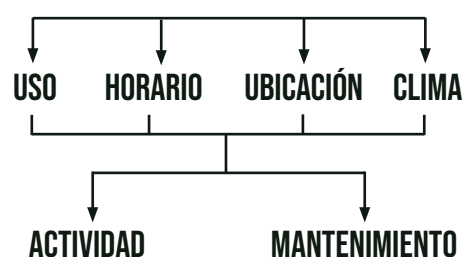
Factores:

- **Tipo de uso:** residencial, docente, comercial, sanitario, religioso, administrativo, cultural, deportivo, de ocio... En función del uso del edificio la afluencia de gente y su concentración simultánea será mayor o menor. Dependiendo de la actividad que se va a desarrollar en el interior las necesidades de confort, el consumo de agua y energía, y la generación de residuos será una u otra.
- **Horarios:** franja horaria (día, noche) , duración (horario continuo, partido) y temporada de uso (estación) ...
- **Ubicación:** incidencia de la luz natural, actividad alrededor...
- **Situación geográfica, climatología.**
- **Diseño:** durante el diseño el arquitecto puede utilizar diferentes estrategias de diseño que condicionarán directamente sus condiciones y consumo, expuestas anteriormente en el apartado: *El arquitecto: estrategias de diseño*



VIDA ÚTIL

SEGÚN



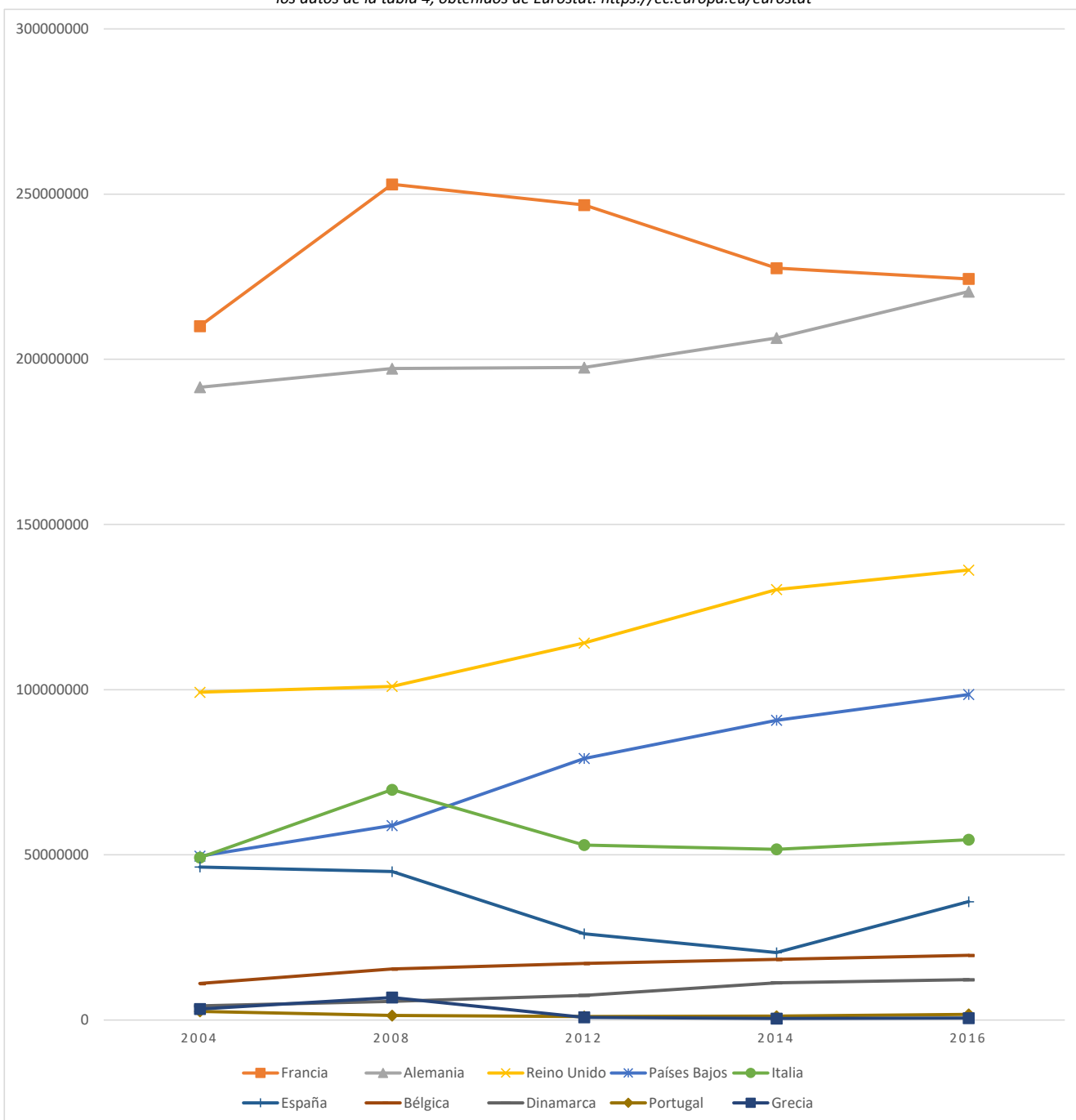
FASE DE GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Los residuos de construcción y demolición (RCD), son aquellas sustancias u objetos que se generan en procesos de construcción, demolición, reforma y rehabilitación de edificios y en excavaciones. Actualmente, el sector de la construcción es uno de los que más toneladas de residuos generan,

entre 2004 y 2016 en Europa, alrededor de un 40% del total de los residuos fueron producidos por este sector, el último dato de 2016 indica que fueron unos 923 millones de toneladas.

A pesar de generar una gran cantidad de residuos, **Europa** destaca en cuanto a su gestión y

Gráfico 1: Evolución por años de los residuos (toneladas) generados por los países más representativos de Europa. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la tabla 4, obtenidos de Eurostat. <https://ec.europa.eu/eurostat>

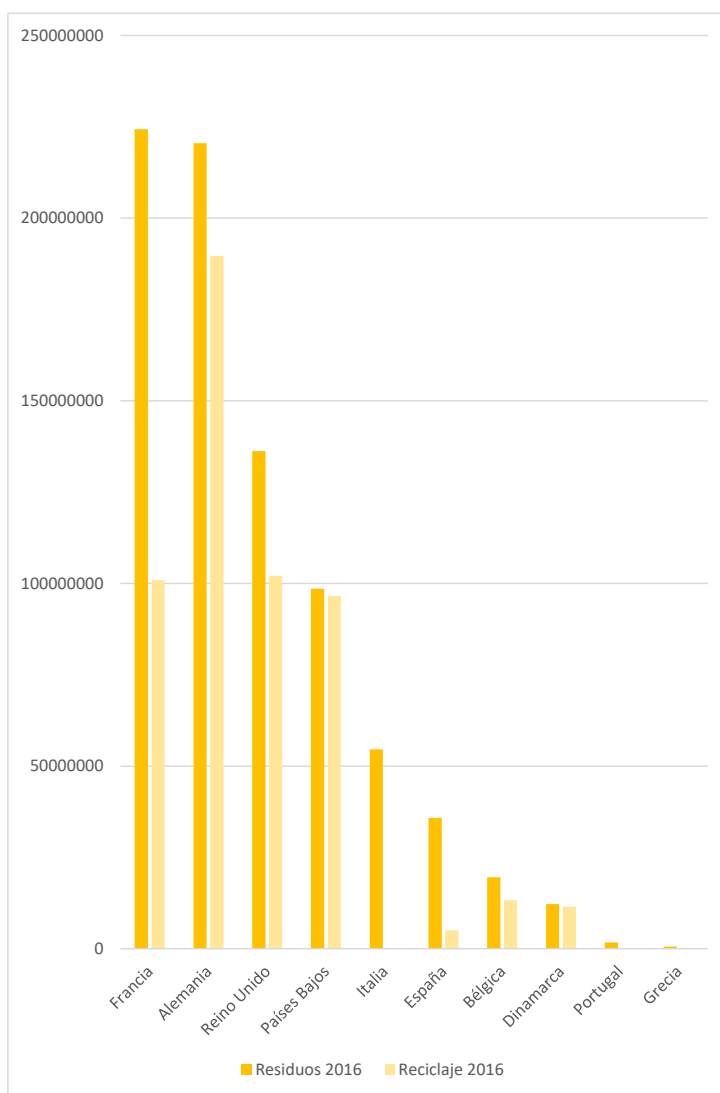


tratamiento. Destacan países como **Alemania, Países Bajos o Dinamarca**, pero por otra parte países como **España o Italia** a pesar de todo lo que generan aún tienen mucho que cambiar.

En estas tablas y gráficos realizados a partir de información del CEDEX y Eurostat, se puede apreciar una gran diferencia entre países, en cuanto a cantidades de residuos y también en porcentajes de reciclaje. En los más avanzados en materia de reciclaje podemos ver valores de hasta más de un 90%, en cambio en otros se puede ver que no se produce ningún tipo de reciclaje. Son los diferentes modelos de gestión según el país los que justifican

las diferencias, y varios los factores que alientan esta falta de interés por parte de algunos: son países en los que las materias primas no escasean y tienen un precio competitivo, además los impuestos a los que están sujetos estos residuos a la hora de depositarlos en vertederos son mucho más bajos que en los países más avanzados en la materia, en los que incluso en alguno está prohibida esta práctica. En general, no se favorece un sistema en el que los residuos vuelvan a la cadena y de momento resulta más fácil, cómodo y barato, mantener el modelo que se lleva utilizando hasta ahora.

Gráfico 2: Comparación entre los residuos generados y la parte que se destino a tareas de reciclaje en los países más representativos de Europa en 2016. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de las tablas 4 y 5, obtenidos de Eurostat y CEDEX (Centro de estudios y experimentación de obras públicas del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)



A partir de los datos encontrados sobre generación y gestión de residuos en Europa en la página web Eurostat y del CEDEX, se ha seleccionado la información que se consideraba relevante y se han elaborado las tablas 2, 3, 4 y 5. Las tablas 2 y 3 recogen los datos de generación de residuos en Europa del período 2004-2016, y el porcentaje de residuos que se trataron con tareas de reciclaje en 2016. Para las tablas 4 y 5 se han seleccionado los datos de los 10 países considerados más representativos de Europa para hacer las gráficas 1 y 2.

Tabla 2: Residuos (toneladas) generados en Europa por los países y años. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Eurostat. <https://ec.europa.eu/eurostat>

PAÍS / AÑO	2004	2008	2012	2014	2016
EU (28 países)	766,250,000	864,450,000	843,940,000	870,250,000	923,670,000
Francia	210,041,309	252,979,840	246,702,428	227,607,180	224,355,946
Alemania	191,562,719	197,206,500	197,527,868	206,466,169	220,499,432
Reino Unido	99,234,124	100,999,493	114,120,793	130,284,145	136,196,492
Países Bajos	49,619,394	58,886,879	79,166,644	90,734,851	98,551,957
Italia	49,150,771	69,731,942	52,965,743	51,670,600	54,576,762
Austria	27,935,266	31,389,803	33,468,558	40,265,570	44,914,816
España	46,319,660	44,926,463	26,129,151	20,418,071	35,827,923
Bélgica	11,037,080	15,441,861	17,132,768	18,347,257	19,573,150
Polonia	1,677,539	6,929,512	15,367,995	17,010,251	18,890,577
Finlandia	20,842,637	24,455,231	16,033,874	16,296,811	13,825,168
Dinamarca	4,273,801	5,674,326	7,454,350	11,263,066	12,224,799
República Checa	8,130,735	10,650,635	8,592,900	9,409,944	10,141,985
Suecia	10,271,183	3,310,326	7,655,935	8,866,720	9,810,987
Luxemburgo	6,979,984	8,282,055	7,079,473	5,979,235	7,614,894
Hungría	1,735,609	3,240,063 ^e	4,038,081	3,439,941	3,591,723
Noruega	1,101,407	1,498,376	1,880,543	2,572,427	3,056,136
Bulgaria	2,998,621	1,828,761	1,032,651	1,340,467	2,089,131
Portugal	2,625,939 ^e	1,364,419	1,087,141	1,185,489	1,710,703
Irlanda	11,286,882	13,547,588	1,132,275	1,884,390	1,521,590
Malta	2,810,774	1,698,659	1,044,088	1,241,079	1,354,892
Croacia	646,282	129,223	674,661	618,158	1,291,506
Estonia	488,537	1,099,100	657,089	671,347	1,173,517
Eslovaquia	1,403,965	1,301,760	806,184	1,386,685	967,275
Chipre	488,499	431,231	965,177	634,801	876,525
Grecia	3,324,000	6,828,051	812,519	479,999	610,638
Eslovenia	907,963	1,376,225	535,154	815,010	543,690
Lituania	357,380	412,045	419,136	434,737	505,758
Rumanía	91,397	318,097	1,325,341	1,048,011	320,811
Letonia	8,243	12,040	7,509	454,281	111,133

Tabla 3: Porcentaje de residuos destinados a tareas de reciclaje Europa por países. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de CEDEX (Centro de estudios y experimentación de obras públicas del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

PAÍS	Reciclaje %	PAÍS	Reciclaje %	PAÍS	Reciclaje %
EU (28 países)	46	Eslovenia	53	Grecia	5
Países Bajos	98	Luxemburgo	46	Chipre	1
Dinamarca	94	Letonia	46	Italia	0
Estonia	92	Francia	45	Suecia	0
Alemania	86	Polonia	28	Bulgaria	0
Irlanda	80	Finlandia	26	Malta	0
Reino Unido	75	República Checa	23	Eslovaquia	0
Bélgica	68	Hungría	16	Rumanía	0
Austria	60	España	14	Noruega	–
Lituania	60	Portugal	5	Croacia	–

Tabla 4: Residuos (toneladas) generados en Europa por los países más representativos y años. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Eurostat. <https://ec.europa.eu/eurostat>

PAÍS / AÑO	2004	2008	2012	2014	2016
EU (28 países)	766250000	864450000	843940000	870250000	923670000
Francia	210041309	252979840	246702428	227607180	224355946
Alemania	191562719	197206500	197527868	206466169	220499432
Reino Unido	99234124	100999493	114120793	130284145	136196492
Países Bajos	49619394	58886879	79166644	90734851	98551957
Italia	49150771	69731942	52965743	51670600	54576762
España	46319660	44926463	26129151	20418071	35827923
Bélgica	11037080	15441861	17132768	18347257	19573150
Dinamarca	4273801	5674326	7454350	11263066	12224799
Portugal	2625939	1364419	1087141	1185489	1710703
Grecia	3324000	6828051	812519	479999	610638

Tabla 5: Porcentaje de residuos destinados a tareas de reciclaje Europa por países. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de CEDEX (Centro de estudios y experimentación de obras públicas del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

PAÍS	Reciclaje %
EU (28 países)	46
Países Bajos	98
Dinamarca	94
Alemania	86
Reino Unido	75
Bélgica	68
Francia	45
España	14
Portugal	5
Grecia	5
Italia	0

En España, el sector de la construcción es el segundo que más residuos genera detrás de la industria, por ello existe una normativa y unas responsabilidades dentro del proceso de construcción relacionados con los residuos. En primer lugar, el objetivo es reducir la cantidad de residuos, tener en cuenta desde un principio los deshechos que se van a generar en el proceso y pensar antes cómo pueden disminuir. Con los residuos que aun así

se generen, se prioriza la reutilización de los elementos y materiales cuyo estado lo permita, posteriormente reciclar lo que no se pueda reutilizar y finalmente pasará a otras formas de valorización energética aquello que no se haya podido aprovechar en alguno de los procesos anteriores.

A pesar de estos objetivos tan claros, según el INE, en 2011, el sector de la construcción generó 32,7 millones de toneladas de residuos, de las cua-

Tabla 6: Residuos (toneladas) generados por sectores de actividad y hogares. Años 2016-2017. Fuente: Elaboración propia a partir de: Cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2017. Nota de prensa 29 noviembre 2019. INE. y Otras cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2016. Nota de prensa 29 noviembre 2018. INE.

Gráfico 3: Residuos generados por sectores de actividad y hogares (porcentaje). Media años 2016-2017. Fuente: Elaboración propia a partir de: Cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2017. Nota de prensa 29 noviembre 2019. INE. y Otras cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2016. Nota de prensa 29 noviembre 2018. INE.

Residuos generados por sectores de actividad en España (2016-2017)

Año	2016	2017
Total	129658,5	132188,5
Industria	39412,6	41327,2
Construcción	33823,9	33347,1
Suministro de agua, saneamiento, gestión de residuos y descontaminación	20148,2	21325,4
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	4211,3	4001
Servicios	6511,3	5600
Hogares	21600,4	22571,6

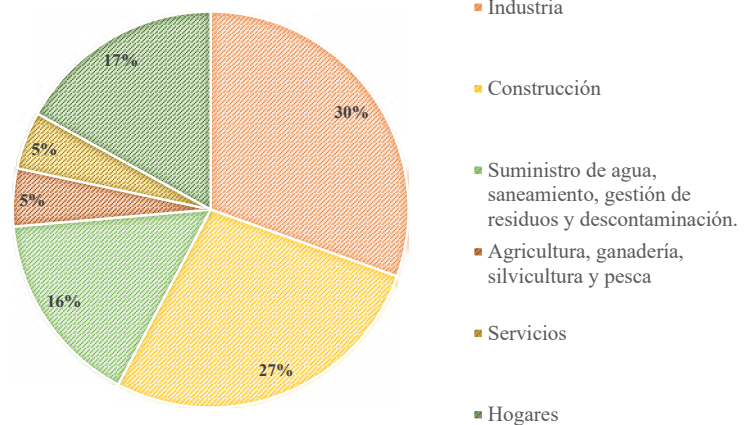
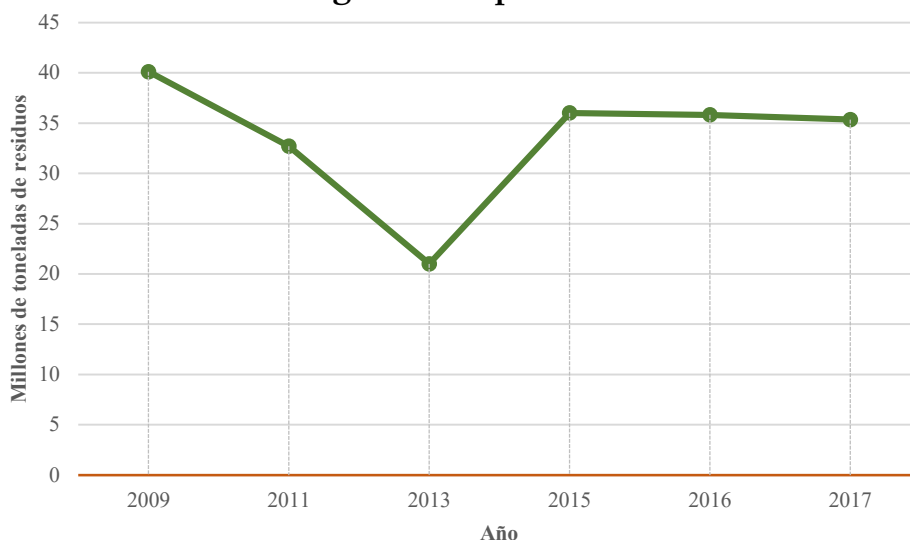


Tabla 7: Residuos generados por el sector de la construcción en España por años. Fuente: Elaboración propia a partir de: Cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2017. Nota de prensa 29 noviembre 2019. INE. y Otras cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2016. Nota de prensa 29 noviembre 2018. INE.

Gráfico 4: Residuos generados por el sector de la construcción en España por años. Fuente: Elaboración propia a partir de: Cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2017. Nota de prensa 29 noviembre 2019. INE. y Otras cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2016. Nota de prensa 29 noviembre 2018. INE.

Residuos generados por el sector de la construcción en España



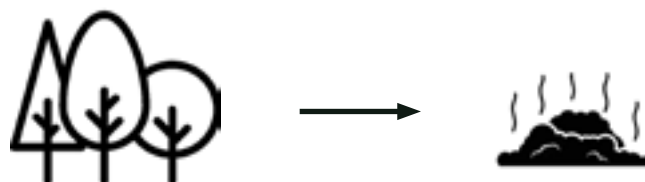
Año	Millones de toneladas
2009	40,10
2011	32,70
2013	21,00
2015	36,00
2016	35,80
2017	35,30

Tratamiento final de residuos (porcentaje). Año 2017



les sólo el 40% se reintrodujo en el proceso por reciclaje, reutilización u otras formas de valorización y más del 60% acabó en un vertedero. En 2016 y 2017, la cifra fue aún mayor de alrededor de 35,5 millones de toneladas (35,8 millones de toneladas en el año 2016 y 35,3 en el año 2017). Aunque este crecimiento podría estar asociado a un aumento de la actividad en el sector durante esos años en comparación con el año 2011, en plena crisis

económica, no deja de ser una cantidad alta. De esta cantidad, la mayoría son residuos minerales, y alrededor de un 55% fue reciclado o introducido en procesos de valorización, un porcentaje cada vez más cerca pero aún lejos del 70%, objetivo al que se quería llegar en 2020, como medida para una construcción con menor impacto ajustándose a los objetivos europeos de la lucha contra el cambio climático. Del total de los residuos tratados en todos los sectores, más del 53% acabaron en vertederos.



La fase y el proceso de diseño es la etapa más importante, ya que está directamente relacionada con todas las fases explicadas anteriormente.

Como se ha dicho al comienzo del análisis, aunque esta fase sea la que primero se lleva a cabo, se va a describir el diseño al final para después de haber visto la multitud de posibilidades en que se puede desarrollar cada fase, entender la relevancia del arquitecto en la primera fase, la fase de diseño.

Se podría organizar el proceso de diseño en:

- **Estrategia y concepto:** análisis del lugar, referencias y programa, propuesta de la estrategia y concepto de proyecto.
- **Concreción de la solución arquitectónica:** organización espacial, planificación, distribución, elección de materiales, elementos y sistemas.
- **Definición del proyecto:** organización en

detalle, modelado, cálculo, dimensionado.

Por una parte a esta fase podemos asociar una contaminación más directa, relacionada con el lugar, la estrategia y el concepto, y aunque muchas veces pase desapercibida, es relevante en lo que se refiere al respeto por la naturaleza y el medio donde se construye. Es el impacto natural que tiene el edificio sobre el medio donde se sitúa. Partiendo de que un edificio ocupa un lugar y lo modifica, su presencia en el lugar y en el paisaje puede llegar a crear un impacto ambiental contra la naturaleza. Por ello es importante, que se proyecte en base al entorno y al lugar y su arquitectura, como ejemplo las Bodegas Dominus de Herzog & de Meuron situadas en el Valle de Napa en California (imágenes 34, 35, 36). Una de las primeras premisas a la hora de su diseño, fue conseguir un mínimo impacto visual en el lugar, para lo



Imagen 34: Bodegas Dominus. Herzog & de Meuron. Valle de Napa, California. En el paisaje. Fuente: <https://www.dezeen.com>



Imagen 35: Bodegas Dominus. Herzog & de Meuron. Valle de Napa, California. Detalle fachada. Fuente: <https://www.dezeen.com>

que se utilizaron materiales de la zona y un diseño compacto.

La fase de diseño en sí, no consume recursos ni produce residuos o contamina, pero sí tiene un impacto ambiental indirecto, a través de las fases que dependan de esta primera. En esta se lleva a cabo una toma de decisiones que afectarán a todo el proceso posterior: a la forma en que se fabrican los elementos, la manera en que se construye el edificio, en cómo se va a utilizar, y qué ocurrirá cuando deje de utilizarse.

Elegir unos materiales u otros, y a su vez unos proveedores u otros influirá en la fase de producción de los elementos del edificio; el tipo de sistema constructivo y a su vez el tipo de material, a la hora de su construcción o montaje; utilizar ciertas estrategias de diseño puede reducir el impacto durante la vida útil; y diseñar teniendo en cuenta el final de la vida útil del edificio favorecerá su posible

adaptación, reciclaje o reutilización, del edificio o de sus componentes.

Para que esta fase sea lo más eficiente posible, requerirá una fase de investigación, análisis y comunicación entre los agentes que participen. En la que se deberá estudiar a fondo las opciones de la industria y del mercado, y las nuevas ofertas; se deberá analizar y comparar el impacto de cada producto y solución, y sobre todo se deberá mantener una comunicación entre todos los agentes implicados para lograr la mejor y más eficiente solución, a la hora de conocer los productos y sacar su mayor rendimiento. Es importante tener en cuenta todo esto desde una primera fase de diseño, y es el mejor momento para pensar en ello de una manera sostenible, lo que se denomina **eco-concepción** y **eco-diseño**, principios básicos de la economía circular, y la clave para aplicarlo a la arquitectura.



Imagen 36: Bodegas Dominus. Herzog & de Meuron. Valle de Napa, California. Acceso. Fuente: <https://afasiaarchzine.com/2019/11/herzog-de-meuron-222/herzog-de-meuron-dominus-winery-yountville-afasia-3/>

ANÁLISIS DE UN EJEMPLO DE ECONOMÍA CIRCULAR EN LA ARQUITECTURA: *THE CIRCULAR BUILDING*

Tras analizar de forma general el proceso constructivo y de la arquitectura, y haber determinado los aspectos más importantes de cada fase relacionados con el diseño y la toma de decisiones del arquitecto, se va a analizar el prototipo *The Circular Building* (imagen 37), como ejemplo de arquitectura proyectada y construida en base a los principios de la economía circular.

Con el objetivo de explicar cómo conseguir un proceso constructivo completo con el mínimo impacto medioambiental, en primer lugar, se analizarán los criterios principales de diseño que se tuvieron en cuenta. Después, se descompondrá el

edificio en todos los elementos que lo componen agrupados según el concepto Shearing Layers de Steward Brand, que se explicará en las referencias de diseño. Y finalmente, se analizará en cada uno de ellos las fases del proceso de construcción descritas en el apartado anterior: diseño, producción, transporte, construcción o instalación, vida útil, gestión y tratamiento de residuos. Con ello, se quiere explicar porqué cada componente cumple con los requisitos y la idea de la economía circular. No se posee información de todas las fases de todos los productos y sistemas, pero sí de lo más relevante de cada uno de ellos.



Imagen 37: *The Circular Building*. Arup Associates. Fuente: ArchDaily, página web: <https://www.archdaily.com/868121/arup-designs-prototype-building-based-on-circular-economy-principles>



Imagen 38: The Circular Building. Arup Associates. Acceso desde el exterior. Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

The Circular Building es un prototipo en el que se aplican los principios y criterios de diseño de la economía circular a la arquitectura. Fue desarrollado para el **London Design Festival 2016**, por **Arup Associates**, **BAM**, **The Built Environment Trust** y **Frener & Reifer**.

El **London Design Festival** es un evento que se celebra anualmente en Londres para promover la creatividad y el diseño de la ciudad. La primera edición fue llevada a cabo en 2003, organizada por John Sorrel y Ben Evans, defensores y activistas de la creatividad y el diseño. En el festival participan cada año profesionales de distintas disciplinas: diseño gráfico, moda, arquitectura, arte, diseño industrial, diseño de interiores, y acercan su trabajo a gente de todo el mundo. Durante los días que se celebra, se pueden visitar y experimentar diferentes estructuras temporales, pabellones, performances o exposiciones por toda la ciudad. Cada año son más

los visitantes de todo el mundo que recorren la exposición, llegando en 2019 a casi el millón.



Imagen 39: Logo London Design Festival 2020. Fuente: London Design Festival, página web: <https://www.londondesignfestival.com/>

The Circular Building formaba parte del programa del LDF de 2016, y se exhibió en el centro de Londres, en el espacio público enfrente de **The Building Centre**, un centro de exhibiciones y coworking, que colaboró con las exhibiciones y conferencias sobre sostenibilidad. El proyecto pretendía acercar al visitante el diseño sostenible en la arquitectura. Éste era al mismo tiempo una demostración en sí misma de los principios de la economía circular puesto en práctica, y un centro de información sobre el sistema de producción y



Imagen 40: The Circular Building. Arup Associates. Interior. Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

consumo circular, donde se realizaban las conferencias relacionadas con el tema.

El principal objetivo del experimento era mostrar cómo se pueden aplicar los principios de la economía circular al diseño y construcción de la arquitectura, promoviendo una arquitectura más respetuosa con el medio ambiente, en la que se consiguiera un mejor aprovechamiento de los recursos y la eliminación de los residuos que se generarían al final de su vida útil. El diseño del edificio tenía en cuenta el impacto ambiental de cada elemento y material, desde su fabricación, construcción, vida útil y final de la vida útil, para que cuando llegara el momento todos los materiales y elementos pudieran ser principalmente reutilizados y en segundo lugar reciclados, rediseñados o re-fabricados.

Los participantes en el diseño y desarrollo del prototipo son distintos estudios de arquitectura, ingeniería y diseño comprometidos con el medio

ambiente, que durante la fase de diseño tuvieron que trabajar juntos en equipo para poder tener en cuenta todas las fases del proceso de construcción, y de esta manera poder conectar de una manera más eficiente todas las partes del edificio y todas las fases del proceso. La comunicación es uno de los aspectos más importantes no sólo entre proyectistas, sino con los proveedores. Éstos son los que mejor conocen su producto y sus posibilidades, así conseguían el mayor rendimiento de cada material y la mejor solución que se adapte al material y al objetivo de su reutilización final.

Aunque se trate de un pabellón temporal de pequeño tamaño e implementar este sistema al proceso actual sería una tarea larga y compleja, este proyecto prueba que es posible y muestra al mundo, a su vez los retos y dificultades que va a suponer, pero por otra parte el potencial que la arquitectura tiene.

REFERENCIAS. EL CONCEPTO *SHEARING LAYERS*.

Para las estrategias de diseño del prototipo se tomaron como referencia los principios del pensamiento circular, principalmente las ideas de William McDonough y Michael Braungart, lo que antes se ha denominado el concepto “Cradle to cradle”, y las ideas de la fundación Ellen MacArthur, ambas desarrolladas anteriormente.

Para la organización del diseño de The Circular Building, fue muy importante como referencia el concepto Shearing Layers. Este concepto fue planteado por primera vez por el arquitecto Frank Duffy durante los años 70³⁴ y posteriormente fue desarrollado por Steward Brand en su libro *How Buildings Learn: What Happens After They're Built* en 1995.

Esta idea parte de que los edificios cambian y evolucionan con el tiempo, debido al desgaste por uso, al cambio llevado a cabo por el usuario u otros factores humanos o ambientales. Pero no todos los

elementos que componen un edificio evolucionan, de la misma manera, empezando con que todos los materiales no tienen las mismas esperanzas de vida. Por lo que este concepto propone una visión de un edificio no como un sujeto único, sino como un conjunto de capas que evolucionan según diferentes líneas de tiempo y a su vez están conectadas entre sí.

Las capas que se plantean son seis: lugar, estructura, envolvente, instalaciones, acabados interiores, y mobiliario

Proyectar el edificio teniendo en cuenta este concepto y sus capas, permite que éstas trabajen por separado y se puedan tener en cuenta y reemplazar más fácilmente.

También se hizo referencia a este concepto en el diseño del edificio, ya que desde dos de las fachadas, las acristaladas, se podían ver parte de las capas del edificio (imagen 42).

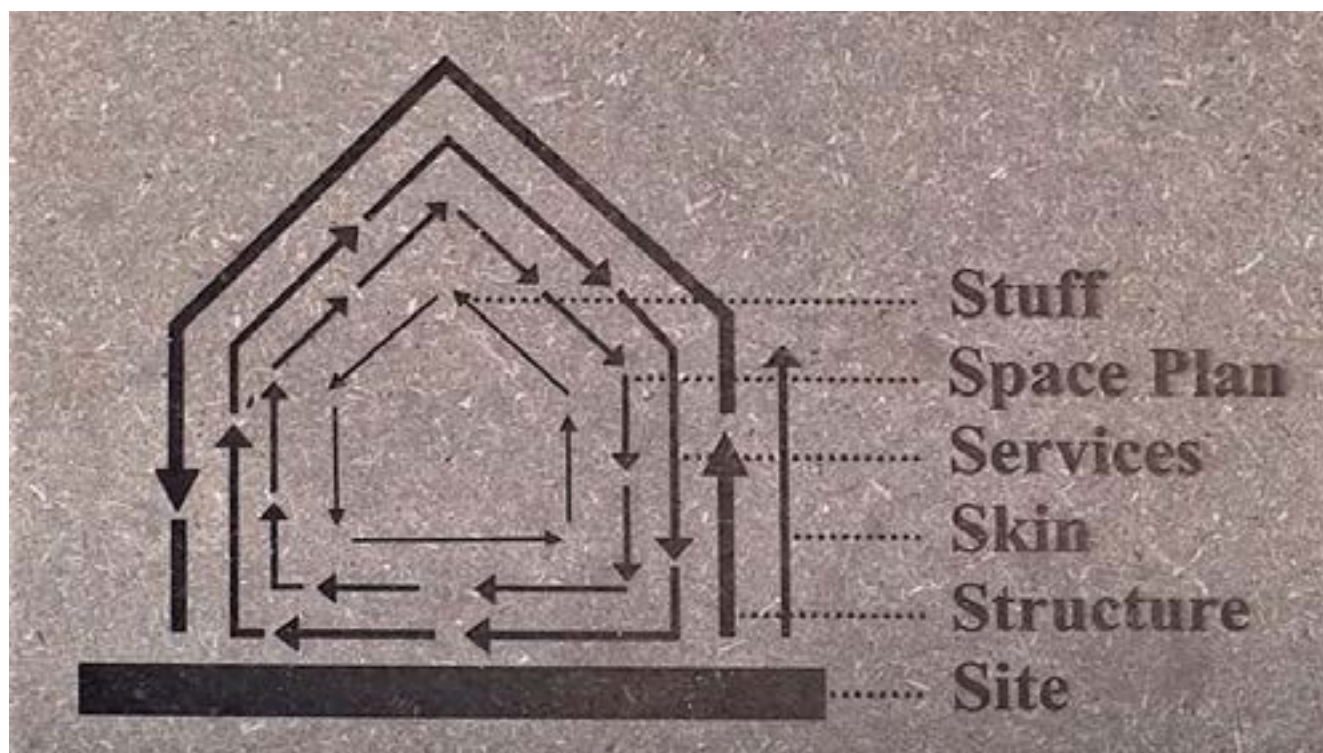


Imagen 41: Esquema del concepto Shearing Layers sobre panel SIP de “The Circular Building”. Fuente: Recorte del vídeo “The Circular Building-A learning journey” de BuildingsatArup. https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ

34. Arup. (2016). *The Circular Economy in the Built Environment*.



Imagen 42: Fachada trasera de The Circular Building, donde se pueden percibir las capas del edificio. Fuente: <https://archinect.com/aruparchitects/project/the-circular-building>

RASGOS GENERALES DEL PROYECTO

El proyecto The Circular Building, es una vivienda de una planta con cubierta a dos aguas. La estructura crea una trama modulada en planta y divide sutilmente el espacio en cuatro partes, tres interiores y una exterior. En el interior se pueden diferenciar, un espacio residencial, uno de trabajo y otro representando un espacio público (de abajo arriba en el plano de la planta de la imagen). El cuarto espacio, el exterior, es un porche por el que se accede al prototipo, la estructura sigue apa-

reciendo aunque aquí totalmente desnuda, dando a entender la posible ampliación y adaptación en un futuro del edificio.

El diseño modular de la planta y de los espacios, apoyado por la estructura, es otro de los recursos que se promueven desde el equipo como estrategia para una posible adaptación y ampliación de los edificios a lo largo de su vida útil ante cualquier cambio de uso o de circunstancia. La arquitectura modular se caracteriza por su versatilidad y rapidez.



Imagen 43: "The Circular Building". Planta. Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

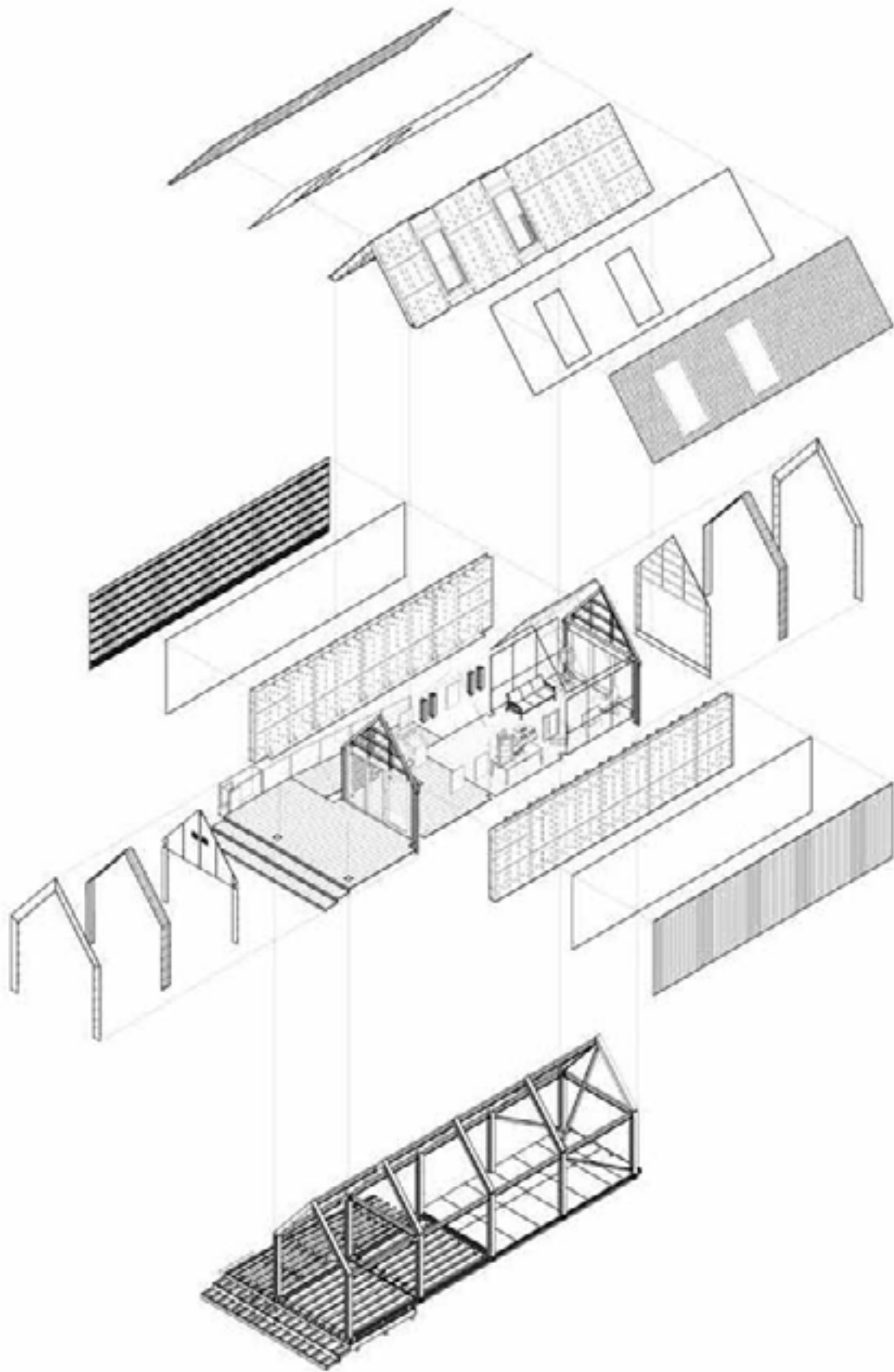


Imagen 44: "The Circular Building". Axonometría explotada. Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

COMPONENTES DEL EDIFICIO

1. LUGAR

2. ESTRUCTURA

- PÓRTICOS DE ACERO, ARCELORMITTAL Y LINDAPTER
- SUBESTRUCTURA DE MADERA, TRAVIS PERKINS GROUP

3. ENVOLVENTE

- REVESTIMIENTO DE MADERA, ACCOYA
- PANELES PREFABRICADOS AUTOPORTANTES SIP, ARUP
- LÁMINA IMPERMEABLE, FATRA
- TRAGALUCES, VELUX

4. INSTALACIONES

- ELEMENTOS DE CONTROL Y REGULACIÓN, ARUP
- SISTEMA DE BATERÍAS AHI, AQUION ENERGY
- ILUMINACIÓN, XICATO
- VENTILACIÓN, ARUP

5. ACABADOS INTERIORES

- TELA ACÚSTICA, AUTEX
- MOQUETA, DESSO

6. MOBILIARIO

- SILLA DE OFICINA CONTEMPORÁNEA ARA, ORANGE BOX
- FELPUDO HUG RUG, HUG HOME
- SILLONES Y SOFÁS, BUZZI SPACE

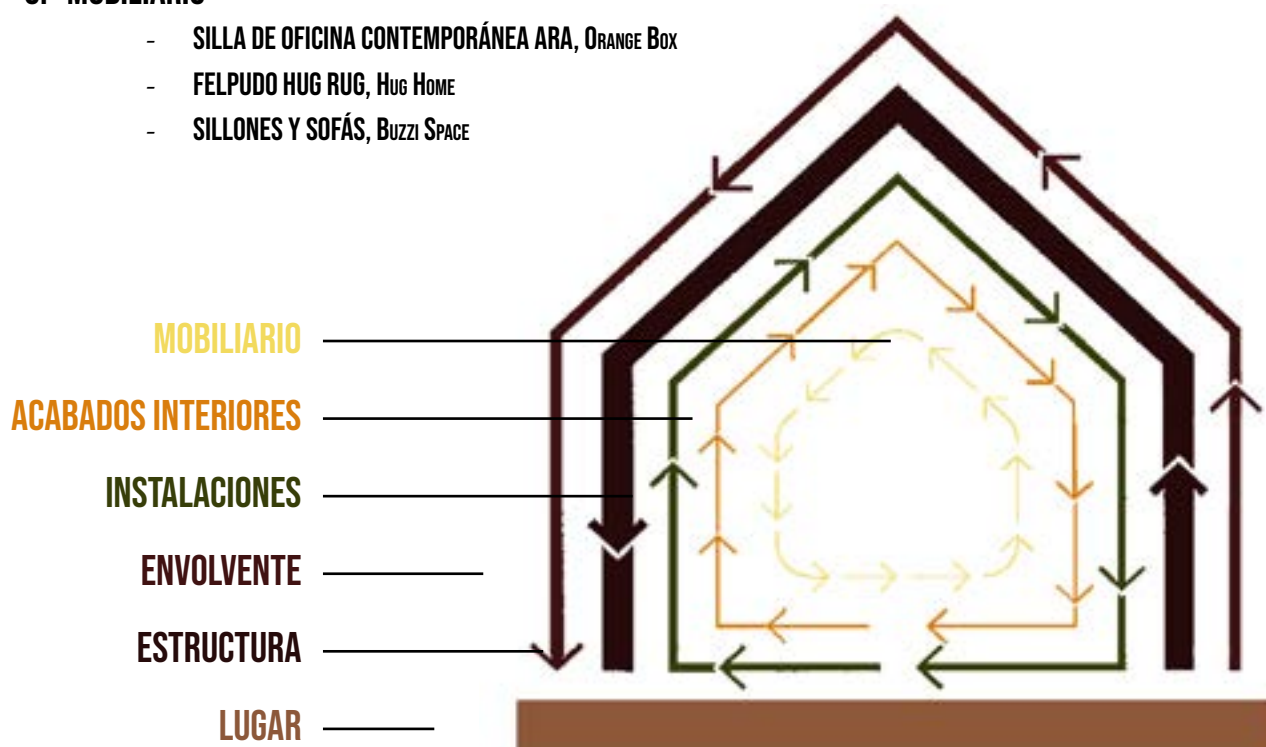


Imagen 45: Esquema "Shearing Layers" por colores asignados a las capas de "The Circular Building". Fuente: Elaboración propia.

1. LUGAR

Como se ha dicho anteriormente, el prototipo The Circular Building se desarrolló para el London Design Festival en 2016. Su ubicación (imagen 46) para la exposición fue en el centro de Londres, en Store Street, en el espacio público en frente de

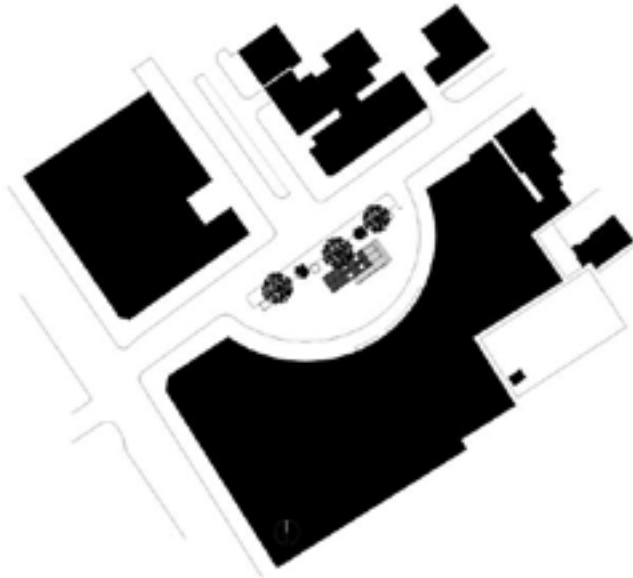


Imagen 46: "The Circular Building". Plano de situación. Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

The Building Centre. Se situó aquí por la colaboración de The Building Centre con el festival y la exposición "Circular Living" (imagen 47) de la que formaba parte el prototipo. En esta exposición se mostraba cómo la economía circular era aplicada a



Imagen 47: Exposición "Circular Living" en "The Building Centre", Londres. Fuente: BMIAA, página web: <https://www.bmiaa.com/circular-living-installation-and-exh-at-the-building-centre/>



Imagen 48: "The Circular Building" en Store Street. Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

2. ESTRUCTURA

PÓRTICOS DE ACERO, ARCELORMITTAL Y LINDAPTER

DISEÑO

La estructura se compone de **pórticos de acero a dos aguas**. El marco estructural divide la vivienda en tres espacios interiores diferenciados, y se extiende más allá del edificio creando un espacio exterior que da a entender que existe la posibilidad de ampliación y adaptación en un futuro.

El equipo eligió como material el **acero**, por varias razones. Por una parte, porque aunque actualmente no se ve como un material sostenible, hay parte de la industria del acero que está trabajando para cambiar eso, investigando cómo dar un futuro sostenible al material y así aplicar la economía circular también en su proceso. Por otra, buscaban una estructura que se pudiera montar y desmontar fácilmente, para posteriormente tener la posibilidad de ser reutilizada.

La empresa con la que se trabajó para desarrollar la estructura y diseñar cada detalle, fue **Arce-
lorMittal**.



Imagen 49: Esquema estructural "The Circular Building". Fuente: elaboración propia a partir de la planta

PRODUCCIÓN

Los elementos que componen los pórticos, son elementos recortados de perfiles de acero ya utilizados anteriormente. Las medidas del proyecto tuvieron que adaptarse a las longitudes de los perfiles de acero reutilizados disponibles.

CONSTRUCCIÓN / INSTALACIÓN:

Los perfiles venían preparados de fábrica, para que en obra tan sólo hubiera que unirlos mediante **sistemas mecánicos**. Estos sistemas fueron pensados para permitir al final de la vida útil un fácil desmontaje. De esta manera en obra se reducirían las acciones para su construcción, el tiempo y los residuos.

Los perfiles de la estructura se conectaron entre sí mediante uniones atornilladas situadas en los extremos de las piezas (imagen 50). Estas uniones se estudiaron detalladamente entre los proyectistas y el fabricante y venían preparadas de fábrica para tan sólo colocar y atornillar.



Imagen 50: Unión atornillada entre perfiles de acero de la estructura de "The Circular Building". Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>



Imagen 51: Construcción de la estructura de acero de "The Circular Building". Fuente: BAM, página web: <https://www.bam.co.uk/media-centre/news-details/bam-opens-circular-building-at-london-design-festival>

Las uniones entre el resto de elementos (paneles de cerramiento, ventanas, acabados) y el marco estructural, se diseñaron específicamente para evitar agujerear la estructura (imágenes 52, 53). Eran unas conexiones de acero que fijaban los elementos

sin necesidad de agujerearlos y así, al desmontarlo, poder disponer de cada elemento y material completo en las mejores condiciones. Estos dispositivos estaban formados por placas, tornillos y tuercas de acero y se encargó de su diseño la empresa Lin-



Imagen 52: Unión de abrazadera entre perfiles de acero de la estructura y los paneles del cerramiento. "The Circular Building". Fuente: Lindapter, página web: http://www.lindapter.com/Case_Studies/Arups_Circular_Building



Imagen 53: Unión de abrazadera entre perfiles de acero de la estructura y el acristalamiento. "The Circular Building". Fuente: Lindapter, página web: http://www.lindapter.com/Case_Studies/Arups_Circular_Building

Era un dispositivo de abrazadera de acero unido a una placa metálica. Para colocarlo, en primer lugar se posicionaban los elementos a unir colocando la placa base metálica entre ellos, y dejando

los agujeros de las esquinas despejados. Se situaban en cada esquina los pernos, la tuerca y la arandela, y finalmente se apretaban usando una llave dinamométrica.

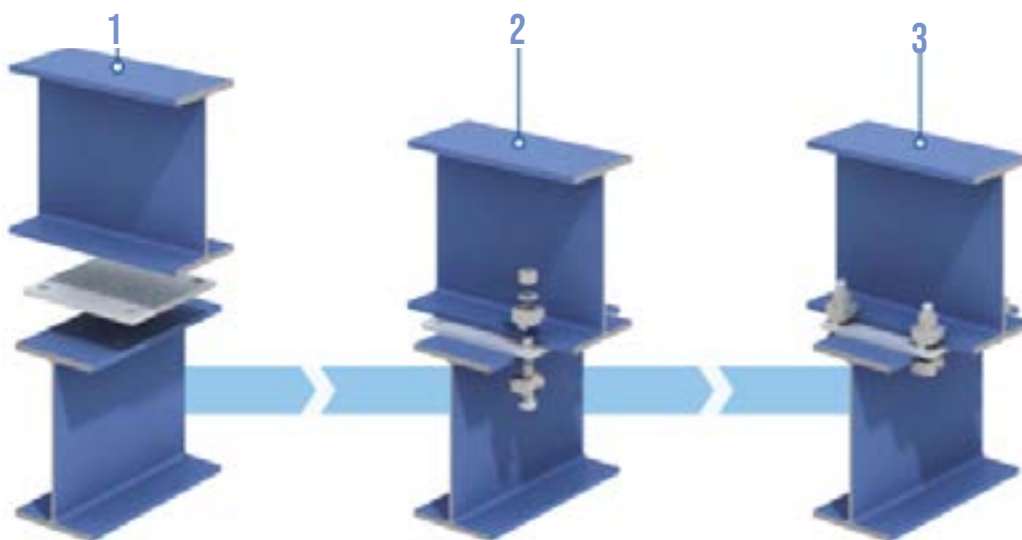


Imagen 54: Montaje del sistema de unión diseñado por Lindapter. Fuente: Catálogo 2017 Lindapter recuperado de www.lindapter.com

Su diseño se estudió para que pudiera adaptarse a todas las conexiones, resistir pesadas cargas y se pudiera también utilizar para muchos tipos de

perfiles y secciones estructurales en futuros proyectos: entre viga y viga, viga y pilar, viga horizontal y viga inclinada.

VIGA - VIGA



VIGA - PILAR



VIGA HORIZONTAL-VIGA INCLINADA



Imagen 55: Uniones entre distintos elementos mediante el sistema de Lindapter. Fuente: Catálogo 2017 Lindapter recuperado de www.lindapter.com

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS

El sistema de unión anteriormente descrito facilitó una vez terminada su vida útil, el desmontaje para que pudieran ser devueltos al proveedor que se comprometió a su reutilización o en el peor

de los casos su reciclaje, un proceso cada vez más avanzado en el acero, que consume mucho menos que su fabricación original..

SUBESTRUCTURA DE MADERA, TRAVIS PERKINS GROUP

DISEÑO

Para la subestructura que sostendría posteriormente el suelo, se utilizó madera. La empresa suministradora de materiales más importante de Reino Unido, Travis Perkins Group, proporcionó el material y se comprometió a estudiar su posible reutilización y reciclaje, tras el proyecto.

PRODUCCIÓN

El material era madera de abeto, procedente de Suecia, con la **certificación PEFC**. Esta certificación garantiza que los bosques de donde procede la madera son gestionados responsablemente para asegurar la sostenibilidad del sector. Si un producto de origen forestal tiene esta certificación, te aseguras de que se regenera el ecosistema y a la vez contribuyes a mantener la industria del lugar.

CONSTRUCCIÓN / INSTALACIÓN

Los listones de madera se apoyan sobre los perfiles de acero que conforman el marco estructural.

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS

La empresa suministradora de materiales más importante de Reino Unido, Travis Perkins Group, que proporcionó el material, se comprometió a estudiar qué hacer con los elementos tras su uso, ya que esta era la única solución que encontraron para este elemento. En primer lugar, pretendía poner a prueba su reutilización, posteriormente su posible reciclaje, lo cual suele ser más difícil cuando la madera está tratada y en último lugar, su valorización energética.



Imagen 56: Colocación subestructura de madera para el suelo de "The Circular Building". Fuente: Recorte vídeo "The Circular Building-A learning journey." https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

3. ENVOLVENTE

REVESTIMIENTO DE MADERA, ACCOYA

DISEÑO

Para el revestimiento del prototipo se eligieron listones de madera para fachadas de **Accoya**, una empresa que trabaja con maderas sostenibles para elementos de construcción. Esta empresa también suministró la madera para el resto de elementos de este material: el resto del cerramiento, algunas subestructuras y la terraza.

PRODUCCIÓN

La madera con la que trabaja la empresa Accoya procede de especies abundantes y de rápido crecimiento que ayudan a la regeneración de bosques. Los aditivos y recubrimientos que utilizan en estas maderas son biodegradables, lo que favorece su reciclaje y su procesamiento.

La madera suministrada por Accoya, es una madera blanda de rápido crecimiento, que se trata con un proceso llamado **acetilación** que no es tóxico y endurece la madera y la protege. Tiene certificaciones que garantizan que el producto es sostenible:

Cradle to Cradle Oro, Cradle to Cradle Platino (imagen 57). Esta certificación está inspirada en los principios de la economía circular establecidos por William McDonough y el DR. Michal Braungart, escritores del libro *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*, relacionado con la economía circular. El producto se evalúa ambiental y socialmente en cinco categorías:

- **Salud material:** que los productos se fabri-



Cradle to Cradle Certified Product Scorecard	
MATERIAL HEALTH	Platinum
MATERIAL REUTILIZATION	Gold
RENEWABLE ENERGY & CARBON MANAGEMENT	Gold
WATER STEWARDSHIP	Gold
SOCIAL FAIRNESS	Gold
OVERALL CERTIFICATION LEVEL	Gold

Imagen 57: Certificado "Cradle to Cradle" de la madera Accoya. Fuente: Cradle to Cradle Products Innovation Institute, página web: <https://www.c2ccertified.org/>

quen con materiales y productos químicos seguros para el ser humano y el medio ambiente.

- **Reutilización de material:** que los productos permanezcan en ciclos de uso duraderos, reutilizándose y reciclándose.
- **Energía renovable y gestión del carbono:** que los productos se fabriquen con energías renovables.
- **Administración del agua:** que en su fabricación se haga un uso responsable del agua.
- **Equidad social:** que las operaciones comerciales relacionadas con el producto, hagan que todos los participantes en el proceso reciban su parte.

A cada categoría se le asigna el nivel al que llegue (Básico, Bronce, Plata, Oro, Platino), y su nivel general será el de la más baja. La categoría de salud material puede certificarse individualmente también, como en este caso, que tiene el nivel platino.



Imagen 58: Vista exterior de "The Circular Building". Revestimiento de madera del fabricante Accoya. Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

Forest Stewardship Councils FSC.

Sistema de certificación forestal global creado por World Wildlife Fund, que certifica que la madera se haya producido en bosques responsables, donde se limite el número de árboles talados, se restrinjan los pesticidas peligrosos, y se protejan los pueblos y los hábitats autóctonos.



Imagen 59: Logo FSC Fuente: FSC, página web: <https://es.fsc.org/es-es>

Otros: LEED, BREEM, Green Star Certification, Declare, Green Label Singapore, Nordic Ecolabel, DuboKeur, Premio de la Asociación Internacional de Productos de Madera, por excelencia innovadora en 2011.

TRANSPORTE:

El origen de la madera es Nueva Zelanda, y aunque el transporte es uno de los puntos que más contaminan de este producto, Accoya afirma que se compensan ampliamente con lo ahorrado en el resto de fases.

VIDA ÚTIL:

Fabricado para una vida útil de 70 años. Resistente a climas adversos, y a los hongos de pudrición gracias a la acetilación.

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS:

Los aditivos que se utilizan en estas maderas son biodegradables, lo que favorece su reciclaje y su procesamiento. La madera fabricada por Accoya al final de su uso puede procesarse como la madera sin tratar, es decir, puede reciclarse o reutilizarse.

PANELES PREFABRICADOS AUTOPORTANTES SIP, ARUP

DISEÑO

Se diseñaron unos paneles prefabricados autoportantes SIP, que conformaban todo el cerramiento del edificio. Estos paneles estaban compuestos de dos placas estructurales y en el medio el aislamiento.

PRODUCCIÓN

Las placas estructurales estaban hechas a base de residuos agrícolas y adhesivos sin aditivos tóxicos, lo que las hacía reciclables a ellas al final de su vida útil y a los restos de material producidos en su procesamiento en fábrica. Se probaron cuatro tipos diferentes de aislamiento, todos reciclables:

- **Lana de roca**
- **Aislamiento aerogel:** un nuevo aislamiento cuyas características hacen que se necesite muy poco espesor, es además resistente al agua, transpirable e incombustible.
- **Aislamiento Inno-therm:** es un aislamiento fabricado en un 85% de su composición de tela vaquera y algodón.
- **Aislamiento REO:** aislamiento fabricado a base de residuos agrícolas.

CONSTRUCCIÓN / INSTALACIÓN

Al ser paneles prefabricados diseñados y cortados digitalmente con gran precisión, sólo había que traerlos, colocarlos, y unirlos mediante sistemas de machihembrado, eliminando así los residuos que se hubieran podido generar en la obra. De esta manera la construcción fue más rápida y eficiente.

VIDA ÚTIL:

Los paneles contenían el aislamiento del cerramiento, el cual estaba dimensionado para hacer de la casa un edificio que cumpliera los estándares de una casa pasiva, reduciendo la demanda energética.

Por otra parte, disponían de agujeros preparados para colocar mobiliario, soportes o colgar otros objetos o elementos.

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS:

Los materiales con los que fueron fabricados tanto los paneles como el aislamiento eran totalmente reciclables.



Imagen 60: Vista exterior de las capas de la envolvente: paneles prefabricados y revestimiento de listones de madera. Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>



Imagen 61: Paneles prefabricados SIP y los cuatro materiales de aislamiento. Fuente: Recorte video "The Circular Building-A learning journey."
https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s



Imagen 62: Montaje de los paneles prefabricados SIP. Fuente: Recorte video "The Circular Building-A learning journey."
https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

LÁMINA IMPERMEABLE, FATRA

DISEÑO

Lámina impermeable fabricada por la empresa Fatra, que se dedica a diseñar soluciones impermeabilizantes sostenible.

CONSTRUCCIÓN / INSTALACIÓN:

La lámina se colocó atornillándola a los paneles estructurales, lo que facilitó posteriormente su separación de ellos.

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS:

Conectarla mecánicamente a los paneles, facilita el desmontaje y la separación del resto de elementos. La empresa fabricante Fatra, se hace responsable de su reciclaje, y utiliza el material para fabricar nuevas láminas impermeables.



Imagen 63: Colocación lámina impermeable Fatra. Fuente: Recorte vídeo "The Circular Building-A learning journey" https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s



Imagen 64: Colocación lámina impermeable Fatra. Fuente: Recorte vídeo "The Circular Building-A learning journey" https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

TRAGALUCES, VELUX

DISEÑO

El Grupo VELUX colabora con el proyecto de The Circular Building, proporcionando los tragaluces modulares VELUX Modular Skylights. Los VMS están desarrollados en colaboración con Foster + Partners, y se tratan de unos tragaluces diseñados modularmente para conseguir una solución mucho más eficiente a lo largo de todo el proceso.

Su sistema modular favorece un fácil y rápido sistema de instalación y desmontaje, y una larga vida útil. Estas son algunas de las características que llevaron al equipo a elegir esta solución de acristalamiento para el prototipo The Circular Building.

Los tragaluces están diseñados de manera mo-

dular lo que aporta al producto y a la construcción ciertos beneficios. El módulo es una unidad de tragaluz diseñada para funcionar como un elemento único. Éste se repite en función de las dimensiones que se deseen, encajando perfectamente entre ellos y creando finalmente un sistema totalmente hermético. Esta característica facilita el proceso de producción y montaje, y sobre todo la instalación, ya que se van instalando de uno en uno, todos de la misma manera.

Todas las posibles soluciones de techo de vidrio se solucionan combinando un módulo único, no es necesario especificar diferentes módulos para cada solución.



Imagen 65: Vista desde arriba de "The Circular Building". Tragaluces VELUX. Fuente: <https://www.architectsjournal.co.uk/news/opinion/circular-thinking-will-arups-prototype-change-the-way-we-design>

PRODUCCIÓN

Los perfiles estructurales de los tragaluces están compuestos de fibra de vidrio en un 80% y de poliuretano en el 20% restante. Esta composición aporta un buen comportamiento térmico, un buen rendimiento energético, una alta resistencia permitiendo amplios tamaños, y no precisan de mantenimiento. Los vidrios están fabricados suprimiendo la capa de recubrimiento, lo que facilita su reciclaje al final de su vida útil.

Son elementos totalmente prefabricados, ya que cada uno se produce completamente en fábrica y esto permite un riguroso control de todo el proceso y del producto final. La unión de los elementos del tragaluz no implica adhesivos, lo que permite una fácil separación en caso de desmontaje por reparación o para el reciclaje de cada elemento.

CONSTRUCCIÓN / INSTALACIÓN:

El conjunto viene empaquetado con unas instrucciones claras, en las que cada elemento viene marcado con una letra. Estas letras marcan el orden que ocupa cada elemento en el proceso de instalación facilitándolo.

Durante la instalación no se utilizan adhesivos, ni uniones con silicona, ni atornilladas; todos los sistemas de unión son fáciles tanto para su montaje como para su desmontaje.

En primer lugar, el sistema completo precisa de una subestructura para ser instalado.



Imagen 66: Subestructura de madera para el tragaluz VELUX VMS. Fuente: Catálogo Velux VMS recuperado de <https://commercial.velux.co.uk/en>



Imagen 67: Partes del tragaluz VELUX VMS. Fuente: Catálogo VELUX VMS recuperado de <https://commercial.velux.co.uk/en>

En este caso la subestructura es de madera: una solución ligera y con buen rendimiento energético. Sobre esta se coloca un perfil de acero para asegurar una superficie nivelada sobre la que colocarlo. Cada módulo se fija al perfil mediante soportes con abrazaderas (imagen 68) y por último se sella



Imagen 68: Detalle enganche tipo abrazadera del tragaluz VELUX VMS. Fuente: Catálogo Velux VMS recuperado de <https://commercial.velux.co.uk/en>

el sistema haciendo clic con los revestimientos y tapajuntas.

Según el fabricante, un módulo se instala en unos minutos. Esta rapidez y la facilidad de las uniones hace que pueda ser colocado incluso con condiciones climáticas adversas.

Al ser elementos prefabricados, no precisan en obra de ninguna acción que complete su producción, el posible impacto ambiental se reduce a la grúa que sube los elementos y el embalaje de protección como residuo, y la rapidez también ayuda a reducir el tiempo de construcción.



Imagen 69: Colocación tragaluz VELUX VMS en "The Circular Building". Fuente: Recorte vídeo de la construcción de The Circular Building-A learning journey.

VIDA ÚTIL:

Estas ventanas tienen una vida útil prevista de 30 años o más. Su diseño completamente modular ayuda a que, si en algún momento algún módulo sufriera algún daño, se pudiera extraer y reemplazar fácilmente sin afectar las estructuras existentes.

Por otra parte, gracias a la baja conductividad térmica del material de la estructura, y la posibilidad de instalar vidrios dobles o triples aseguran un comportamiento eficiente desde el punto de vista energético del edificio, reduciendo la demanda energética.

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS:

El sistema modular facilita la desinstalación de los tragaluzes y su posible reutilización en otro proyecto.

Además, el hecho de que las piezas se unan sin adhesivos, permite la fácil separación de todas ellas y su posterior reciclaje, para el que están pensadas.



Imagen 70: Desmontaje tragaluz VELUX VMS en "The Circular Building". Fuente: Recorte vídeo de la construcción de The Circular Building-A learning journey.

6. INSTALACIONES

ELEMENTOS DE CONTROL Y REGULACIÓN, ARUP

DISEÑO:

Para controlar las condiciones ambientales del edificio y así conseguir una mayor eficiencia en el funcionamiento de las instalaciones, se instalaron una serie de sensores electrónicos que medían diferentes parámetros ambientales: la luz, la temperatura, el ruido, la presión, el flujo de aire y la humedad. Estos sensores medían estos parámetros para regular el funcionamiento de las instalaciones y conseguir el mayor confort posible.

PRODUCCIÓN:

El material utilizado y el consumo de energía para fabricar este sistema es relativamente bajo, pero aún así tiene impacto. Sin embargo es mucho más importante el objetivo que tiene en el funcionamiento global del edificio.



Imagen 71: Escritorio con el sistema de control y regulación de "The Circular Building" Fuente: <https://archinect.com/aruparchitects/project/the-circular-building#&gid=1&pid=6>

VIDA ÚTIL:

Por una parte los sensores instalados son de bajo consumo. Por otra, conocer exactamente los parámetros nombrados anteriormente, hace que instalaciones como la iluminación o la ventilación, puedan regular su actividad logrando unos objetivos de confort interior a la vez que se aumenta la eficiencia energética, se reduce el desperdicio y se alarga su vida útil.

En instalaciones como la calefacción y la electricidad, reducir el consumo favorece el cumplimiento de los principios de la economía circular.

También es importante coordinar la generación de energía y su consumo, para que la instalación de energía renovable sea eficiente.

Hacer visible mediante paneles esta tecnología ayuda a la visibilización y la concienciación ecológica (imágenes 71, 72).

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS:

Un funcionamiento más eficiente de las instalaciones, conlleva un menor desgaste, por lo tanto alarga la vida útil de estas y reduce la necesidad de reparación y sustitución de piezas y equipos.



Imagen 72: Paneles de parámetros del sistema de control y regulación de "The Circular Building" Fuente: Recorte del video "Recyclable house shifts construction to circular economy" <https://www.youtube.com/watch?v=TbkR20OIIDw>

SISTEMA DE BATERÍAS AHI, AQUION ENERGY

DISEÑO:

El edificio se diseñó de manera que la energía que consumiera fuera energía renovable procedente de placas solares instaladas en la cubierta del prototipo, las cuales finalmente no se colocaron.

Para la acumulación de esta energía, se instaló un sistema de baterías AHI fabricado por la empresa Aquion Energy. Éste es el primero con la certificación Cradle to Cradle Bronze.

Este sistema es modular por lo que se puede adaptar a las condiciones y demandas de cada proyecto, y está principalmente preparado para fuentes de energía renovables.

PRODUCCIÓN:

Los materiales utilizados para fabricar estas baterías no tienen componentes tóxicos, y entre ellos están: carbón para el ánodo, óxido de manganeso para el cátodo, agua salada para el electrolito y algodón.

VIDA ÚTIL

Estas baterías están preparadas para acumular energía renovable solar y eólica. Y para durar más que las baterías convencionales.

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS:

Su certificación Cradle to Cradle asegura que todos los componentes de la batería pueden ser reutilizados o reciclados posteriormente para crear nuevos.



Imagen 73: Partes y materiales del sistema de baterías AHI de Aquion Energy. Fuente: Catálogo Aquion Energy.



Imagen 74: Sistema de baterías AHI de Aquion Energy en "The Circular Building". Fuente: Recorte del video Recyclable house shifts construction to circular economy. <https://www.youtube.com/watch?v=Tbkr200I1Dw>

ILUMINACIÓN, XICATO

DISEÑO:

La iluminación estaba regulada y controlada mediante el sistema de sensores instalado en el prototipo.

Se eligieron los productos de la empresa XICATO que se conectaban por bluetooth a cualquier dispositivo, específicamente elementos puntuales LED.

CONSTRUCCIÓN / INSTALACIÓN:

Estos elementos puntuales, eran fáciles de instalar y desinstalar, gracias a sus fijaciones magnéticas.

VIDA ÚTIL:

Son elementos de bajo consumo, están fabricados para tener una vida útil de 7 años, teniendo en cuenta que el sistema de control y regulación alarga su vida útil.



Imagen 75: LED XIM de XICATO Fuente: XICATO, página web: <https://www.xicato.com/>

VENTILACIÓN, ARUP

DISEÑO:

La ventilación es otra de las instalaciones reguladas y controladas por el sistema de sensores. Para asegurar la calidad del aire, se diseñó un sistema de ventilación mecánica que cumpliera los principios de la economía circular.

Se aprovechó el proyecto The Circular Building para desarrollar este prototipo de equipo de ventilación mecánica, como experimento para probar nuevas tecnologías.

PRODUCCIÓN:

Este equipo fue impreso en 3D y cortado a láser. El material utilizado para la impresión eran botellas de plástico PET recicladas. En total un 90% del material utilizado para fabricar el equipo era material reciclado.

VIDA ÚTIL:

Su funcionamiento requería un bajo consumo energético.



Imagen 76: Componentes del equipo ventilación mecánica de "The Circular Building". Fuente: Recorte video "The Circular Building-A learning journey." https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s.

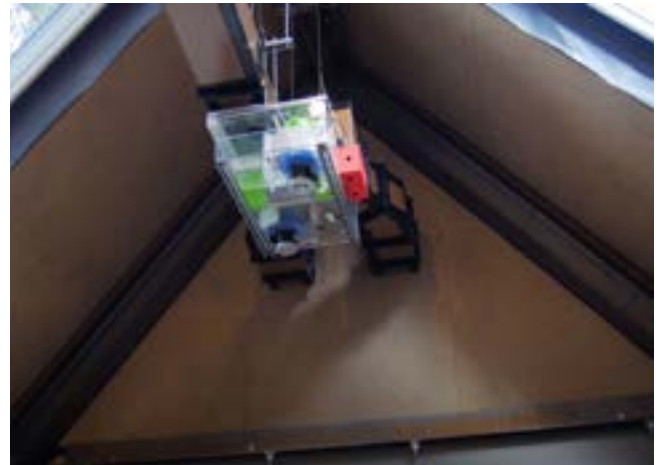


Imagen 77: Equipo de ventilación mecánica de "The Circular Building". Fuente: Recorte video "The Circular Building-A learning journey", https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

4. ACABADOS INTERIORES

TELA ACÚSTICA, AUTEX

DISEÑO:

Para uno de los acabados interiores de las paredes se eligió una tela acústica del fabricante Autex. Esta empresa está comprometida con la sostenibilidad de los productos que fabrica. El material elegido funciona al mismo tiempo de acabado acústico y de acabado interior.

PRODUCCIÓN:

Se eligió este fabricante entre otras cosas, por su compromiso con la sostenibilidad en la construcción. Por ahora los productos que produce esta empresa se fabrican a partir de botellas de plástico recicladas PET, en un 45% mínimo. En el caso de la tela acústica utilizada en The Circular Building es de un 80%. Paralelamente siguen investigando otras alternativas más naturales para poder suprimir materiales procesados y llegar a las mismas cualidades que los productos fabricados con plástico PET.

Los materiales del fabricante Autex están reconocidos por varias certificaciones medioambientales, entre ellas: GreenRate, Declare, Red List Free, HPD y CDPH Standard.



Imagen 78: Tela acústica AUTEX. Fuente: Recorte vídeo "The Circular Building-A learning journey", https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

PRODUCCIÓN:

La empresa BAM responsable de la elección de este material, afirma que su fácil montaje y desmontaje es otra de las cualidades que buscaban en ella, ya que, al ser prefabricados, sólo hay que colocarlos, sujetarlos entre sí y a la estructura, mediante los sistemas mecánicos anteriormente nombrados.

VIDA ÚTIL:

Además de aislamiento acústico, también proporcionan aislamiento térmico. Su fácil desmontaje, permite una rápida y sencilla sustitución, si hubiera algún fallo en el producto o en las instalaciones que protege, durante la vida útil del edificio. Además, sirve también como tablón para pinchar notas.

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS:

El material está pensado para ser devuelto al fabricante al final de su vida útil, ya que se compromete a gestionar su procesamiento tras su uso, bien dándole una segunda utilización o reciclando y transformándolo en nuevas telas.



Imagen 79: Acabado interior "The Circular Building": tela acústica azul AUTEX. Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/>

MOQUETA, Desso

DISEÑO:

Para el acabado del suelo se optó por la empresa Desso, cuyos principios de diseño están basados en la economía circular. Disponen de diferentes tipos de suelo, y según el material están más o menos cerca de cerrar el proceso, a través de diferentes estrategias. En el proyecto se utilizaron dos tipos de suelo, en la zona de trabajo y residencial se instaló moqueta de la empresa Desso, y en la zona pública y terraza listones de madera de Accoya, el mismo fabricante que el acabado exterior de la envolvente.

PRODUCCIÓN:

Durante la fabricación de los productos de Desso, la energía utilizada es en un 28% proce-

dente de energías renovables: biomasa, geotermia, solar.

En el caso de la moqueta instalada, la fábrica que la produce funciona al 100% con energías renovables y las materias primas utilizadas para fabricarlas, son los hilos reciclados de otras moquetas retiradas. Para otros tipos de suelo utilizan también materias primas recicladas entre ellas: envases blíster, tarjetas SIM de móviles, tiza que se filtra en el agua potable, películas PVB de los parabrisas de los coches, y redes de pesca desechadas. Todas ellas pensadas a través de los principios Cradle to Cradle, anteriormente nombrados. En el caso de la moqueta utilizada tiene el certificado Cradle to Cradle Oro.



Imagen 80: Acabado interior "The Circular Building": moqueta azul Desso. Fuente: <https://archinect.com/aruparchitects/project/the-circular-building>

CONSTRUCCIÓN / INSTALACIÓN:

Para la instalación, la moqueta en loseta DESO se coloca sobre un soporte reciclable del que posteriormente se puede separar fácilmente.

Disponen también de otros materiales en piezas, que se colocan sin adhesivos y se colocan y desmontan fácilmente.

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS:

Todos los productos diseñados por DESO, se pueden separar para ser reutilizados o reciclados al final de su vida útil. La propia empresa se encarga del proceso de reciclaje y reutilización. En el caso de la moqueta que se colocó en The Circular

Building, utilizan técnicas para separar el hilo del soporte, reciclar ambos por separado, y fabricar de nuevo, nuevas moquetas y nuevos soportes, ya que son los dos materiales totalmente reciclables.

Para fomentar la reutilización y el reciclaje, tienen el programa ReStart de recuperación y reciclaje de suelos. Ellos retiran tu suelo antiguo y los residuos que se produzcan en la instalación del nuevo y se encargan de reciclarlo todo para obtener nuevas materias primas para fabricar nuevos suelos y si a ellos no les valen se lo proporcionan a otras industrias que puedan aprovecharlos.



Imágenes 81, 82, 83, 84: Imágenes del programa "ReStart" en la empresa DESO. Fuente: DESO, TARKETT, página web: https://professionals.tarkett.com/en_EU/node/restart-recycling-take-back-programme-9721

5. MOBILIARIO

SILLA DE OFICINA CONTEMPORÁNEA ARA, ORANGE BOX

DISEÑO:

Uno de los elementos de mobiliario de la zona de trabajo, es la silla de oficina contemporánea ARA. Está caracterizada por ser una silla con ruedas, patas en forma de estrella y reposabrazos. Está tapizada, es giratoria, ajustable en altura, reclinable, y ergonómica.

Se diseñó en base a los principios de la economía circular, con la idea de que todos sus componentes se pudieran separar para reutilizar o reciclar al final de su vida útil. Está reconocida con la certificación Cradle to Cradle Plata, explicada anteriormente.



Imagen 85: Silla ARA, Orange Box. Fuente: <https://www.archiexpo.es/prod/orange-box/product-64144-1983216.html>

PRODUCCIÓN:

Los materiales utilizados para fabricar todos los componentes de la silla son reciclados y reciclables. Principalmente plástico reciclado.

CONSTRUCCIÓN / INSTALACIÓN:

Los elementos no están unidos mediante adhesivos, sino que están encajados. Esto facilita el desmontaje y la separación de los materiales (imagen 86), que era uno de sus principales objetivos para poder reciclar los materiales y fabricar nuevas



Imagen 86: Separación de materiales del respaldo de Silla ARA, Orange Box. Fuente: Recorte vídeo "Ara-Design Story Orange Box" <https://www.youtube.com/watch?v=nn-S8ansoOw>

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS:

La empresa que fabrica estas sillas, Orange Box, se hace cargo de las sillas al final de su vida útil. Gracias a su diseño de elementos separables, puede reciclar por separado los materiales para fabricar nuevos para nuevas sillas.



Imagen 87: Silla ARA, Orange Box en "The Circular Building". Fuente: <https://architect.com/aruparchitects/project/the-circular-building#&gid=1&pid=4>

FELPUDO HUG RUG, HUG HOME

DISEÑO:

Hug Home es una empresa que diseña productos para el hogar ecológicos entre ellos felpudos, accesorios de cocina, tapetes, manteles, camas para mascotas, etc.

La sostenibilidad es una de las características de esta empresa. Y el felpudo adquirido para The Circular Building cumple con sus ideales.

PRODUCCIÓN:

Para fabricar sus productos optan por dos tipos de materiales: naturales y reciclados, ambos reciclables al final de su vida útil. Los materiales que reciclan son prendas de algodón, botellas de plástico y residuos plásticos industriales, con ellos fabrican totalmente algunos productos. Los materiales totalmente naturales que utilizan son fibra de coco, bambú, etc.

Además utilizan energías renovables para tener sus fábricas en funcionamiento, y han sustituido los plásticos por el cartón en los embalajes.

En el caso del felpudo elegido, está fabricado a partir de prendas de algodón recicladas, en Reino Unido.

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS:

Los materiales con los que están fabricados sus productos y también el felpudo utilizado, son materiales reciclables, por lo que se pueden reciclar y así crear nuevos.



Imagen 88: Felpudo HUG RUG. Hug Home. Fuente: Hug Home, página web: <https://hugathome.co.uk/products/hugrug-modern-stripe81>



Imagen 89: Logo Hug Home. Fuente: Hug Home, página web: <https://hugathome.co.uk/>



Imagen 90: Felpudo HUG RUG en "The Circular Building". Hug Home. Fuente: Recorte del vídeo Recyclable house shifts construction to circular economy. <https://www.youtube.com/watch?v=Tbkr200I1Dw>

SILLONES Y SOFÁS, BUZZISPACE

DISEÑO:

La empresa de mobiliario BuzziSpace, se define como una empresa comprometida con el medio ambiente en sus productos y además con fabricar muebles que ayuden a crear unas condiciones acústicas confortables.

Entre sus productos hay sofás, sillones, pufs, sillas, mesas, escritorios, telas acústicas, etc.

Para el prototipo The Circular Building, se eligieron de BuzziSpace el escritorio, y los sillones.

PRODUCCIÓN:

Los materiales utilizados para fabricar sus muebles son reciclados y reciclables, y parte de las energías son renovables, principalmente solar.

Por una parte utilizan fieltro fabricado a partir de botellas PET recicladas, un material que utilizan para amortiguar el ruido.

Para tapizar los muebles utilizan una tela hecha de materiales reciclados, está compuesta por un 70% de lana reciclada, un 25% de poliacrílico reciclado, y un 5% de trapos reciclados.

La madera con la que fabrican sus productos, la adquieren a proveedores con la certificación PEFC y FSC.

Los adhesivos que utilizan son ecológicos, sin productos tóxicos.

Además en los embalajes utilizan materiales reciclados o naturales, como cartón y madera.



Imagen 91: Interior amueblado de "The Circular Building". Fuente: <https://archinect.com/aruparchitects/project/the-circular-building>

TRANSPORTE:

Los productos que adquieren de otros proveedores para fabricar sus productos están seleccionados dentro de un radio de 250 km a sus almacenes y lugares de fabricación para reducir las emisiones en la fase de transporte.

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS:

En cuanto a los residuos que se producen durante la fase de fabricación, la espuma se reutiliza para hacer cojines y rellenos para los sillones y sofás, el resto de materiales se clasifican para facilitar el proceso de reciclaje, ya que todos los materiales utilizados son reciclables.

ASPECTOS IMPORTANTES A TENER EN CUENTA DE LA FASE DE DISEÑO

Para el desarrollo del proyecto, el equipo destaca como más importante, la fase de diseño, que se llevó a cabo en ocho semanas. La definición detallada del proyecto permitió su rápida y fácil construcción, que duró dos semanas. Sobre el desarrollo de la fase de diseño, se destacan varios aspectos como clave para poder llevar a cabo este proyecto.

INVESTIGACIÓN

Para desarrollar el prototipo, fue muy importante una etapa previa de investigación.

Por una parte era una forma totalmente nueva de proyectar y había que entender perfectamente el pensamiento circular para poder llegar a los objetivos que este propone y desarrollar las estrategias adecuadas, aplicadas a la arquitectura

Por otra parte, había que conocer lo que ofrecía el mercado, recopilar y estudiar toda la información de cada producto, principalmente su impacto ambiental a lo largo de las fases de fabricación, construcción, uso y final de la vida útil, y por último, pensar qué hacer en las partes en las que el mercado no tuviera una solución suficientemente adecuada.

Conocer detalladamente cada producto, permitía llegar a la mejor solución para el prototipo.

COMUNICACIÓN Y COORDINACIÓN

Llevar a cabo este proyecto no sólo fue gracias a los diseñadores, arquitectos e ingenieros, también fue gracias a la implicación de los fabricantes y proveedores, las personas que mejor conocen sus productos y pueden aportar las mejores soluciones para que no pierda sus cualidades. Por lo que la comunicación entre diseñadores y proveedores, era



Imágenes 92 y 93: Equipo de "The Circular Building", durante su construcción. Fuente: Recorte video "The Circular Building-A learning journey", https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

muy importante porque facilitaba el diseño.

Por otro lado, la coordinación entre los diferentes productos de las diferentes capas era clave para conseguir un edificio completo, y poder adaptar los productos para que cada participante tenga clara su función, y finalmente todo encaje y funcione perfectamente.

En definitiva, el trabajo en equipo es uno de los puntos a tener en cuenta, para facilitar y enriquecer un proyecto y su desarrollo de principio a fin.

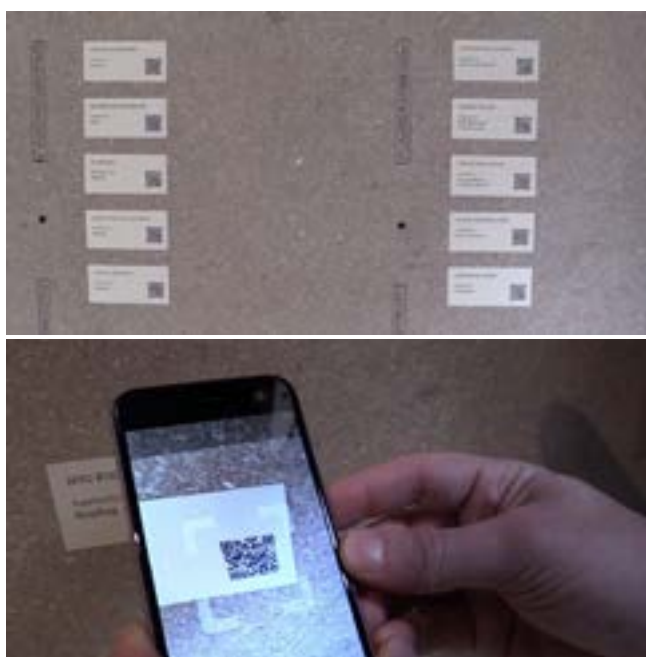
FABRICACIÓN DIGITAL

Como se ha dicho anteriormente, la definición detallada en la fase de diseño fue algo muy importante a tener en cuenta. Esto se consiguió gracias a una definición digital, donde se detalló cada pieza, para luego poder ser fabricada y colocada con precisión. Se utilizaron recursos como el corte digital láser como en el caso de los paneles SIP, o la impresión 3D que fabricó las piezas del equipo de ventilación mecánica.

BASE DE DATOS

También, se recopiló toda la información de los componentes digitalmente, y se creó una base de datos donde estaba toda la información de cada producto, su procedencia, su lugar en el prototipo, porqué se había elegido ese producto, su impacto ambiental y su futuro destino. Esta información se puso a disposición de los visitantes durante la exposición, a través de códigos qr asociados a cada componente (imágenes 94, 95) conformando un catálogo que formaba parte también de la exhibición. Fue a su vez un reto para el equipo, y una fuente de informació.

Esta iniciativa hace visible la importancia de un registro digital de los componentes, que es una de las propuestas relacionadas con la economía circular en la arquitectura. Este registro se plantea como estrategia para poder saber de qué están hechos los edificios y los materiales y productos que estarán disponibles en un futuro, de esta manera se sistematizaría el proceso y se coordinaría.



Imágenes 94 y 95: Códigos qr de los productos en el interior de "The Circular Building". Fuente: Recorte vídeo "The Circular Building-A learning journey", https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

PRODUCTO Y SERVICIO

Para aplicar la economía circular a todos los aspectos de la vivienda, hay que entender que no todos los elementos tienen el mismo impacto en cada fase, por lo que las estrategias y recursos que se aplican sobre ellos son diferentes.

Este es el caso por ejemplo de algunas de las instalaciones y elementos que dan servicio al usuario donde se puede poner en práctica el principio denominado "Economía de la funcionalidad".

Por ejemplo, con la luz recurrieron a una idea impulsada por Philips llamada "Pay per lux" (Pago por luz). Con esta iniciativa la empresa Philips pone en práctica un modelo de negocio en el que vende al usuario un producto como un servicio, es decir, en vez de vender bombillas, vende al usuario el servicio de tener luz. El usuario paga una tarifa por luz consumida, y la empresa se encarga del diseño, equipo, instalación, mantenimiento y actualizaciones. De esta manera, el cliente usa productos eficientes, sostenibles y de bajo consumo, que suelen ser más caros, por una tarifa regular, y el fabricante puede fabricar productos duraderos, reciclables para alquilarlos y luego hacerse responsable de su reciclaje que le aportará nuevas materias primas para seguir fabricando sus productos.

Es una estrategia similar a la utilizada por la empresa anteriormente explicada Bundles, cuya iniciativa se quiso trasladar a este proyecto, pero finalmente tan sólo se plasmó la idea sobre unos electrodomésticos de cartón. Esta nueva modalidad de consumo, favorecerá el uso de productos sostenibles de mayor calidad, y las empresas podrán seguir nuevos caminos de negocio sostenibles para sus productos.

CÓMO PROYECTAR DE MANERA CIRCULAR

“NOSOTROS TENEMOS QUE SER EL CAMBIO QUE QUEREMOS VER EN EL MUNDO”

MAHATMA GANDHI

Tras la explicación del pensamiento circular, y el análisis de algunos de los ejemplos que lo siguen, incluido un ejemplo en el que se aplica todo ello de manera global al campo de la arquitectura, en el prototipo The Circular Building. En este apartado, se va a tratar de recopilar todas las ideas obtenidas de los apartados anteriores y basadas en los principios de la economía circular, para poder aplicarlos a la arquitectura como síntesis final de lo aprendido.

Se irá sintetizando en primer lugar, desde el ámbito de la arquitectura más general, para posteriormente centrarse en el papel del arquitecto y las estrategias y recursos de diseño que debe tener en cuenta y poner en práctica para el desarrollo de lo que se podría denominar “arquitectura circular”,

arquitectura basada en los principios de la economía circular.

Como se ha visto anteriormente en el apartado “La arquitectura, su impacto ambiental y su lucha contra el cambio climático”, el sector de la arquitectura es consciente de su impacto negativo sobre el medio natural y está llevando a cabo acciones para que éste sea menor. Se propone la economía circular y su aplicación a la arquitectura como solución y, siguiendo la clasificación de las acciones de manera global anteriores, se señala la importancia de la implicación de cada grupo, para que este nuevo modelo circular se haga un hueco en el mundo de la arquitectura.

EL ARQUITECTO



**DISEÑO
CIRCULAR**

EL MERCADO



**NUEVOS MODELOS
COMERCIALES**

LAS INSTITUCIONES



**NORMATIVA Y
AYUDAS**

EL USUARIO



**CONCIENCIACIÓN Y
ACEPTACIÓN**

AGENTES IMPLICADOS EN EL AVANCE HACIA LA *ARQUITECTURA CIRCULAR*

EL ARQUITECTO Y EL FABRICANTE: DISEÑO CIRCULAR

Es importante tener en cuenta la idea de economía circular desde la fase de diseño, tanto un arquitecto a la hora de proyectar un edificio, como un fabricante a la hora de desarrollar sus productos con los que construirlo. Para facilitar el ciclo de los productos y de los edificios, habrá que tener en cuenta estrategias de diseño que se expondrán posteriormente.



EL MERCADO: NUEVOS MODELOS COMERCIALES

Para facilitar estos ciclos de materiales y productos, los modelos comerciales tendrán que evolucionar. Estos modelos tendrán que fomentar los procesos de reciclaje, reutilización y recuperación de productos por parte del cliente y de las empresas. Desde la recuperación de sus propios productos al final de su uso para nuevas materias primas como DESSO, que recupera las moquetas y alfombras para crear nuevas, al nuevo modelo de negocio de alquiler de un servicio, como Phillips con el servicio “Pay per lux”, en el que los clientes pagan por tener luz, y no por las bombillas que la generan.



LAS INSTITUCIONES: NORMATIVA Y AYUDAS

Es importante que las instituciones apoyen y respalden el cambio hacia el modelo circular, mediante normativa y planes de acción que vayan regulando el proceso y la adaptación de las empresas y el sector, y por medio de ayudas que motiven a las empresas y al usuario a ser asesoradas y a innovar.



En algunos casos lo sostenible parece caro o de poca calidad, y en este

EL USUARIO: CONCIENCIACIÓN Y ACEPTACIÓN

caso la economía circular además no es conocida por todo el mundo. Es importante que el usuario esté informado, sobre las necesidades del mundo, las opciones que tiene y los beneficios a corto y largo plazo, en este caso que la arquitectura circular puede aportar. En algunos casos la solución parece más cara a corto plazo, por ejemplo con los productos de mayor calidad, pero a largo plazo supone un ahorro energético y económico, ya sea por una mayor duración o un menor consumo, que al principio no se tiene en cuenta.



ESTRATEGIAS Y RECURSOS PARA UNA ARQUITECTURA CIRCULAR

Partiendo del concepto de economía circular, sus principios, y del papel del arquitecto en este cambio, lo que se ha denominado anteriormente “**arquitectura circular**” busca proyectar edificios caracterizados principalmente por los siguientes rasgos:

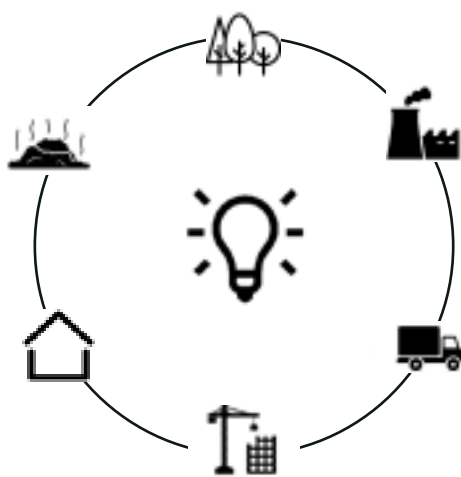
- **Productos y materiales sostenibles. Producción.** Seleccionar productos, materiales y sistemas reutilizados, reciclados, renovados, recuperados, rediseñados o reparados, y de origen local .
- **Eficiencia energética y energías renovables. Vida útil.** Edificios diseñados para tener un buen comportamiento energético y que la energía que necesiten sea renovable.
- **Versatilidad, mantener los edificios e instalaciones en uso. Mantenimiento.** La capacidad de adaptarse con facilidad a los cambios a lo largo de su vida útil, diferentes necesidades del usuario, cambio de uso, cambio de usuario, y la capacidad de renovare. Es importante tener en cuenta la situación actual del momento que se proyecta, pero considerar una amplia gama de los posibles escenarios futuros y cómo el

edificio se adaptará a ellos, para así alargar su vida útil lo máximo posible.

- **Desmontaje, diseñar los desechos y la contaminación. Fin de la vida útil:** la capacidad de desmontaje, separación de materiales, y su capacidad de ser reutilizables, reciclables, renovables, recuperables, rediseñables o reparables, al final de su vida útil para su posterior aprovechamiento como recursos para un nuevo edificio. Hay que tener en cuenta el concepto “**cero residuo**”, y hay que buscar el establecimiento de nuevos estándares para concebir los edificios que ya han acabado su servicio, como fuentes de recursos, concepto denominado actualmente “**minería urbana**”.

Los arquitectos como proyectistas y diseñadores, toman decisiones que van a condicionar todas las partes del proceso de construcción. Para proyectar una arquitectura con estas características, se deben servir de ciertos recursos y estrategias de diseño.

A continuación se van a exponer una clasificación según cada fase del proceso de construcción, de las estrategias e ideas a tener en cuenta para reducir el impacto en esa etapa.



ASPECTOS GENERALES DE DISEÑO

- **Investigación:** cada proyecto tiene unas condiciones diferentes, la fase de investigación previa al diseño es importante para entender qué necesita el proyecto y qué hay disponible en el mercado.
- **Trabajo en equipo:** como se ha expuesto anteriormente el proceso de desarrollo y construcción de un proyecto es complejo e intervienen muchos agentes, es importante la coordinación de las partes y tener claras las responsabilidades de cada una, desde el diseño y la producción, a quien es el responsable de gestionar a final de la vida los materiales y productos.
- **Comunicación con fabricantes y proveedores:** este punto está directamente ligado a los dos anteriores. Trabajar conjuntamente con fabricantes y proveedores es importante, ya que ellos son los que mejor conocen sus productos y los que pueden aportar la solución más adecuada a lo que se requiera en el proyecto.
- **Shearing Layers:** a la hora de proyectar un edificio hay tener en cuenta el concepto “Shearing Layers” explicado anteriormente, en el que se concibe el edificio como un conjunto de capas que trabajan coordinadamente. Esta separación se debe a que no todos los materiales y elementos tienen la misma esperanza de vida, por lo que se recomienda un diseño en que se diferencien sus funciones para un mejor mantenimiento y reparación en un futuro.
- **Enfoque sistémico:** diseñar mediante sistemas funcionales, entendiendo la arquitectura como un sistema, formado por un conjunto de elementos y procesos relacionados entre sí que contribuyen a un objetivo común.
- **Modularidad:** recurrir a la arquitectura modular, como herramienta de diseño para facilitar su construcción y uso, y también favorecer cualquier cambio que se produzca a lo largo de la vida útil.
- **Innovación y experimentación:** en muchos casos no todas las soluciones están inventadas, ya que nos enfrentamos a una nueva forma de ver el desarrollo de la arquitectura, hay que innovar para seguir avanzando.
- **Análisis de todos los elementos que componen el edificio:** cuando se proyecte un edificio de forma circular, hay que tener toda la información de los elementos, materiales y sistemas que lo van a conformar, desde su origen, hasta que ocurrirá cuando el edificio se desmonte.

ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA REDUCIR EL IMPACTO DE LA FASE DE PRODUCCIÓN Y TRANSPORTE



A la hora de elegir los productos y materiales que compondrán el edificio, seleccionar productos que sean sostenibles y cumplan los principios de circularidad:

- Productos cuyos fabricantes aporten **información sobre su sostenibilidad**, que sean transparentes con el proceso, origen de los productos y las materias primas, si sus fábricas trabajan con energías renovables, etc.
- Productos fabricados a partir de **materias primas naturales renovables**, como madera procedente de bosques con certificados de gestión sostenible (PEFC, FSC) o de **materiales reciclados**, como botellas PET o productos de algodón.
- Productos en los que se haya diseñado su fin de vida, si son **reciclables, reutilizables, reparables**, y si los fabricantes se encargan de ello.
- Tener en cuenta es si tienen **certificaciones**, como la certificación “Cradle to Cradle” que analiza el producto y certifica si cumple los principios de la economía circular.
- **Productos y materiales locales**, favoreciendo la adaptación de la arquitectura al lugar, reduciendo los gastos de transporte, y reactivando la economía local.

ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA REDUCIR EL IMPACTO DE LA FASE DE CONSTRUCCIÓN



- **Sistema constructivo estandarizado:** con la utilización de un sistema constructivo modulado y estandarizado, se facilita la fabricación, el montaje y el desmontaje, lo que reduce el tiempo, los costes y la posibilidad de error.
- **Diseño digital:** actualmente los avances tecnológicos permiten definir con gran precisión los elementos de un edificio y cómo se va a construir, esto asociado a la prefabricación reducirá la contaminación asociada a la obra y el tiempo de construcción.
- **Fabricación seca en taller:** otorga una mayor precisión y perfección en los acabados de los elementos, y se reduce el tiempo de construcción en obra.
- **Productos modulares:** a la hora de elegir elementos del edificio más complejos como el acristalamiento o las instalaciones, es preferible optar por productos de diseño modular, y que estén diseñados para una fácil instalación, ya que se facilita su montaje, posible sustitución, y finalmente su retirada.

ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA REDUCIR EL IMPACTO DE LA FASE DE VIDA ÚTIL



- **Estrategias de diseño pasivas:** utilizar estrategias de diseño pasivas como las referidas en el apartado anterior “Arquitectura, su impacto ambiental y su lucha contra el cambio climático” para conseguir un funcionamiento más eficiente del edificio, ahorrando energía. Para ello se puede tomar como referencia los estándares de la arquitectura pasiva.
- **Equipamiento modular y flexible:** facilita su reutilización y adaptación a diferentes usos durante la vida del edificio.
- **Energías renovables:** utilizar para el funcionamiento de los sistemas eléctricos de la casa, energías renovables, como la solar, eólica, geotermia, etc. Eligiendo la más indicada según las necesidades del proyecto y los recursos del lugar.
- **Instalaciones para regular el consumo:** disponer de sensores que midan las condiciones ambientales interiores y según estas se regulen las instalaciones como la iluminación, la ventilación o la calefacción, hace más eficiente el funcionamiento de estas y se evitan desperdicios.
- **Alquiler de servicios:** como sistema para favorecer el servicio frente a la propiedad, y reducir los residuos.

ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA REDUCIR EL IMPACTO DE LA FASE DE GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS



- **Ensamblajes mecánicos en lugar de adhesivos.** Facilitan el desmantelamiento final y la separación de los materiales y elementos constructivos, para su posterior reutilización o reciclaje.
- Sistemas de unión entre diferentes materiales, que eviten deformar, deteriorar o agujerear el material, para poder reutilizarlo mejor.
- **Base de datos:** disponer de una base de datos que contenga la información de todos los elementos, materiales y sistemas de un edificio, su procedencia, y su capacidad de ser reintroducidos al proceso. Esto facilitaría su reutilización, ya que a la hora de diseñar nuevos edificios, los arquitectos y proveedores podrían tener en cuenta la disponibilidad de esos materiales. Este recurso es aplicable también a edificios que actualmente estén en desuso, para hacer de ellos bancos de materiales, lo que se denomina “minería urbana”.

CONCLUSIONES

- El cambio climático es real.
- La industria de la construcción tiene un impacto muy negativo sobre la naturaleza, principalmente consume una gran cantidad de recursos y genera montones de residuos.
- La arquitectura influye tanto en el modo de vida de las personas como en el proceso de construcción. El diseño de un edificio, del que es responsable la arquitectura, afectará a todas las fases de su construcción.
- El pensamiento circular es una solución al cambio climático.
- La “arquitectura circular” es una realidad y es posible.
- El arquitecto tiene un papel fundamental dentro del diseño circular, aunque este requiere tanto de la implicación del arquitecto como del resto de agentes que participan en el proceso de construcción, y su colaboración y trabajo en equipo.
- El cambio climático es cosa de todos.

BIBLIOGRAFÍA

Artículos, estudios, informes y otros documentos.

- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (2013). *Cambio climático 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes.*
- Grupo de trabajo GT-6. Congreso Nacional del Medio Ambiente 2018. Fundación Conama. (2018). *Economía Circular en el sector de la construcción.*
- Arup and University of Leeds. (2019). *Buildings and Infrastructure Consumption Emissions. In focus.*
- Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. (2013). *Programa de prevención de residuos.*
- Comisión Europea. (2016). *Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la UE.*
- ITeC. (N.D.) *Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos de la construcción.*
- Red Española de Ciudades por el Clima. FEMP. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (n.d.). *Guía para el desarrollo de normativa local en la lucha contra el cambio climático.*
- Cuchí, A., Sagrera, A. (2007, Mayo) Reutilización y reciclaje de los residuos del sector de la construcción. *Ambienta.*
- Zabalza, I. (2012). Repensar edificios mediante el análisis de ciclo de vida. *Taller de Rehabilitación Urbana y Paisaje 2012.*
- Flores-Alés, V., Martín-del Río, J.J., Blasco-López, F.J., Alejandre, F.J. (2015). *Análisis de impactos ambientales producidos durante la fase de ejecución en edificación: operaciones de limpieza y recuperación de aguas de lavado de hormigones en España.* Informes de la Construcción. Vol. 67
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de España. (2020) *Estrategia Española de Economía Circular, España Circular 2030.*
- Comisión Europea. (2010). *Europa 2020. Una Estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrados. España.*
- S.G de Análisis, Prospectiva y Coordinación. (2014). *Diagnóstico del Sector Residuos en España nº7.*

- del Río, M. (2010). *La regulación jurídica de los residuos de construcción demolición (RCD) en España. El caso de la Comunidad de Madrid*. Informes de la Construcción. Vol. 62
- Arup. (2016). *The Circular Economy in the Built Environment*.
- Arup. (2019). *Guideline for Building Services Design inspired by the “Cradle to Cradle” Concept*.
- Mercader, M. P. (2012) *Modelo de cuantificación de las emisiones de CO₂ producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución*. Informes de la Construcción. Vol. 64.
- Morán del Pozo, J. M. (2011). *Estado actual de la gestión de residuos de construcción y demolición: limitaciones*. Informes de la Construcción. Vol. 63.
- Vázquez García, D. (2011). *Algunos apuntes sobre la nueva ley de residuos y suelos contaminados*.
- INE. (2019). *Cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2017*. Nota de prensa 29 noviembre 2019. https://www.ine.es/prensa/cma_2017_res.pdf
- INE. (2018). *Otras cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2016*. Nota de prensa 29 noviembre 2018. https://www.ine.es/prensa/cma_2016_res.pdf
- Comisión Europea. (2020). *Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. Nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y más competitiva*.
- Comisión Europea. (2011). *Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos*.
- Comisión Europea. (2019). Comunicado de prensa del 4 de marzo de 2019. Bruselas.
- McDonough, W.; Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: remaking the way we make things*. North Point Press
- Brand, S. (1995). *How Buildings Learn: What happens after they're built*.

Boletines, normativas, planes o leyes.

- «BOE» núm. 297, de 12 de diciembre de 2015, páginas 117395 a 117397
- «BOE» núm. 38, de 13 de febrero de 2008
- «BOE» núm. 25, de 29 de enero de 2002
- «BOE» núm. 254, de 21 de octubre de 2017 Sec. I
- Plan Integral de Residuos de Castilla y León aprobado por el Decreto 11/2014
- «BOE» núm. 27, de 31 de enero de 2007, páginas 4499 a 4507
- «BOE» núm. 207, de 29 de agosto de 2007, páginas 35931 a 35984

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2011). Plan de Energías Renovables 2011-2020. Madrid.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2011). 2º Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética en España 2011-2020. Madrid.

Páginas web.

- ¿Qué es el cambio climático y cómo nos afecta?. (2020). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Acciona, página web: <https://www.acciona.com/es/cambio-climatico/>
- Terri Swearingen - Goldman Environmental Foundation. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Goldman Environmental Foundation, página web: <https://www.goldmanprize.org/recipient/terri-swearingen/>
- Moran, M. (2020). Consumo y producción sostenibles. Consultado el 10 de septiembre de 2020, Organización de las Naciones Unidas, página web: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/7/>
- Impacto ambiental en la construcción. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, ITeC, página web: <https://itec.es/infoitec/articulos/impacto-ambiental-en-la-construccion/>
- Impactos Ambientales en el Sector de la Construcción | Construpedia, enciclopedia construcción. (n.d.) Publicación realizada por ITeC. Consultado el 10 de septiembre de 2020, Construpedia, página web: https://www.construmatica.com/construpedia/Impactos_Ambientales_en_el_Sector_de_la_Construcci%C3%B3n
- Cradle to Cradle - Sustainability Guide. (2020). Consultado el 10 de septiembre de 2020, página web: <https://sustainabilityguide.eu/methods/cradle-to-cradle/>
- Eurostat. Consultado el 10 de septiembre de 2020, Eurostat, página web: <https://ec.europa.eu/eurostat/home?>
- Energy efficient buildings - European Commission. (2020). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Comisión Europea, página web: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings_en
- Passivhaus Institut, página web: <https://passivehouse.com/>
- Estudio de arquitectura Snøhetta, página web: <https://snohetta.com/>
- Earthship Biotecture. Michael reynolds, página web: <https://www.earthshipglobal.com/>
- Planes y Programas. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, página web: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/Planes-y-Programas.aspx>
- Un Pacto Verde Europeo. (2019). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Comisión Europea, página web: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es
- Hacia una Economía Circular. (2015). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Comisión Europea, página web: https://ec.europa.eu/commission/priorities/jobs-growth-and-investment/towards-circular-economy_es

- Legislación. (n.d.) Consultado el 10 de septiembre de 2020, Federación Española de Asociaciones de Empresas Gestoras de RCD, página web: <http://federacionrcd.org/documentacion/legislacion/>
- Fondo Mundial para la Naturaleza, WWF (World Wide Fund for Nature), página web: <https://www.google.com/search?q=wwf+significado&oq=wwf+significado&aqs=chrome..69i57j0l7.4383j-0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Economía Circular. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Fundación para la Economía Circular, página web: <http://economiecircular.org/> https://economiecircular.org/wp/?page_id=62
- Ellen MacArthur Foundation, página web: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>
- Economía Circular, Estrategia Española. (2020). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, página web: <https://www.miteco.gob.es/fr/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/estrategia/>
- Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. (n. d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Naciones Unidas, página web: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- La economía circular en España. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Ecoembes, página web: <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/envases-y-proceso-reciclaje/la-economia-circular-en-espana>
- Bundles, página web: <https://bundles.nl/en/>
- Design Out Waste. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, The Agency of Design, página web: <https://www.agencyofdesign.co.uk/projects/design-out-waste/>
- ¿Cuáles son las consecuencias de la sobreexplotación de los recursos naturales? (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Iberdrola, página web: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/sobreexplotacion-de-los-recursos-naturales>
- Residuos de la Construcción y Demolición. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Cedex, página web: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/35/residuos-de-construccion-y-demolicion/197/volumen-y-distribucion-.html>
- Shearing Layers: How Buildings Learn, and What They Can Teach Us. (2019). Página web: <https://medium.com/@hannahwkoenig/shearing-layers-how-buildings-learn-and-what-they-can-teach-us-ed92556b4bfc>
- BAM opens Circular Building at London Design Festival. BAM News. (2016). BAM, página web: <https://www.bam.co.uk/media-centre/news-details/bam-opens-circular-building-at-london-design-festival>
- Santos, S. (2017). Arup Designs Prototype Building Based on Circular Economy Principles. Consultado el 10 de septiembre de 2020, ArchDaily, página web: <https://www.archdaily.com/868121/arup-designs-prototype-building-based-on-circular-economy-principles>
- Fernández, C. (2016). The Circular Building: the most advanced reusable building yet. Consultado el 10 de septiembre de 2020, Arup, página web: <https://www.arup.com/news-and-events/the-circular-building-the-most-advanced-reusable-building-yet>

- Engineering the circular building. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, British Council, página web: <https://www.britishcouncil.org/tr/en/programmes/education/cubed/engineering-the-circular-building>
- The Circular Economy Building diseñado por Arup Associates. (2017). Consultado el 10 de septiembre de 2020, ArquiRED, página web: <https://www.arquired.com.mx/arq/design/the-circular-economy-building-disenado-arup-associates/>
- Holmes, E. (2016). Creating the Circular Building. Consultado el 10 de septiembre de 2020, Resource, página web: <https://resource.co/article/creating-circular-building-11508>
- Cradle to Cradle Products Innovation Institute, página web: <https://www.c2ccertified.org/>
- AUTEX, página web: <https://www.autexglobal.com/uk/sustainability/>
- DESSO. TARKETT, página web: https://profesional.tarkett.es/es_ES/node/cerrando-el-circulo-3659
- La batería AHI de Aquion Energy es la primera en mundo calificada como Cradle to Cradle Certified™. (2015). Consultado el 10 de septiembre de 2020, página web: <https://www.businesswire.com/news/home/20150421005243/es/>
- “Circular Living” installation and exhibition at The Building Centre. (2016). Consultado el 10 de septiembre de 2020, BMIAA, página web: <https://www.bmiaa.com/circular-living-installation-and-exh-at-the-building-centre/>
- Hartman, H. (2016). Circular thinking: Will Arup’s prototype change the way we design?. Consultado el 10 de septiembre de 2020, Architects’ Journal, página web: <https://www.architectsjournal.co.uk/news/opinion/circular-thinking-will-arups-prototype-change-the-way-we-design>
- Circular Building. (2016). Consultado el 10 de septiembre de 2020, SteelConstruction.info, página web: https://www.steelconstruction.info/Circular_building
- McAllister, J.; Little, K. (n.d.). Circular Thinking: Zero-Waste Buildings. Consultado el 10 de septiembre de 2020, Assemble Papers, página web: <https://assemblepapers.com.au/2019/04/04/circular-thinking-zero-waste-buildings/>
- VELUX Modular Skylights. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, VELUX, página web: <https://commercial.velux.co.uk/products/modular-skylights>
- Arup designs and delivers Circular Building prototype in collaboration with FRENER & REIFER, BAM and the Building Centre. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Frener & Reifer News, página web: <https://www.frener-reifer.com/news-en/circular-building-installation-and-exhibition-in-london/>
- Annual Report Travis Perkins. (2016). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Travis Perkins, página web: <https://www.travisperkinsplc.co.uk/sites/travis-perkins/files/2019-pdfs/annual-report-2016.pdf>
- Circular Building. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Arquitectura + acero, página web: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

- London Design Festival, página web: <https://www.londondesignfestival.com/>
- The Building Centre, página web: <https://www.buildingcentre.co.uk/>
- Type GC Girder Clamp. (n.d.). Consultado el 10 de septiembre de 2020, Lindapter, página web: http://www.lindapter.com/Products/Girder_Clamp/1/Type_GC_Girder_Clamp
- Accoya, página web: <https://www.accoya.com/uk/>
- Forest Stewardship Council, página web: <https://es.fsc.org/es-es>
- Fatra, página web: <https://www.fatra.co.uk/>
- Xicato, página web: <https://www.xicato.com/>
- Hug Home, página web: <https://hugathome.co.uk/>
- Buzzi Space, página web: <https://www.buzzi.space/>

Videos.

- ACCIONA. (2018). *Cómo evitar el Cambio Climático MUY RÁPIDO*. [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=3X-Z0kMfh4M>
- altE Store. (2016). *Aquion Energy Salt Water Batteries*. [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=1EhnmWo2CZ8&t=30s>
- ARUP. (2016) *Stuart Smith: The Circular Building. The most advanced reusable building yet*. [Video]. Recuperado de <https://www.arup.com/perspectives/the-circular-building>
- Buildings at ARUP. (2017). *Circular Building | A Learning Journey* [Video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ
- E&T Magazine. (2016). *Recyclable house shifts construction to circular economy* [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=TbkR20OIIDw>
- FUHEM. (2015). *Naomi Klein: "Esto lo cambia todo. El capitalismo contra el clima"*. [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=rZoT9M-EJt4>
- Lindapter International. (2016). *The Circular Economy in the Built Environment*. [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=tEYP3qRrFqs>
- Orangebox. (2013). *Ara - Design Story | Orangebox*. [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=nn-S8ansoOw>
- TEDx Talks. (2012). *TEDxLoodusele - Ken Webster - Circular Economy*. [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=mvQEBB3IdZM>

ÍNDICE DE IMÁGENES

- **Imagen 1:**

Múltiples indicadores independientes del cambio del clima global. Cada línea representa una estimación derivada de forma independiente del cambio de un elemento climático.

Fuente: Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (2013). *Cambio climático 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes.*

- **Imagen 2:**

Etxeberri (Altzo Muño), caserío guipuzcoano. Con piedra y madera de roble. Fotógrafo: Xabi Otero.

Fuente: <http://bertan.gipuzkoakultura.net/>

- **Imagen 3:**

Casas-Cueva en Granada.

Fuente: Artículo: Un recorrido por la vivienda tradicional de España. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/913794/un-recorrido-por-la-vivienda-tradicional-de-espana>

- **Imagen 4:**

Ejemplo de barraca de la Comunidad Valenciana.

Fuente: Artículo: Un recorrido por la vivienda tradicional de España. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/913794/un-recorrido-por-la-vivienda-tradicional-de-espana>

- **Imagen 5:**

Crystal Palace de Joseph Paxton, en la Exposición Universal de Londres.

Fuente: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/crystal-palace/#>

- **Imagen 6:**

Rascacielos de la Escuela de Chicago: Home Insurance Building.

Fuente: Artículo: <https://en.wikiarquitectura.com/building/home-insurance-building/home-insurance-building/>

- **Imagen 7:**

Vista aérea de Dubai.

Fuente: <https://www.viajes.carrefour.es/guia-viaje/dubai/>

- **Imagen 8:**

La isla artificial de Palm Jumeirah en Dubai.

Fuente: <http://www.dubai.it>

- **Imagen 9:**

Esquema de los objetivos en España de los Planes Nacionales de gestión y tratamiento de residuos.

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de la página web del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en el apartado de Planes y Programas para la Gestión y Tratamiento de Residuos. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/Planes-y-Programas.aspx>

- **Imágenes 10, 11 y 12:**

Residuos de la construcción generados en obras actuales de chalets en Palencia.

Fuente: Elaboración propia, en Palencia el 2 de septiembre de 2020.

- **Imagen 13:**

Instalación de paneles fotovoltaicos en una casa. Estrategia Activa.

Fuente: <https://www.tynmagazine.com/energia-solar-una-solucion-al-alcance-de-la-mano/>

- **Imagen 14:**

Esquema del funcionamiento muro captador trombe. Estrategia Pasiva.

Fuente: <https://huellasdearquitectura.wordpress.com/2018/10/22/muros-trombe-que-son-y-como-funcionan/>

- **Imagen 15:**

Ejemplo muros captadores. Estrategia Pasiva.

Fuente: <https://huellasdearquitectura.wordpress.com/2018/10/22/muros-trombe-que-son-y-como-funcionan/>

- **Imagen 16:**

Placa para edificios certificados PassivHaus.

Fuente: PassivHaus Institut, página web: <https://passivehouse.com/>

- **Imagen 17:**

Casa Piloto ZEB.

Fuente: Snohetta, página web: www.snohetta.com

- **Imagen 18:**

Construcción Earthship Biotecture.

Fuente: Earthship Biotecture, página web: www.earthshipglobal.com

- **Imagen 19:**

Funcionamiento economía circular frente a economía lineal.

Fuente: La economía circular en España. Ecoembes, página web: <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/envases-y-proceso-reciclaje/la-economia-circular-en-espana> .

- **Imagen 20:**

Principios del concepto *Cradle to Cradle*.

Fuente: Guideline for Building Services Design inspired by the Cradle to Cradle Concept. Abril 2019. ARUP Associates.

- **Imagen 21:**

Logo Fundación Ellen MacArthur.

Fuente: Ellen MacArthur Foundation, página web: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>

- **Imagen 22:**
Esquema modelo economía circular de la Fundación Ellen MacArthur.
Fuente: Ellen MacArthur Foundation, página web: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>
- **Imagen 23:**
Esquema de los objetivos España Circular 2030.
Fuente: Estrategia Española de Economía Circular, España Circular 2030. (2020). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de España.
- **Imagen 24:**
La *boina* de contaminación sobre Madrid.
Fuente: Periódico El País, página web: https://elpais.com/ccaa/2018/01/27/madrid/1517069800_896497.html
- **Imagen 25:**
Funcionamiento del servicio de alquiler de electrodomésticos de la empresa Bundles.
Fuente: Empresa Bundles, página web: <https://bundles.nl/en/>
- **Imágenes 26, 27, 28:**
Imágenes de los tres modelos de tostadora diseñados por The Agency of Design. *La optimista, la pragmática, la realista*; nombradas de izquierda a derecha.
Fuente: The agency of design, página web: <https://www.agencyofdesign.co.uk/projects/design-out-waste/>
- **Imagen 29:**
Extracción de petróleo.
Fuente: <http://www.eldiariodelaenergia.com/las-petroleras-mas-importantes-del-mundo/1092>
- **Imagen 30:**
Aerogeneradores. Palencia.
Fuente: Elaboración propia, en Palencia el 12 de septiembre de 2020.
- **Imágenes 31 y 32:**
Construcción in situ.
Fuente: Elaboración propia, en Palencia el 2 de septiembre de 2020.
- **Imagen 33:**
Construcción prefabricada.
Fuente: <http://maderayconstruccion.com.ar/europa-boom-las-casas-prefabricadas-pasivas-futuro-prometedor-america-latina/>
- **Imagen 34:**
Bodegas Dominus. Herzog & de Meuron. Valle de Napa, California. En el paisaje.
Fuente: <https://www.dezeen.com>
- **Imagen 35:**
Bodegas Dominus. Herzog & de Meuron. Valle de Napa, California. Detalle fachada.
Fuente: <https://www.dezeen.com>
- **Imagen 36:**
Bodegas Dominus. Herzog & de Meuron. Valle de Napa, California. Acceso.
Fuente: <https://afasiaarchzine.com/2019/11/herzog-de-meuron-222/herzog-de-meuron-domi->

nus-winery-yountville-afasia-3/

- **Imagen 37:**

The Circular Building. Arup Associates.

Fuente: ArchDaily, página web: <https://www.archdaily.com/868121/arup-designs-prototype-building-based-on-circular-economy-principles>

- **Imagen 38:**

The Circular Building. Arup Associates. Acceso desde el exterior.

Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

- **Imagen 39:**

Logo *London Design Festival 2020*.

Fuente: London Design Festival, página web: <https://www.londondesignfestival.com/>

- **Imagen 40:**

The Circular Building. Arup Associates. Interior.

Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

- **Imagen 41:**

Esquema del concepto *Shearing Layers* sobre panel SIP de *The Circular Building*.

Fuente: Recorte del vídeo *The Circular Building-A learning journey* de BuildingsatArup. https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ

- **Imagen 42:**

Fachada trasera de *The Circular Building*, donde se pueden percibir las capas del edificio.

Fuente: <https://archinect.com/aruparchitects/project/the-circular-building>

- **Imagen 43:**

The Circular Building. Planta.

Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

- **Imagen 44:**

The Circular Building. Axonometría explotada.

Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

- **Imagen 45:**

Esquema *Shearing Layers* por colores asignados a las capas de *The Circular Building*.

Fuente: Elaboración propia.

- **Imagen 46:**

The Circular Building. Plano de situación.

Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

- **Imagen 47:**

Exposición *Circular Living* en *The Building Centre*, Londres.

Fuente: BMIAA, página web: <https://www.bmiaa.com/circular-living-installation-and-exh-at-the-building-centre/>

- **Imagen 48:**
The Circular Building en Store Street.
 Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>
- **Imagen 49:**
 Esquema estructural *The Circular Building*.
 Fuente: elaboración propia a partir de la planta
- **Imagen 50:**
 Unión atornillada entre perfiles de acero de la estructura de *The Circular Building*.
 Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>
- **Imagen 51:**
 Construcción de la estructura de acero de *The Circular Building*.
 Fuente: BAM, página web: <https://www.bam.co.uk/media-centre/news-details/bam-opens-circular-building-at-london-design-festival>
- **Imagen 52:**
 Unión de abrazadera entre perfiles de acero de la estructura y los paneles del cerramiento. *The Circular Building*.
 Fuente: Lindapter, página web: http://www.lindapter.com/Case_Studies/Arups_Circular_Building
- **Imagen 53:**
 Unión de abrazadera entre perfiles de acero de la estructura y el acristalamiento. *The Circular Building*.
 Fuente: Lindapter, página web: http://www.lindapter.com/Case_Studies/Arups_Circular_Building
- **Imagen 54:**
 Montaje del sistema de unión diseñado por Lindapter.
 Fuente: Catálogo 2017 Lindapter recuperado de www.lindapter.com
- **Imagen 55:**
 Uniones entre distintos elementos mediante el sistema de Lindapter.
 Fuente: Catálogo 2017 Lindapter recuperado de www.lindapter.com
- **Imagen 56:**
 Colocación subestructura de madera para el suelo de *The Circular Building*.
 Fuente: Recorte del vídeo *The Circular Building-A learning journey* de BuildingsatArup. https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ
- **Imagen 57:**
 Certificado *Cradle to Cradle* de la madera Accoya.
 Fuente: Cradle to Cradle Products Innovation Institute, página web: <https://www.c2ccertified.org/>
- **Imagen 58:**
 Vista exterior de *The Circular Building*. Revestimiento de madera del fabricante Accoya.
 Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>
- **Imagen 59:**
 Logo FSC
 Fuente: FSC, página web: <https://es.fsc.org/es-es>

- **Imagen 60:**

Vista exterior de las capas de la envolvente: paneles prefabricados y revestimiento de listones de madera.

Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>

- **Imagen 61:**

Paneles prefabricados SIP y los cuatro materiales de aislamiento.

Fuente: Recorte vídeo *The Circular Building-A learning journey* https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

- **Imagen 62:**

Montaje de los paneles prefabricados SIP.

Fuente: Recorte vídeo *The Circular Building-A learning journey* https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

- **Imagen 63:**

Colocación lámina impermeable Fatra.

Fuente: Recorte vídeo *The Circular Building-A learning journey* https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

- **Imagen 64:**

Colocación lámina impermeable Fatra.

Fuente: Recorte vídeo *The Circular Building-A learning journey* https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

- **Imagen 65:**

Vista desde arriba de *The Circular Building*. Tragaluz VELUX.

Fuente: <https://www.architectsjournal.co.uk/news/opinion/circular-thinking-will-arups-prototype-change-the-way-we-design>

- **Imagen 66:**

Subestructura de madera para el tragaluz VELUX VMS.

Fuente: Catálogo Velux VMS recuperado de <https://commercial.velux.co.uk/en>

- **Imagen 67:**

Partes del tragaluz VELUX VMS.

Fuente: Catálogo Velux VMS recuperado de <https://commercial.velux.co.uk/en>

- **Imagen 68:**

Detalle enganche tipo abrazadera del tragaluz VELUX VMS.

Fuente: Catálogo Velux VMS recuperado de <https://commercial.velux.co.uk/en>

- **Imagen 69:**

Colocación tragaluz VELUX VMS en *The circular Building*.

Fuente: Recorte vídeo *The Circular Building-A learning journey* https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

- **Imagen 70:**

Desmontaje tragaluz VELUX VMS en *The circular Building*.

Fuente: Recorte vídeo *The Circular Building-A learning journey* https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

- **Imagen 71:**
Escritorio con el sistema de control y regulación de *The Circular Building*.
Fuente: <https://archinect.com/aruparchitects/project/the-circular-building#&gid=1&pid=6>
- **Imagen 72:**
Paneles de parámetros del sistema de control y regulación de *The Circular Building*.
Fuente: Recorte del vídeo *Recyclable house shifts construction to circular economy*, <https://www.youtube.com/watch?v=TbkR20OIIDw>
- **Imagen 73:**
Partes y materiales del sistema de baterías AHI de Aquion Energy.
Fuente: Catálogo Aquion Energy.
- **Imagen 74:**
Sistema de baterías AHI de Aquion Energy de *The Circular Building*.
Fuente: Recorte del vídeo *Recyclable house shifts construction to circular economy*, <https://www.youtube.com/watch?v=TbkR20OIIDw>
- **Imagen 75:**
LED XIM de XICATO
Fuente: XICATO, página web: <https://www.xicato.com/>
- **Imagen 76:**
Componentes del equipo ventilación mecánica de *The Circular Building*.
Fuente: Recorte vídeo *The Circular Building-A learning journey* https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s
- **Imagen 77:**
Equipo de ventilación mecánica de *The Circular Building*.
Fuente: Recorte vídeo *The Circular Building-A learning journey* https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s
- **Imagen 78:**
Tela acústica AUTEX.
Fuente: Recorte vídeo *The Circular Building-A learning journey* https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s
- **Imagen 79:**
Acabado interior *The Circular Building*: tela acústica azul AUTEX.
Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-de-equipamiento-y-servicios-vivienda-unifamiliar/circular-building>
- **Imagen 80:**
Acabado interior *The Circular Building*: moqueta azul DESSO.
Fuente: <https://archinect.com/aruparchitects/project/the-circular-building#&gid=1&pid=6>
- **Imágenes 81, 82, 83 y 84:**
Imágenes del programa *ReStart* en la empresa DESSO.
Fuente: DESSO, TARKETT, página web: https://professionals.tarkett.com/en_EU/node/restart-recycling-take-back-programme-9721

- **Imagen 85:**
Silla ARA, Orange Box.
Fuente: <https://www.archiexpo.es/prod/orange-box/product-64144-1983216.html>
- **Imagen 86:**
Separación de materiales del respaldo Silla ARA, Orange Box.
Fuente: Recorte vídeo *Ara-Design Story Orange Box*, <https://www.youtube.com/watch?v=nn-S8ansoOw>
- **Imagen 87:**
Silla ARA, Orange Box en *The Circular Building*.
Fuente: <https://archinect.com/aruparchitects/project/the-circular-building#&gid=1&pid=4>
- **Imagen 88:**
Felpudo HUG RUG. Hug Home.
Fuente: Hug Home, página web: <https://hugathome.co.uk/products/hugrug-modern-stripe81>
- **Imagen 89:**
Logo Hug Home.
Fuente: Hug Home, página web: <https://hugathome.co.uk/>
- **Imagen 90:**
Felpudo HUG RUG en *The Circular Building*.
Fuente: Recorte del vídeo *Recyclable house shifts construction to circular economy*, <https://www.youtube.com/watch?v=TbkR20OIIDw>
- **Imagen 91:**
Interior amueblado de *The Circular Building*.
Fuente: <https://archinect.com/aruparchitects/project/the-circular-building#&gid=1&pid=4>
- **Imágenes 92 y 93:**
Equipo de *The Circular Building*, durante su construcción.
Fuente: Recorte vídeo *The Circular Building–A learning journey* https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s
- **Imágenes 94 y 95:**
Códigos qr de los productos en el interior de *The Circular Building*.
Fuente: Recorte vídeo *The Circular Building–A learning journey* https://www.youtube.com/watch?v=s03dNDg_hWQ&t=6s

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1:

Tabla emisiones de CO₂ por kg de material y por m² construido de MCH (Modelo Constructivo Habitual).

Modelo de cuantificación de las emisiones de CO₂ producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución. M. P. Mercader, A. Ramírez de Arellano, M. Olivares. Junio 2012.

- Tabla 2:

Residuos (toneladas) generados en Europa por los países y años.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Eurostat. <https://ec.europa.eu/eurostat>

- Tabla 3:

Porcentaje de residuos destinados a tareas de reciclaje Europa por países.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de CEDEX (Centro de estudios y experimentación de obras públicas del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/35/residuos-de-construccion-y-demolicion/197/volumen-y-distribucion-.html>).

- Tabla 4:

Residuos (toneladas) generados en Europa por los países más representativos y años.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Eurostat. <https://ec.europa.eu/eurostat>

- Tabla 5:

Porcentaje de residuos destinados a tareas de reciclaje Europa por países.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de CEDEX (Centro de estudios y experimentación de obras públicas del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/35/residuos-de-construccion-y-demolicion/197/volumen-y-distribucion-.html>).

- Tabla 6:

Residuos (toneladas) generados por sectores de actividad y hogares. Años 2016-2017.

Fuente: Elaboración propia a partir de: *Cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2017*. Nota de prensa 29 noviembre 2019. INE. y *Otras cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2016*. Nota de prensa 29 noviembre 2018. INE.

- Tabla 7:

Residuos generados por el sector de la construcción en España por años.

Fuente: Elaboración propia a partir de: *Cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2017*.

Nota de prensa 29 noviembre 2019. INE. y *Otras cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2016*. Nota de prensa 29 noviembre 2018. INE.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico 1:

Evolución por años de los residuos (toneladas) generados por los países más representativos de Europa.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la tabla 4, obtenidos de Eurostat. <https://ec.europa.eu/eurostat>

- Gráfico 2:

Comparación entre los residuos generados y la parte que se destino a tareas de reciclaje en los países más representativos de Europa en 2016.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de las tablas 2 y 3, obtenidos de Eurostat (<https://ec.europa.eu/eurostat>) y CEDEX (Centro de estudios y experimentación de obras públicas del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/35/residuos-de-construccion-y-demolicion/197/volumen-y-distribucion-.html>).

- Gráfico 3:

Residuos generados por sectores de actividad y hogares (porcentaje). Media años 2016-2017.

Fuente: Elaboración propia a partir de: *Cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2017*. Nota de prensa 29 noviembre 2019. INE. y *Otras cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2016*. Nota de prensa 29 noviembre 2018. INE.

- Gráfico 4:

Residuos generados por el sector de la construcción en España por años.

Fuente: Elaboración propia a partir de: *Cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2017*. Nota de prensa 29 noviembre 2019. INE. y *Otras cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2016*. Nota de prensa 29 noviembre 2018. INE.

- Gráfico 5:

Tratamiento de residuos (porcentaje). Año 2017.

Fuente: *Cuentas medioambientales: cuenta de los residuos del año 2017*. Nota de prensa 29 noviembre 2019. INE.

**“NOSOTROS
TENEMOS QUE SER
EL CAMBIO
QUE QUEREMOS VER
EN EL MUNDO”**

MAHATMA GANDHI

