



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE ELEMENTOS O  
MATERIALES DE PLASTICO EN ARQUITECTURA:  
BUENAS PRÁCTICAS EN ESPAÑA

Trabajo Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

AUTOR/A: Romero Martinez, Saúl

Tutor/a: López Mateu, Vicente

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

# REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE ELEMENTOS O MATERIALES DE PLASTICO EN ARQUITECTURA: BUENAS PRÁCTICAS EN ESPAÑA

SAÚL ROMERO MARTÍNEZ  
TUTOR: VICENTE LÓPEZ MATEU

---

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA  
2021-2022



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# ÍNDICE

PRÓLOGO Y AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN Y PALABRAS CLAVE .....	5
Resum.....	6
Summary.....	7
1    JUSTIFICACIÓN, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA .....	8
1.1    Justificación del trabajo.....	8
1.2    Objetivos.....	8
1.3    Metodología y planteamiento seguido.....	9
2    RELACIÓN CON LOS ODS .....	10
3    HIPÓTESIS DE TRABAJO .....	12
4    INTRODUCCIÓN.....	13
4.1    Origen y evolución de los materiales plásticos.....	14
4.2    Reseña de los orígenes y evolución del reciclaje.....	16
4.3    Economía circular .....	18
4.4    El reciclaje de plásticos.....	19
4.5    Los plásticos en la actualidad .....	20
5    CLASIFICACIONES E IDENTIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.....	23
5.1    Plásticos de origen natural y sintéticos .....	23
5.2    Según su estructura interna .....	24
5.2.1    Termoplásticos.....	24
5.2.2    Termoestables .....	24
5.2.3    Elastómeros.....	25
5.3    Códigos de Identificación del Plástico .....	25
6    PROCESAMIENTO Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS .....	27
6.1    Plásticos reciclables.....	27
6.2    La necesidad de la separación.....	28
6.3    Métodos de separación.....	29
6.4    Tipos de reciclaje.....	31

7	PLÁSTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN .....	33
7.1	Utilización de plásticos en la construcción .....	33
7.2	Residuos que generan los plásticos en la construcción .....	34
7.2.1	Residuos de construcción y demolición (RCD) .....	34
7.2.2	Tratamiento y procesado de los plásticos en construcción.....	37
8	NORMATIVA .....	39
8.1	Europea .....	39
8.2	Estatal.....	40
8.3	Autonómica.....	42
9	PLÁSTICO RECICLADO EN ARQUITECTURA: EJEMPLOS ACTUALES Y BUENAS PRÁCTICAS.....	43
9.1	Introducción .....	43
9.2	Materiales plásticos reutilizados sin transformación.....	43
9.2.1	Ejemplos de buenas prácticas internacionales .....	44
9.2.2	Ejemplos de buenas prácticas en España .....	58
9.3	Materiales plásticos reutilizados con transformación.....	62
9.3.1	Pavimentos .....	62
9.3.2	Paneles.....	70
9.3.3	Ladrillos y bloques .....	76
9.3.4	Tejas.....	81
9.3.5	Instalaciones.....	83
9.3.6	Ejemplos arquitectónicos.....	89
10	FUTURAS VIAS DE TRABAJO .....	92
11	INCONVENIENTES.....	94
12	RECAPITULACIÓN .....	95
13	CONCLUSIONES.....	97
14	BIBLIOGRAFÍA .....	98
15	ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	102

## PRÓLOGO Y AGRADECIMIENTOS

Me gustaría transmitir mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que me han ayudado en toda la etapa de formación universitaria y han formado parte de ella.

En primer lugar, a mi familia, en especial a mis padres, quienes me han brindado todo su apoyo desde siempre y me han transmitido los mejores valores. No habría llegado hasta aquí si no fuera por ellos.

En segundo lugar, a mis amigos, tanto aquellos que han estado conmigo desde la infancia como todos aquellos que he conocido en esta maravillosa etapa de mi vida. Siempre han estado apoyándome en los buenos y malos momentos, consiguiendo superar los momentos más complicados gracias a sus consejos, humor y compañía.

En tercer lugar, a mi tutor Vicente López Mateu, por su ayuda en la planificación, información, organización y todos aquellos consejos que me ha brindado en este Trabajo de Fin de Grado.

También, expresar mi más sentido agradecimiento a la Universitat Politècnica de València por acogerme dentro de sus aulas y hacerme sentir como en casa.

## RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

El presente trabajo trata sobre un material tan importante y difundido en la actualidad como los plásticos. Desde la reflexión sobre los problemas medioambientales globales, a las diversas acciones que se pueden llevar a cabo para mitigarlos, especialmente en el sector de la construcción.

En primer lugar, se expone una introducción del origen de los plásticos, su evolución y aplicaciones hasta llegar a la situación actual. De este modo, se observa la rápida expansión que han tenido estos materiales y, como consecuencia, la elaboración de una gran cantidad de residuos sin tratar.

Para subsanar este problema, en los últimos años se ha intensificado la concienciación y las posibles alternativas de reutilización y reciclaje. Esto es consecuencia de poner en práctica un modelo económico mucho más sostenible, la economía circular.

En segundo lugar, se analizan los distintos tipos de plástico para conocer sus principales características y su capacidad de ser reciclados. En este ámbito, se dan a conocer los procesos de reciclaje de plásticos y las ventajas e inconvenientes que pueden ofrecernos tanto los plásticos de primer uso como los reciclados.

A continuación, nos centramos en los plásticos que pertenecen al sector de la construcción. De este modo, se exponen sus posibles usos, propiedades y su posterior tratamiento y procesado, todo ello acompañado de las normativas que regulan estos materiales.

Finalmente, se ha realizado una búsqueda de diferentes proyectos arquitectónicos, técnicas constructivas y materiales fabricados partir de plásticos reutilizados y reciclados. De este modo, se facilita una guía con diferentes ejemplos arquitectónicos para encontrar las soluciones más sostenibles a la hora de construir.

En el ámbito español resulta complicado encontrar ejemplos con estas nuevas técnicas, ya que el sector de los plásticos reciclados en la construcción está empezando a desarrollarse en la actualidad. Aun así, se citan algunos ejemplos destacados.

### **Palabras clave:**

Materiales plásticos, economía circular, reutilización, reciclaje, arquitectura sostenible.

## Resum

El present treball tracta sobre un material tan important i difós en l'actualitat com el plàstic. Des de la reflexió sobre els problemes mediambientals globals, a les diverses accions que es poden dur a terme per a mitigar-los, especialment en el sector de la construcció.

En primer lloc, s'exposa una introducció de l'origen dels plàstics, la seua evolució i aplicacions fins a arribar a la situació actual. D'aquesta manera, s'observa la ràpida expansió que han tingut aquests materials i, com a conseqüència, l'elaboració d'una gran quantitat de residus sense tractar.

Per a esmenar aquest problema, en els últims anys s'ha intensificat la conscienciació i les possibles alternatives de reutilització i reciclatge. Això és conseqüència de posar en pràctica un model econòmic molt més sostenible, l'economia circular.

En segon lloc, s'analitzen els diferents tipus de plàstic per a conèixer les seues principals característiques i la seua capacitat de ser reciclats. En aquest àmbit, es donen a conèixer els processos de reciclatge de plàstics i els avantatges i inconvenients que poden oferir-nos tant els plàstics de primer ús com els reciclats.

A continuació, ens centrem en els plàstics que pertanyen al sector de la construcció. D'aquesta manera, s'exposen els seus possibles usos, propietats i el seu posterior tractament i processament, tot això acompanyat de les normatives que regulen aquests materials.

Finalment, s'ha realitzat una cerca de diferents projectes arquitectònics, tècniques constructives i materials fabricats partir de plàstics reutilitzats i reciclats. D'aquesta manera, es facilita una guia amb diferents exemples arquitectònics per a trobar les solucions més sostenibles a l'hora de construir.

En l'àmbit espanyol resulta complicat trobar exemples amb aquestes noves tècniques, ja que el sector dels plàstics reciclats en la construcció està començant a desenvolupar-se en l'actualitat. Així i tot, es citen alguns exemples destacats.

### Paraules clau:

Materials plàstics, economia circular, reutilització, reciclatge, arquitectura sostenible.

## Summary

This work deals with a material as important and widespread today as plastics. From a reflection on global environmental problems, to the various actions that can be taken to mitigate them, especially in the construction sector.

First, an introduction to the origin of plastics, their evolution and applications up to the present situation are given. Thus, it can be observed the rapid expansion of these materials and, consequently, the production of a large amount of untreated waste.

To overcome this problem, different institutions have developed awareness campaigns, and possible alternatives for reuse and recycling have been intensified in recent years. This is a consequence of implementing a much more sustainable economic model, the circular economy.

Secondly, the different types of plastic are analyzed in order to learn about their main characteristics and their capacity to be recycled. Then, the recycling processes of plastics and the advantages and disadvantages that both first use and recycled plastics can offer us are explained.

Next, we focus on plastics that belong to the construction industry. In this way, their possible uses, properties and their subsequent treatment and processing are presented, together with the regulations governing these materials.

To finish up, research has been carried out for different architectural projects, construction techniques and materials made from reused and recycled plastics. Hence, a guide is provided with different architectural examples to find the most sustainable solutions while building.

In the Spanish frame, it is not easy to find examples of these new techniques, as the recycled plastics sector in construction is just beginning to develop. Nevertheless, some outstanding examples are cited.

### **Key words:**

Plastic materials, circular economy, reuse, recycling, sustainable architecture.

# 1 JUSTIFICACIÓN, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

## 1.1 Justificación del trabajo

El interés por el presente tema ha surgido como consecuencia de los problemas medioambientales que se han causado al planeta en el último siglo. Según los expertos y científicos que abordan este tema, nos encontramos en una situación donde, si no reaccionamos, no habrá tiempo para revertir la situación.<sup>1</sup>

Por este motivo, en el trabajo actual se van a buscar y proponer soluciones para mostrar como el sector de la construcción puede ayudar en este cambio a un modelo de vida más sostenible. Todas estas prácticas estarán dirigidas a los plásticos, uno de los materiales hasta ahora más utilizados, por lo que también genera más residuos.

Otro de los factores que ha influenciado en la elección del trabajo han sido las dificultades en la producción y suministro de productos debido a la pandemia de la COVID-19 y, posteriormente, del conflicto entre Rusia y Ucrania.

Esto nos ha hecho considerar, más aún si cabe, la necesidad de la reutilización y reciclaje de materiales y productos, especialmente aquellos relacionados con el petróleo. Nos hemos concienciado, más aún que antes, que los recursos son infinitos y necesitamos modelos más sostenibles.

La importancia de este trabajo reside en la necesidad actual de reutilización y reciclaje debido a las causas mencionadas anteriormente. Por este motivo, se presentarán un número significativo de soluciones constructivas actuales, relacionadas con la reutilización y reciclaje de plásticos, que permitan mostrar la viabilidad de estos productos frente los tradicionales.

## 1.2 Objetivos

El objetivo principal es reconocer y determinar las principales posibilidades de reutilización y reciclaje de los materiales plásticos en arquitectura, ilustrándolo con ejemplos y buenas prácticas, en el ámbito general y particular de España.

---

<sup>1</sup> Informe del IPCC, *Mitigation of Climate Change*

Este objetivo principal se desarrolla a través de una serie de objetivos particulares:

- Reconocer las características de los plásticos en general y en particular los que se utilizan en arquitectura.
- Revisar las principales posibilidades y ventajas de la reutilización y el reciclaje de los plásticos.
- Seleccionar y exponer ejemplos actuales de buenas prácticas de utilización del plástico.
- Difundir diversas soluciones constructivas con este material que nos ofrezcan una mayor sostenibilidad a la hora de construir.
- Proponer y facilitar herramientas para la divulgación y concienciación de estos nuevos métodos.

### **1.3 Metodología y planteamiento seguido**

La metodología seguida en este trabajo ha consistido en:

Un estudio pormenorizado de los datos y fuentes disponibles, ya sean libros, archivos digitales, normativas, páginas web, artículos y otros medios, que se ha analizado detenidamente para que fuera fiable y contrastada.

A partir de aquí, se ha resumido el origen y evolución genérica de los plásticos y sus características, con el fin de entender de manera adecuada como se ha llegado a la solución actual y como podría cambiarse.

Seguidamente, se ha identificado la utilización de plásticos en los elementos constructivos, sus principales aplicaciones, requisitos y características.

Finalmente, para la utilización del plástico de forma sostenible en la construcción, se han estudiado y analizado las posibilidades de reciclaje de los elementos plásticos en distintos sistemas y soluciones constructivas, ya sea de manera individual, agrupadas o como componentes de distintas partes del edificio: fachadas, cubiertas, divisiones interiores, pavimentos, etc.

## 2 RELACIÓN CON LOS ODS

Los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) son un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para los seres humanos. Fueron acordados el 25 de septiembre de 2015 por las Naciones Unidas y, cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en el año 2030.



Ilustración 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Fuente: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

En este trabajo encontramos una relación directa con algunos de los objetivos que aparecen en los ODS, concretamente con los puntos 9, 11 y 12.

El objetivo número 9 (Industria, innovación e infraestructuras) es uno de los puntos más relacionados con este trabajo. Su meta es el desarrollo de infraestructuras fiables, sostenibles y de calidad para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano.

Este punto está vinculado con el sector de la construcción debido al gran impacto que produce en la sociedad a la hora de utilizar y presentar nuevos materiales más eficientes y sostenibles. Puede servir como escaparate para mostrar la gran importancia de la innovación en la industria para conseguir reciclar y reutilizar el plástico de la manera óptima. Cabe destacar el subapartado 9.4:

*"De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas."*

El objetivo número 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) trata el continuado aumento de la densidad de población de forma acelerada. Esto está provocando la creación de infraestructuras y servicios inadecuados o sobrecargados, empeorando la calidad de vida y aire de las ciudades.

El reciclaje y utilización de materiales reutilizados y sostenibles puede ayudar en la gestión sostenible de las ciudades. Esto puede realizarse con la utilización de plásticos reciclados en las infraestructuras urbanas: equipamiento urbano y mobiliario, señalización de parques, jardines, etc. Cabe destacar el subapartado 11.6:

*“De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo”.*

El objetivo número 12 (Producción y consumo responsables) es el punto con más relación al presente trabajo desde el punto de vista de la construcción sostenible. La principal meta es reducir al máximo posible la generación de desechos e incorporar políticas sostenibles como la reutilización, reciclaje, la economía circular, etc.

Debido a la gran cantidad de residuos que genera el sector de la construcción, cumplir con este objetivo tendría un impacto global muy importante y positivo.

Podemos destacar el subapartado número 12.4:

*De aquí a 2030, 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*

Teniendo en cuenta lo expuesto, este trabajo incluirá propuestas y ejemplos, especialmente en el ámbito de la arquitectura y de la construcción en general, que colaboren en la consecución de estos objetivos.

### 3 HIPÓTESIS DE TRABAJO

Hoy en día, la utilización de los materiales plásticos ha alcanzado casi la totalidad de los ámbitos de nuestra vida y, concretamente, el sector de la construcción y edificación es el segundo más importante en cuanto a volumen de plásticos<sup>2</sup>. Este abundante uso de los plásticos, aparte de considerar su necesidad, hace que nos replanteemos como utilizarlos para sacar su máximo aprovechamiento y desperdiciar la menor cantidad de material posible, es decir, encontrando una manera eficaz y óptima de usar, reutilizar y reciclar este material.

En este trabajo, vamos a centrarnos en los residuos plásticos generados por el sector de la construcción y la edificación. Por lo tanto, debemos analizar las mejores opciones que existen actualmente en cuanto a la reutilización, gestión y tratamiento de los materiales desechados. Además, también analizaremos las ventajas o inconvenientes de los plásticos frente a otros materiales para encontrar las soluciones más sostenibles.

A la hora de reutilizar el plástico analizaremos dos procedimientos: Los “Materiales reutilizables sin transformación” y los “Materiales reutilizables con transformación”. Por otro lado, se estudiarán que tipos de plástico pueden reciclarse, cuáles son los procedimientos, que propiedades tienen, etc. Debemos entender sus diferencias y su elección, ya que, dependiendo del proceso de reutilización o reciclaje y el tipo de plástico, encontraremos unas propiedades u otras.

Por lo tanto, identificar los distintos tipos de plásticos utilizados en la construcción con posibilidad de ser reutilizados y reciclados es la hipótesis de este trabajo. Esta hipótesis tratará de responder las siguientes cuestiones:

- ¿Cuáles son los plásticos más utilizados en la construcción, en qué usos y con qué características?
- ¿Es factible técnica y económicamente el reciclaje de plásticos en la construcción?
- ¿Qué posibilidades y dificultades tiene el empleo de elementos y materiales de plástico reciclado o reutilizado en la construcción?
- ¿Se pueden encontrar ejemplos, modelos y modelos de arquitectura que sigan estos planteamientos?

---

<sup>2</sup> ANAIP. Asociación Española de Industriales de Plásticos

## 4 INTRODUCCIÓN

El plástico empezó a llegar a nuestras vidas en la década de los 50 como un gran descubrimiento, ya que era un material capaz de responder a muchas necesidades debido a su resistencia, rigidez, maleabilidad, ligereza y, sobre todo, por el factor económico. Por este motivo, la industria del plástico se convirtió en una de las más importantes a nivel mundial a principios del año 1980 y su producción no ha hecho más que aumentar hasta nuestros días.

Al principio, estos nuevos materiales empezaron a sustituir productos como la madera, el cartón y el vidrio. Posteriormente, sustituyeron la función de los metales más ligeros y, hoy en día, han conseguido reemplazar gran parte de los materiales tradicionales gracias a distintas propiedades, sobre todo su reducido coste.

El plástico se ideó como un material capaz de desarrollar una producción barata, funcional, asequible y de una fácil elaboración, no surgió como un material específico para cubrir una necesidad. Este motivo propició la introducción del plástico en el mercado y consiguió ocupar poco a poco el espacio de otros materiales para terminar convirtiéndose en imprescindible.

Además, su rápida evolución fue debida a sus elevadas propiedades como, por ejemplo, la capacidad de adoptar múltiples formas que permitió crear diseños más complejos y eficientes en todo tipo de productos. Esta evolución ha sido y sigue siendo constante.

Como ejemplo, observamos como la investigación y desarrollo de este material está aportando nuevos campos de producción como lo son las impresoras 3D. Estas máquinas son capaces de crear modelos y piezas “a demanda”, con unas características establecidas por la necesidad especial y específica de uso. Inicialmente solo eran capaces de crear productos de pequeño tamaño, pero hoy en día se han conseguido fabricar viviendas con esta tecnología.

Actualmente, los plásticos se han incorporado en todos los ámbitos de nuestra vida y en todos los países, desde los más desarrollados a los que están ahora en vías de desarrollo, volviéndonos totalmente dependientes de este material. Esto no sería ningún problema si su uso irracional y descontrolado no estuviera afectando negativamente a nuestro planeta y nuestra salud.

Uno de los principales inconvenientes del plástico es que cuenta con tiempo de degradación muy elevado. Como ejemplo, una simple bolsa de plástico necesita 55 años para degradarse y una botella del mismo material 500 años aproximadamente. Además,

durante su degradación, se va descomponiendo en pequeños fragmentos denominados "microplásticos". Estos elementos tienen una gran capacidad contaminante y afectan mucho a mares y océanos.

Una vez conscientes de la importancia de la reducción y reutilización del plástico en nuestro día a día y de manera individual, vamos a centrarnos en las buenas prácticas que puede adoptar el sector productivo, concretamente el sector de la edificación, el cual está relacionado con nosotros.

En el sector de la construcción empezamos a observar que el interés por materiales reciclados va aumentando y en un futuro puede llegar a ser una necesidad. Por este motivo, la reutilización de materiales plásticos en este sector puede ser muy viable gracias a las grandes posibilidades que nos ofrecen. Una de las formas de conseguirlo es con un nuevo concepto de producción llamado "economía circular".

De este modo, el trabajo tiene como objetivo reconocer los métodos actuales de reutilización, las distintas soluciones constructivas, sus propiedades, etc. Para ello, se expondrán un conjunto de ejemplos de buenas prácticas que puedan servir como referente.

## **4.1 Origen y evolución de los materiales plásticos**

Aunque hay otros materiales más avanzados, podemos considerar al plástico como el último gran material masivamente desarrollado y utilizado en nuestra historia tecnológica. En menos de 200 años, este material ha conseguido ocupar todos los rincones de la Tierra, destinándose a multitud de utilidades gracias a sus distintas y múltiples propiedades.

En el año 1838 se consigue extraer y aislar por primera vez un polímero natural: la celulosa, gracias al químico Anselme Payen. Como consecuencia de este descubrimiento, la compañía Hyatt Manufacturing Company consiguió producir el primer polímero termoplástico en 1870, el celuloide. A partir de este momento, los científicos empezaron a involucrarse en el desarrollo de este nuevo material creando por primera vez seda y caucho artificial, linóleo, poliestireno, policloruro de vinilo (PVC), etc., es decir, polímeros sintéticos con distintas características y propiedades.

Cabe destacar el descubrimiento del PVC por el científico y físico Henri Víctor Regnault en 1835, donde, tras la mejora en el proceso de producción realizada por el científico Fritz Klatte en 1912, se convirtió en el material más utilizado del siglo XX.

Sin embargo, no fue hasta el periodo de la Segunda Guerra Mundial cuando se produjo un importante salto en el terreno de la investigación. Podemos destacar la utilización del proceso de extrusión en los materiales plásticos que permitió muchas nuevas aplicaciones, como, por ejemplo, la posibilidad de recubrir los cables de cobre y, como consecuencia, la aparición de los primeros cables submarinos. Gracias a este aumento en la investigación también se consiguió mejorar sus propiedades, aparecieron nuevos polímeros y se incrementaron sus aplicaciones.

## EVOLUCIÓN DEL PLÁSTICO

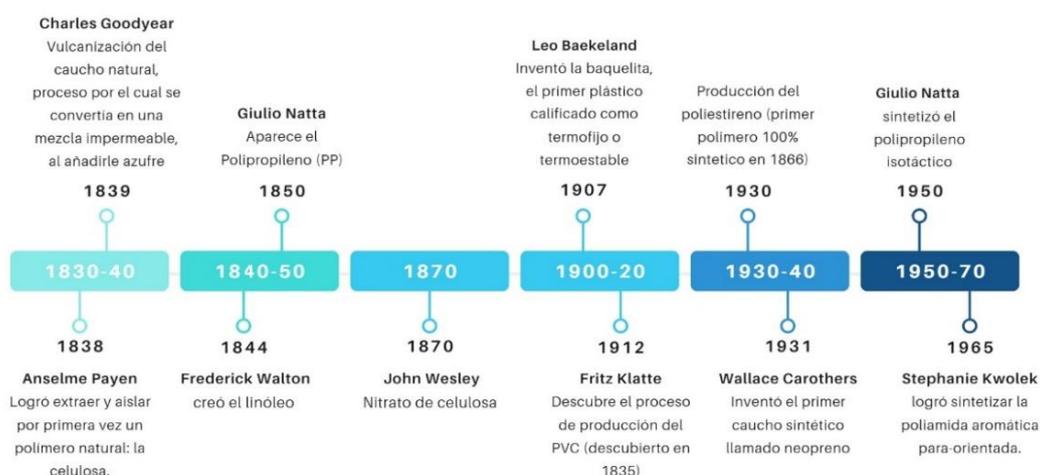


Ilustración 2. Evolución de los plásticos

Fuente: Elaboración propia

Este último siglo se ha caracterizado por la globalización del plástico, esto es fácilmente apreciable ya que encontramos esta sustancia en los envases, juguetes, ropa, compuestos industriales, estructuras, elementos del hogar, aparatos tecnológicos, etc. Es decir, se ha vuelto un material presente en múltiples objetos y con variadas aplicaciones. Podríamos decir que es un material "indispensable".

En cuanto al sector de la construcción, los primeros productos fabricados con plástico que se utilizaron fueron las tuberías y sus accesorios para desagües. El primer país en implementarlo fue Alemania en 1936 para el suministro de agua potable en las viviendas.

El plástico sustituyó a las tuberías de hierro debido a su durabilidad, versatilidad, bajo mantenimiento, resistencia a la corrosión, etc. Debido a todas estas ventajas, también empezó a sustituir otras partes de las viviendas como carpinterías, cerramientos, aislamiento, mobiliario, etc.

También nos aporta ventajas económicas, como es el caso de los aislamientos plásticos que permiten ahorrar 250 veces más energía de la que se utilizó para fabricarlos. Por lo

tanto, podemos decir que son productos baratos que, además, ayudan a reducir las fugas térmicas de las viviendas reduciendo el consumo, ya sea eléctrico, por gas, etc.

Sin embargo, dejando a un lado todas estas ventajas, los plásticos presentan una serie de inconvenientes, siendo el más importante la contaminación medioambiental que están causando, lo cual previamente no se conocía o no se había tomado en consideración.

Por este motivo, a partir de la década de 1980, se ha apostado por el reciclaje como uno de los métodos para paliar el impacto de estos materiales sobre el ecosistema.

## **4.2 Reseña de los orígenes y evolución del reciclaje**

El “reciclaje” no es un concepto actual, ha estado presente durante toda la historia de la humanidad y ha ido evolucionando al igual que esta. Por este motivo, antes de centrarnos exclusivamente en el reciclaje y reutilización de materiales plásticos, vamos a conocer su origen y evolución.

Las primeras civilizaciones humanas ya ponían en práctica el concepto de “reutilización”. En esos tiempos era muy difícil encontrar recursos para la fabricación de herramientas y utensilios, por lo tanto, intentaban reutilizar todos los elementos y materiales ya existentes para economizar al máximo los recursos. Otro de los ámbitos donde más se reutilizaban los materiales era en la construcción, reutilizando las piedras, maderas, cerámicas, etc.

En cuanto al concepto de “reciclaje”, gracias a los restos arqueológicos podemos conocer que en el año 400 a.C ya se reciclaba. La basura generada en los hogares era utilizada para la creación de nuevos utensilios cuando escaseaba la materia prima. Sin embargo, los primeros que reciclaron tal y como entendemos hoy en día, fueron los japoneses en el año 1031 d.C. Estos almacenaron el papel usado para reciclarlo posteriormente. Por este motivo, todos los documentos antiguos que se conservan en Japón están hechos con papel reciclado.

Con el inicio de la Revolución Industrial, a finales del siglo XVII, las actividades y procesos productivos cambiaron notablemente respecto a etapas anteriores. El comercio empezó a desarrollarse rápidamente por el intercambio masivo de productos y, como consecuencia, se produjo un gran aumento en la demografía y construcción.

Hasta entonces, no se detectó ningún exceso de basura, ya que la difícil y cara elaboración de productos hizo que la población reutilizara todos los elementos posibles. Por este motivo, hay historiadores que han bautizado este periodo anterior a la industrialización como “la edad de oro del reciclaje”.

Después de la Revolución Industrial, a finales del siglo XVIII, se cambió radicalmente el proceso de producción de bienes de consumo. Se sustituyó la elaboración de productos artesanos por una producción masiva de productos que, además, instauró la filosofía del “usar y tirar”. Se consiguió llevar a cabo reduciendo los costes de producción por la fabricación en serie, en fábricas y cadenas de montaje. Esto fue incentivado por la aparición de los plásticos, que se convirtió en el material de “usar y tirar” por excelencia.

Por otra parte, desde la década de 1980 se empezaron a considerar los aspectos medioambientales de los materiales al observar como muchos de los residuos causados por estos nuevos materiales no podían ser degradados por la naturaleza. Se apostó firmemente por el reciclaje como uno de los métodos para paliar el impacto ambiental que está causando la gran cantidad de residuos en el ecosistema que tardan muchos años en degradarse, entre ellos los plásticos.

Conscientes del problema que estaba generando el exceso de residuos, en 1874 se implantó por primera vez un programa de tratamiento de residuos domésticos en la ciudad de Baltimore. Años más tarde, se estableció en la ciudad de Nueva York el primer centro de reciclaje de materiales.<sup>3</sup>

La Segunda Guerra Mundial también tuvo un papel muy importante en la concienciación del reciclaje debido a la escasez de materiales y productos. Esto fue debido a la necesidad de reutilizar y reciclar todos los elementos posibles debido al desabastecimiento de materias primas.

Este planteamiento de la reutilización y reciclaje es previo a la pandemia del COVID-19 y al conflicto entre Rusia y Ucrania, pero es previsible que estos hechos históricos aceleren lo que se había considerado previamente. Al producirse un desabastecimiento de ciertos productos y un incremento de precio se opta por prolongar la vida útil de los bienes de consumo junto a su reutilización y reciclaje.

---

<sup>3</sup> *Historia del reciclaje. Hitos y conquistas. En línea. OpenMind.*

### 4.3 Economía circular

Hasta ahora la producción de los materiales en general, y de los plásticos en particular, estaba basada en el modelo de economía lineal. Este es un sistema centrado principalmente en la economía y la rapidez de producción, sin tener en cuenta la sostenibilidad y el bienestar ecológico a largo plazo. Es un modelo de consumo en el que los materiales se fabrican a partir de recursos naturales, se utilizan y al final de su vida útil se desechan. Este proceso se va acelerando cada vez más para incrementar la rentabilidad económica llegando al consumo rápido, usar y tirar.

Los planteamientos globales actuales en todos los ámbitos productivos tienden a establecer el modelo de economía circular. Este sistema está basado en un modelo mucho más sostenible, pero sin dejar atrás el beneficio económico. Se intenta generar la menor cantidad de residuos posibles manteniendo los materiales dentro del ciclo productivo y reutilizando todos los residuos o una parte de ellos como materia prima. La parte no utilizada es empleada como energía y si no es posible se desecha en última instancia.



Ilustración 3. Esquema economía lineal y circular

Fuente: Instituto Argentino de Responsabilidad Social y Sustentabilidad

El pilar fundamental de este sistema es el uso de las cuatro “R”: reducir, reutilizar, reparar y reciclar. Se intenta mantener el valor de los materiales, productos y recursos en la economía el mayor tiempo posible.

En este sentido, la Comisión Europea publicó en el año 2018 la Estrategia de Plásticos<sup>4</sup> que incluye cuatro medidas para lograr una producción, uso y disposición más sostenible de los plásticos:

<sup>4</sup> COM/2018/028

- “Mejora de la economía y la calidad del reciclaje de plásticos.
- Reducción de la cantidad de residuos plásticos y abandono en el medio ambiente
- Aumento de la innovación y la inversión
- Esfuerzos para crear una acción global”<sup>5</sup>

#### 4.4 El reciclaje de plásticos

Actualmente, encontramos algunos materiales como el vidrio o el metal donde se está llegando a conseguir unas tasas de reciclaje entre el 50 y el 90 por ciento, sin embargo, en el sector de los plásticos nos encontramos en un escaso valor del 10 por ciento a nivel global.<sup>6</sup>

Sin embargo, hay un dato esperanzador. En Europa encontramos unas mayores tasas de reciclaje de plásticos comparado con otras zonas del mundo. En el año 2018 el porcentaje de plásticos reciclados ascendía al 32,5% y en algunos países como Eslovenia y Lituania superan el 60%.<sup>4</sup>

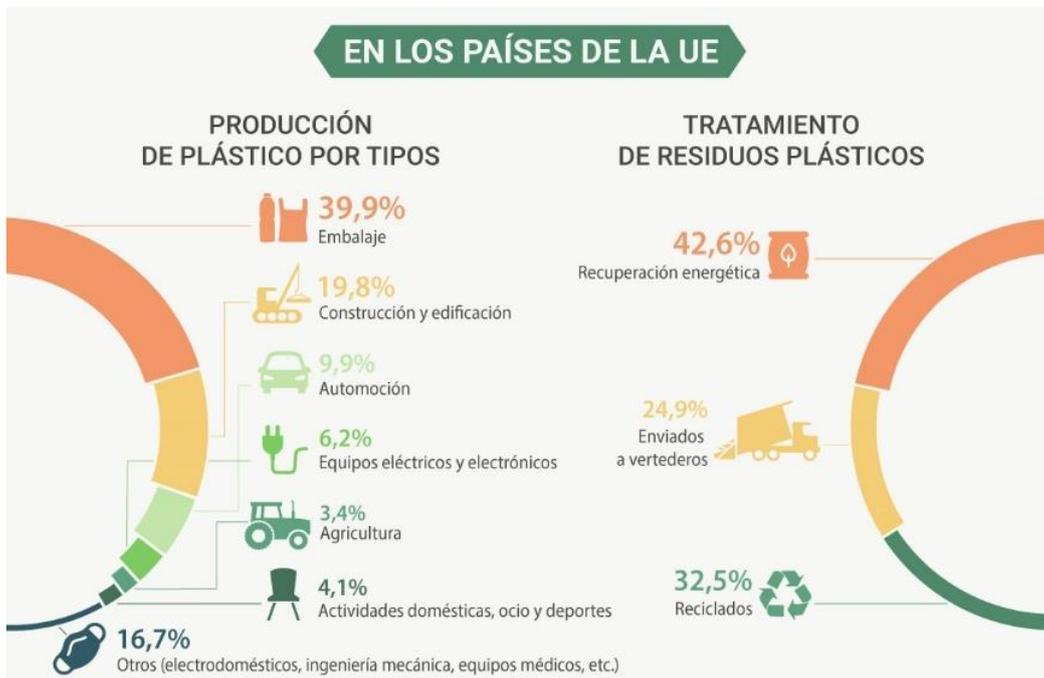


Ilustración 4. Producción y tratamiento de plásticos en la Unión Europea

Fuente: Eurostat, Agencia Europea del Medio Ambiente (2018)

<sup>5</sup> *Plastics Europe ES*

<sup>6</sup> *Eurostat, Agencia Europea del Medio Ambiente (2018)*

Este nivel tan bajo de reciclaje de los plásticos ha sido debido a diversos factores:

- La baja rentabilidad económica que nos ofrece, si lo comparamos con otros materiales tradicionalmente ya reciclados, como los metales, papel o vidrio.
- La difícil separación de los distintos tipos de plásticos.
- La degradación que sufren los plásticos en algunos procesos de reciclaje que hace menguar sus propiedades.
- Muchos de los productos no están diseñados para facilitar su reciclaje.

Para mejorar los procesos de uso y reciclaje de los plásticos, han surgido un gran número de organizaciones que promueven e investigan soluciones para evitar el impacto medioambiental que están causando los plásticos. Algunas de estas propuestas han sido la creación del plástico biodegradable, la prohibición de descargar residuos en los océanos, la sustitución de los elementos plásticos por otros de origen vegetal, etc.

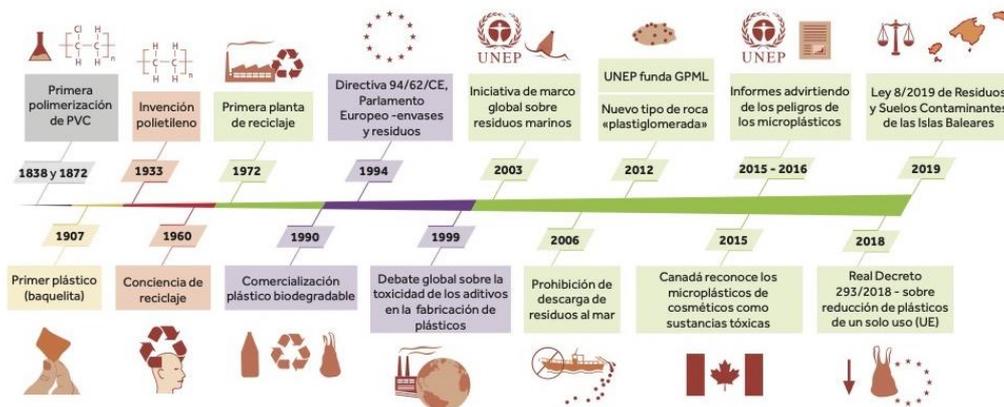


Ilustración 5. Cronología de la regulación del plástico

Fuente: *Métode 2020 - 104. Las plantas del futuro - Volumen 1 (2020)*

## 4.5 Los plásticos en la actualidad

Como hemos mencionado anteriormente, los plásticos han alcanzado prácticamente todos los ámbitos de nuestra vida y si no gestionamos de forma adecuada sus residuos vamos a provocar graves problemas medioambientales. Sin embargo, estos materiales también nos aportan innumerables ventajas que al mismo tiempo nos ayudan a ser más eficientes y sostenibles en varios ámbitos.

Una de las principales ventajas que nos ofrecen los plásticos es su ligereza y menor volumen que sus alternativas. Estas propiedades permiten que, a lo largo de su vida útil,

se consiga ahorrar una gran cantidad de recursos en cuanto a materias primas y emisiones.

Sin embargo, las contrapartidas son una elevada contaminación en su proceso de producción y, al degradarse muy lentamente, permanecen sus elementos básicos en el medio causando graves problemas de contaminación, principalmente por los pequeños fragmentos, los llamados microplásticos.

Si lo aplicamos al sector de la construcción, podemos obtener productos mucho más económicos y con un menor peso que los tradicionales, permitiéndonos ahorrar recursos en otros elementos como la estructura o mejorar los comportamientos térmicos y acústicos. Comparados con otros materiales alternativos, los plásticos tienen un mejor comportamiento medioambiental, un mayor ahorro de recursos, gracias a su bajo coste de mantenimiento, y muchos de ellos tienen una buena reciclabilidad.

Uno de los métodos para medir su rentabilidad es comparar la energía y recursos utilizados para la obtención del producto acabado. En este caso, respecto a los productos utilizados en la construcción, los plásticos consumen muchos menos recursos y energía en su fabricación que las alternativas.

*“A lo largo de su vida útil, los productos plásticos para aislamiento ahorran más de 200 veces la energía invertida en su fabricación.”<sup>7</sup>*

Cabe mencionar su buen comportamiento frente al agua, la erosión y la corrosión que permite utilizarlos como tuberías, válvulas y otros accesorios con una elevada vida útil. Los plásticos pueden durar entre 50 y 100 años, lo que puede suponer un ahorro en cuanto a su mantenimiento.

Sin embargo, presentan ciertas dificultades para su unión, ampliación o modificación de las instalaciones. Es frecuente que se introduzcan también en instalaciones enterradas o de difícil acceso al considerar que su mantenimiento es nulo. Aunque presentan puntos débiles, especialmente en las juntas y encuentros de conductos, que deben ser resueltos con piezas especiales u otros materiales.

Por lo tanto, para utilizar los plásticos en la construcción, debemos establecer un balance entre las ventajas e inconvenientes que suponen y tener previsto su utilización siguiendo los planteamientos anteriormente expuestos de la economía circular, la reducción, reutilización y reciclaje del material.

---

<sup>7</sup> *Plastics Europe ES*

<b>VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS PLÁSTICOS</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<b>INCONVENIENTES</b>
Ligereza	Contaminación durante su producción
Económicos	Largo periodo de degradación
Impermeables	Separación por tipos para su reciclaje
Aislantes	Formación de microplásticos
Moldeables	Combustibles y pueden emanar gases tóxicos
Permiten revestimientos protectores de poco espesor	Su resistencia disminuye rápidamente con la temperatura

Como puede verse por este esquema resumen, encontramos diversas ventajas e inconvenientes. Conviene por lo tanto mantener aquellas que nos interesa y procurar reducir las características negativas.

## 5 CLASIFICACIONES E IDENTIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

Para ver las posibilidades de los plásticos conviene estudiar con más detalle su composición y como afecta esta al comportamiento del producto terminado.

Los plásticos son materiales formados por compuestos orgánicos de cadenas largas y alto peso molecular. Son sólidos a temperatura ambiente y, a elevadas temperaturas se ablandan y funden, permitiendo ser moldeados para diferentes aplicaciones. Se elaboran a partir de diferentes recursos naturales como el petróleo, el gas natural, el carbón o la sal común, pero en la actualidad se están investigando y utilizando otro tipo de fuentes a partir de las cuales pueden ser sintetizados, como la madera, los cereales o incluso las proteínas.

En cuanto a su clasificación, encontramos dos grandes grupos de plásticos según su naturaleza: naturales y sintéticos. También podemos clasificarlos dependiendo de su estructura interna en termoplásticos, termoestables o elastómeros.

Finalmente podemos agruparlos dependiendo de su grado de reciclabilidad, donde existe una clasificación creada por la Sociedad de la Industria de Plásticos en 1988.

### 5.1 Plásticos de origen natural y sintéticos

Los polímeros son macromoléculas que se constituyen por la unión de otras moléculas de menor tamaño a las que se denomina monómeros. Estos pueden ser de origen natural o artificial.

Los **polímeros naturales**, son todos aquellos que encontramos directamente en la naturaleza. Podemos destacar los polisacáridos celulosa o quitina. Estos pueden ser utilizarlos como tales o elaborarlos sintéticamente para elaborar otras sustancias como: poliacetato de celulosa o celofán, rayón o viscosa, o quitosano.

En cuanto a los **polímeros sintéticos**, son aquellos que se sintetizan a partir de derivados del petróleo, gas natural o carbón. Algunos ejemplos son: el poliestireno, las poliamidas, el polietileno, las siliconas, etc.

Estos últimos son los más utilizados y sus propiedades dependen de su estructura interna.

## 5.2 Según su estructura interna

Dependiendo de la estructura interna podemos dividir los plásticos sintéticos en termoplásticos, termoestables y elastómeros.

### 5.2.1 Termoplásticos

Los termoplásticos son aquellos que pueden ablandarse a altas temperaturas y posteriormente, endurecer al enfriarse. Esto permite darles gran cantidad de formas con mucha facilidad.

Este proceso de fusión y endurecimiento puede ser repetido varias veces, dotando a estos plásticos de un elevado grado de reciclabilidad. Además, también tienen la capacidad de ser soldados.

Los principales métodos de transformación que se pueden utilizar en este tipo de materiales son: extrusión, inyección, calandrado, soplado y termoconformado.

Los principales que pertenecen a este grupo son:

- Acrilonitrilo-butadieno-estireno – ABS
- Polietileno – PE
- Policloruro de vinilo – PVC
- Polipropileno – PP
- Poliestireno expandido – EPS
- Policarbonato – PC
- Polietilentereftalato – PET
- Polimetil metacrilato – PMMA
- Poliestireno - PS

### 5.2.2 Termoestables

Los termoestables son un tipo de polímero que se puede calentar y modelar una sola vez. Es decir, si una vez modelado volvemos a elevar la temperatura este no se ablandará, se quemará.

Estos materiales son muy duros y rígidos, presentan una elevada resistencia mecánica y son capaces de soportar altas temperaturas. Al contrario que en los termoplásticos, su grado de reciclabilidad es menor.

Los principales métodos de transformación que se pueden utilizar en este tipo de materiales son: bobinado, pultrusión, modelo por transferencia de resina (RTM), modelo por inyección reactiva (RIM) y prensado.

Los principales que pertenecen a este grupo son:

- Epoxi – EP
- Fenol-formaldehídos – PF
- Poliuretano – PUR
- Politetrafluoretileno – PTF

### 5.2.3 Elastómeros

Los elastómeros son polímeros muy elásticos y viscosos que son capaces de recuperar su forma original después de ser estirados. El problema es que la mayoría de ellos no pueden ser procesados.

Los elastómeros termoestables sí que requieren un proceso de vulcanización para modificar sus cualidades y aumentar su calidad.

Los principales que pertenecen a este grupo son:

- Estirénicos – SBC
- Olefínicos – TPO
- Vulcanizados termoplásticos – TPV
- Poliuretano termoplástico – TPU
- Copoliésteres – COPE
- Copoliamidas - COPA

### 5.3 Códigos de Identificación del Plástico

El Código de Identificación del Plástico es un sistema elaborado por la Sociedad de la Industria de Plásticos en el año 1988 para identificar fácilmente el material y su posibilidad de reciclaje. Este sistema está basado en el “triángulo de Moëbius”, con números del 1 al 7, con orden creciente con base en el volumen que se reciclaba en ese entonces de cada uno.

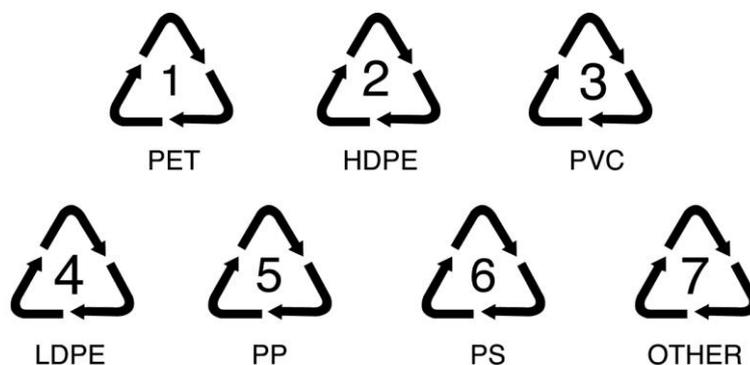


Ilustración 6. Código de Identificación del Plástico

Código de identificación del plástico. Sociedad de la Industria de Plásticos. 1988

A continuación, numeraremos estos tipos de plásticos y sus principales aplicaciones.

### **PET o PTE – Tereftalato de Polietileno**

Es el plástico más utilizado en la fabricación de envases alimentarios gracias a su ligereza, transparencia y elevada facilidad de reciclaje.

### **HDPE – Polietileno de Alta Densidad**

Es utilizado en los envases no transparentes ya sean alimentarios, de higiene, limpieza, etc. Debido a su elevada resistencia a los ataques químicos.

### **PVC – Policloruro de Vinilo**

Es un material muy utilizado en la fabricación de tarjetas de crédito, revestimiento de cables, materiales de construcción como tuberías, marcos de ventanas, etc. Presenta una alta resistencia a los ácidos y es uno de los plásticos más difíciles de reciclar.

### **LDPE – Polietileno de Baja Densidad**

Con este tipo de plástico se elaboran bolsas de todo tipo, envases para laboratorio y cosmética, aislantes para los cables, etc. Gracias a su elevada flexibilidad. Puede convertirse en el producto de origen después del reciclado y, por lo tanto, presenta un buen nivel de reciclabilidad.

### **PP – Polipropileno**

Este plástico es el utilizado para los envases aptos para el microondas, para piezas de ordenadores, automóviles y electrodomésticos, etc. Presenta una elevada dureza, barrera de vapor y resistencia al calor.

### **PS – Poliestireno**

Es un plástico claro y rígido muy utilizado en vasos de plástico, platos cubiertos, aislantes juguetes, etc. Es un material de difícil reutilización.

### **Otros tipos de plásticos**

En este grupo se encuentran todos los plásticos no mencionados anteriormente como el SAN (Estireno acrilonitrilo) o el ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno).

El SAN es un material muy transparente y con una elevada resistencia química y superficial. Entre sus principales aplicaciones encontramos su utilización para cubiertas ligeras, cableado eléctrico, embalaje de productos, etc.

El ABS es un material muy utilizado en distintos ámbitos, incluida la construcción por la resistencia a los impactos y su dureza. Puede ser reciclado hasta cinco veces manteniendo buenas propiedades y, actualmente, se está utilizando en impresoras 3D.

## **6 PROCESAMIENTO Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS**

La generación de residuos y su adecuada gestión son dos de los retos a los que se enfrenta la sociedad actual para asegurar su sostenibilidad y viabilidad. Existen diferentes estrategias para gestionarlos dirigidas a reducir su cantidad y el impacto que tienen sobre el medio ambiente. La mejor opción es la reducción, es decir, modificar procesos, actividades y patrones de consumo para disminuir la generación de residuos. A esta opción le sigue el reciclaje, la valorización energética, el tratamiento y, de manera experimental, la disposición en rellenos sanitarios.

Por este motivo, una vez conseguido el primer objetivo, la reducción, debemos centrarnos en como reutilizar y reciclar los materiales. Analizaremos el proceso de los materiales plásticos para ver sus posibilidades.

Si bien el reciclaje se considera como una forma de gestión de residuos, en realidad constituye una actividad que permite modificar el ciclo de vida de los productos, ya que el reciclaje de residuos reduce la necesidad de extraer y procesar nuevas materias primas. Como consecuencia, se consigue reducir tanto los recursos naturales utilizados como la cantidad de energía necesaria para producirlos en correspondencia con el concepto de economía circular.

### **6.1 Plásticos reciclables**

Como se ha comentado anteriormente, los plásticos pueden clasificarse en termoplásticos, termoestables y elastómeros dependiendo de su estructura interna y su comportamiento frente a elevadas temperaturas. De estos tres grandes grupos, los que podemos considerar completamente reciclables son los termoplásticos, ya que, al estar compuestos por cadenas lineales y ramificadas, pueden ser fundidos ininidad de veces y adoptar nuevas formas.

Sin embargo, los termoestables y elastómeros son complicados de reciclar porque al calentarse no se funden como los termoplásticos, al contrario, se descomponen y se convierten en otras sustancias.

A su vez, podemos dividir los termoplásticos en dos grupos: los plásticos comunes y los plásticos de ingeniería.

Los plásticos comunes son aquellos que se producen en grandes volúmenes y presentan un bajo coste, por lo que son empleados en aplicaciones de vida útil corta. Son los que constituyen la proporción principal de los plásticos reciclados.

Los plásticos de ingeniería poseen unas propiedades más específicas que los anteriores. Por ejemplo, tienen una mayor resistencia al calor, mecánica y al impacto debido a que son utilizados para sustituir materiales con características o prestaciones concretas. Asimismo, presentan un precio más elevado y poseen una mayor vida útil que los plásticos comunes. Su reciclaje es complejo, ya que normalmente se encuentran integrados con otros materiales y requieren procesos de separación.

Como la gran mayoría de los plásticos que se producen son termoplásticos, aproximadamente el 80%, podemos considerar que, generalmente, los plásticos son reciclables.

Estas cuestiones son las que tenemos que considerar en el momento de seleccionar un tipo de plástico en el proyecto para facilitar su reciclaje.

## **6.2 La necesidad de la separación**

Uno de los principales problemas a la hora de reciclar los plásticos es la inviabilidad de mezclar diferentes tipos, ya que cada uno requiere diferentes condiciones de procesamiento y los productos obtenidos con plásticos de diferentes tipos presentan unas malas calidades.

Debido a esto, encontramos diversidad de precios en los plásticos reciclados ligado al grado de pureza. Esto sucede porque cuando mayor es la pureza del plástico reciclado sus propiedades serán más elevadas y similares al producto original, en cambio, si existen impurezas, se verán reducidas las propiedades de dicho material.

Además, aunque las mezclas sean del mismo material, si son de diferente color o presenta aditivos puede repercutir negativamente a las características finales del producto. Es decir, para facilitar el reciclado debe considerarse que el conjunto de materiales plásticos que queremos procesar sea lo más limpio y homogéneo posible.

Como consecuencia de la necesidad de separar adecuadamente los tipos de plástico para facilitar su reciclaje, en 1988, la Sociedad de la Industria de los Plásticos (SPI), propuso un código para asignar los plásticos más utilizados. Como ya hemos mencionado, se trata del sistema basado en el “triángulo de Moëbius”.

### 6.3 Métodos de separación

El método más sencillo y eficiente de separar los plásticos es la separación en origen, es decir, la que realiza el usuario directamente al desechar sus residuos. De esta forma, además de ser fácilmente identificable por los códigos, se evita que el plástico se mezcle y contamine con otros materiales, facilitando todo el proceso de reciclaje posterior. Esta separación se puede conseguir tanto a nivel doméstico, como a nivel industrial.

Una vez separados los plásticos por el usuario estos pueden ser colectados de manera selectiva, es decir, separando los distintos tipos de plásticos o, por el contrario, mezclados entre sí. Para esta última solución, es necesario llevar los residuos a una planta de separación.

Una vez en la planta de separación, lo primero que se debe realizar es la eliminación de otros materiales que pueda contener la muestra. Esto puede realizarse por medios magnéticos para eliminar los metales, mediante cilindros rotatorios para las partículas pequeñas, empleando aire para elementos de papel, etc. Una vez obtenida una muestra formada solo por plásticos, podemos separarlos mediante distintos métodos:

#### SEPARACIÓN MANUAL

La separación manual es la técnica más antigua, aunque se sigue aplicando incluso en las plantas más modernas y avanzadas. Esto es debido a que se trata de un método relativamente económico.

Esta separación se realiza mediante la identificación por color, forma, la marca registrada del plástico, etc. Además, deben tratarse de materiales con cierto tamaño para justificar el esfuerzo y tiempo necesarios.

Para facilitar el trabajo de separación existen diferentes condiciones de iluminación, como la luz ultravioleta, que puede mejorar la distinción entre distintos tipos de plásticos.

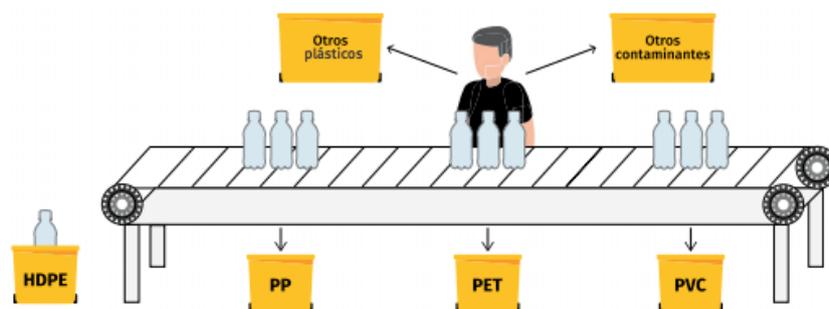


Ilustración 7. Separación manual de residuos plásticos

Fuente: Menéndez Prieto, A. (2018). *Cómo separar los plásticos para su reciclado*. *Plastics Technology México*.

## SEPARACIÓN POR DENSIDAD

Cada tipo de material plástico presenta una densidad, por lo tanto, esta característica nos permite separarlos con un método bastante sencillo. Se introducen los distintos plásticos en un tanque con un líquido de una densidad específica donde, los plásticos con una menor densidad flotarán mientras que los de mayor densidad caerán al fondo.

Al utilizar este proceso de separación se debe prestar atención a la forma, pigmentos, porosidad y tamaño de los residuos ya que pueden alterar su flotabilidad.

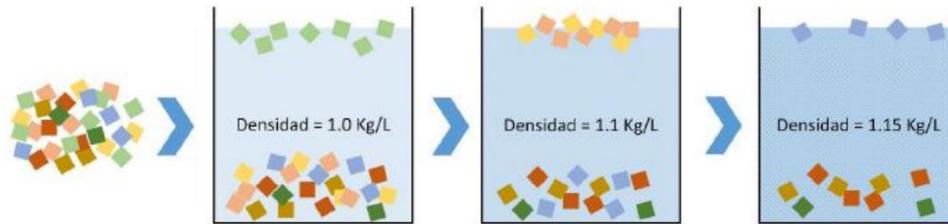


Ilustración 8. Separación por densidad de residuos plásticos

Fuente: Bill, A., Gasser, M., Haarman, A. y Böni, H. (2019). *Procesamiento de plásticos de RAEE. Sustainable Recycling Industries.*

## SEPARACIÓN POR MEDIOS ÓPTICOS

Normalmente, se emiten ondas infrarrojas, ultravioleta o rayos X, las cuales interactúan de diferente modo dependiendo del tipo de plástico y permite tanto a las personas como a medios informáticos distinguir claramente los diferentes plásticos.

Es un método altamente eficiente ya que permite separar plásticos difíciles de distinguir por otros métodos y, además, se pueden manejar elevados volúmenes con facilidad.



Ilustración 9. Separación de los plásticos mediante métodos ópticos

Fuente: <https://www.tomra.com/>

En cuanto al sector de la construcción, la mejor solución es identificar los tipos de plásticos y separarlos en el origen. Si esta separación no fuera posible, se optaría por cualquiera de los métodos mencionados.

Lo fundamental por lo tanto es la separación en obra, ya sea en el derribo o ejecución de nueva planta.

## 6.4 Tipos de reciclaje

Podemos dividir el proceso de reciclaje de los plásticos en cuatro categorías:

- Reciclaje primario o re-extrusión
- Reciclaje secundario o mecánico
- Reciclaje terciario o químico
- Reciclaje cuaternario o valoración energética

Para saber cuál de estos métodos se deben utilizar se analiza la limpieza del material, su homogeneidad, el valor material del desecho y su aplicación final.

### RECICLAJE PRIMARIO O RE-EXTRUSIÓN

Este proceso se realiza a partir de los residuos de origen industrial que se generan durante la producción. De este modo, podemos reaprovechar residuos claramente identificados sin la necesidad del proceso de separación.

Estos residuos son introducidos de nuevo en el proceso de extrusión para elaborar productos similares a los iniciales. Se debe de analizar la cantidad y calidad de estos residuos para que el producto final presente las propiedades adecuadas.

### RECICLAJE SECUNDARIO O MECÁNICO

En esta categoría se agrupan todos los procesos físicos de reciclaje, es decir, aquellos donde la estructura química y composición de los plásticos no se ve modificada. El reciclaje puede realizarse mediante residuos procedentes de las industrias como de residuos procedentes del consumo.

El proceso consiste en la trituración o molienda de los residuos, su posterior limpieza y finalmente son trasladados a procesos de extrusión donde, con distintos aditivos y pigmentos, se consigue elaborar nuevos productos.

Normalmente, estos productos recalados presentan unas propiedades inferiores a los polímeros originales.

### RECICLAJE TERCIARIO O QUÍMICO

En los procesos químicos los plásticos cambian su estructura y forman nuevas moléculas, pudiendo ser similares o diferentes a las iniciales.

Este tipo de reciclaje se realiza mediante procesos térmicos para lograr la fragmentación de las moléculas del plástico. Los distintos procesos son la pirolisis, glicólisis, alcoholisis o hidrólisis.

- **Pirolisis:** Es la degradación térmica del residuo de los plásticos en ausencia de oxígeno. En él se obtienen gases, aceites y un residuo rico en carbono. Como ventajas encontramos una muy baja emisión de gases, pero como contrapartida obtenemos un elevado coste energético.
- **Alcoholisis:** Consiste en mezclar los gránulos del material con metanol en presencia de un catalizador. La mezcla se calienta a presión para forzar la despolimerización en sus componentes bases.
- **Hidrólisis:** Hay productos que pueden ser disociados con agua a elevadas temperaturas con agregados de bases y ácidos. El problema de este proceso son los elevados tiempos de reacción, por lo que no es viable económicamente.

Algunas de sus ventajas son la posibilidad de tratar plásticos contaminados y mezclados y la capacidad de generar productos de gran valor. En cambio, encontramos desventajas como el costoso equipamiento necesario, el alto gasto energético, la incertidumbre de las propiedades del material final, etc. Debido a esta serie de desventajas, este proceso de reciclaje no se ha extendido de manera abundante.

## RECICLAJE CUATERNARIO O VALORACIÓN ENERGÉTICA

Este proceso consiste en el calentamiento del plástico para utilizarlo como combustible gracias a la energía térmica que libera.

Su principal problema son los gases contaminantes que se producen en este proceso, como los óxidos de nitrógeno o de azufre y otros compuestos volátiles.

La valorización energética concentra una elevada proporción de los residuos plásticos en los países desarrollados. En 2009 se estimaba que en Europa se reciclaba el 22.5% del plástico post-consumo, del cual el 31.5% del mismo se usaba en valorización energética, 4% en reciclaje químico y el resto en reciclaje mecánico.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> C. Y. Barlow and D. C. Morgan, "Polymer film packaging for food: An environmental assessment," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 78, no. 0, pp. 74–80, 2013.

## 7 PLÁSTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN

### 7.1 Utilización de plásticos en la construcción

De todos los plásticos mencionados, los más utilizados en el sector de la construcción son los siguientes:

POLÍMERO	APLICACIONES
Policloruro de vinilo – PVC	Gran variedad de cañerías, carpinterías de puertas y ventanas, impermeabilización de suelos, aislante de cables, mobiliario, etc.
Poliuretano – PUR	Aislamiento térmico y acústico de cubiertas, fachadas, cerramientos interiores y cañerías.
Poliestireno - PS	Aislamiento térmico en suelos flotantes, cubiertas, fachadas, etc. Aligeramiento de estructuras de hormigón.
Polietileno – PE	Recubrimiento de cañerías y láminas para el aislamiento hidrófugo. Mallas y material de Seguridad y Salud.
Polipropileno – PP	Instalaciones de agua fría y caliente. Fibras de polipropileno para pavimentos, hormigones de alta resistencia, membranas de asfalto modificado, etc. Mallas de seguridad y señalización, encofrados de losas y soleras (cavity).
Polycarbonato – PC	Se utilizan como “vidrios” de seguridad, como vallas y cercos de seguridad transparentes.

El PVC es el plástico más utilizado en el sector de la construcción y, cabe destacar, que este material incorpora en su producción elementos biocidas, pudiendo desprender a la atmosfera partículas nocivas para nuestra salud. Por este motivo, debemos plantear alternativas como el polipropileno, polibutileno y polietileno, que son materiales termoplásticos alternativos al PVC y más respetuosos con el medio ambiente.



Ilustración 10. Aplicaciones del plástico

Fuente: <https://esplasticos.es/>

<https://cemat.es/>

## 7.2 Residuos que generan los plásticos en la construcción

### 7.2.1 Residuos de construcción y demolición (RCD)

Los RCD son residuos de naturaleza fundamentalmente inerte generados en obras de excavación, nueva construcción, reparación, remodelación, rehabilitación y demolición, incluidos los de obra menor y reparación domiciliaria.<sup>9</sup>

Los residuos de construcción y demolición (RCD) suponen el mayor flujo de residuos de la Unión Europea, representando aproximadamente un tercio de todos los generados.<sup>10</sup> Por lo tanto, una buena gestión de los RCD supondría grandes beneficios en cuanto a la sostenibilidad y calidad de vida. Además, se produciría un beneficio para la industria de la construcción y reciclaje debido a la demanda de materiales reciclados.

<sup>9</sup> Ley 7/2022, del 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular

<sup>10</sup> COMISIÓN EUROPEA. Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la UE. 2016.

En los últimos 25 años, la productividad del sector de la construcción ha evolucionado de forma limitada, es decir, la adopción de tecnologías avanzadas y la mejora de eficiencia en la construcción ha sido reducida. Por este motivo existe un elevado potencial de mejora en cuanto a la reutilización y reciclaje de materiales según las directivas de la Unión Europea y la legislación que se ha ido desarrollando a través de ellas.

Para conseguir este objetivo debemos mejorar la identificación de residuos, la separación según el origen, la mejora del procesamiento de residuos, una buena gestión de la calidad, etc.

Por esta razón, la Comisión Europea estableció la Lista Europea de Residuos (LER)<sup>11</sup> para clasificarlos. Está compuesta por veinte grupos principales con sus correspondientes subtipos. Los apartados que están directamente relacionados con el presente trabajo son los siguientes:

#### 17 – RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

- 17 02 - Madera, vidrio y plástico
  - 17 02 03 - Plástico

Las normas estatales que regulan la gestión y producción de los residuos de construcción y demolición son: El Real Decreto 105/2008, del 1 de febrero y recientemente la Ley 7/2022, del 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

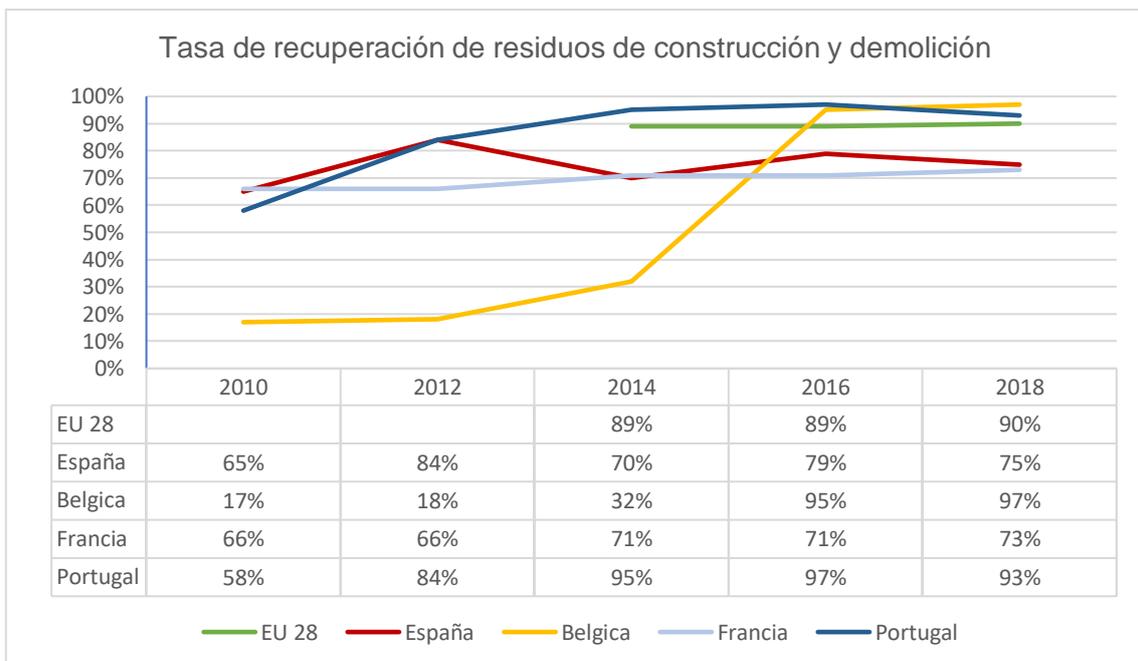


Ilustración 11. Tasa de recuperación de residuos de construcción y demolición

Fuente: Eurostat

<sup>11</sup> Decisión 2000/532/CE de la Comisión

La Unión Europea ha desarrollado un protocolo para aumentar la confianza en el proceso de gestión de los residuos de la construcción y demolición.<sup>12</sup> Para cumplir con este objetivo se proponen varios puntos:

- La mejora de la identificación de residuos, la separación en origen y la recogida
- La mejora de la logística de residuos
- La mejora del procesamiento de residuos
- La gestión de calidad
- Condiciones marco y política adecuadas



Ilustración 12. Contenedores con residuos plásticos. Leipzig, Alemania.

Fuente: Vicente López Mateu



Ilustración 13. Contenedores con residuos plásticos. Valencia.

Fuente: Vicente López Mateu

<sup>12</sup> Comisión Europea. (2016). Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la UE

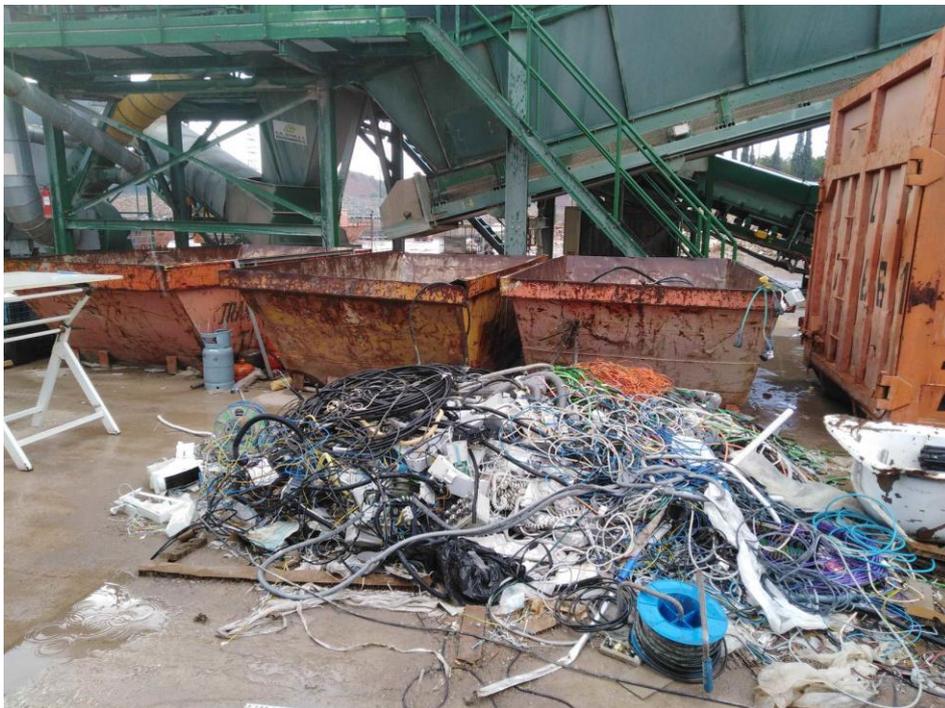
## 7.2.2 Tratamiento y procesado de los plásticos en construcción

Tal y como hemos mencionado anteriormente, los residuos plásticos procedentes de la construcción deben ser separados en el origen. El problema es que la legislación solo obliga a la separación de plásticos en general, sin dividirlos en los distintos tipos.

Por este motivo, la mayor parte de las ocasiones debemos optar por una separación manual, por densidad o por medios ópticos ya analizadas anteriormente.

La mayoría de las empresas dedicadas al reciclaje de plástico funcionan mediante el modelo de economía circular. Esto se consigue mediante los siguientes pasos:

- Se revisa el tipo de residuos, las zonas donde se generan, el transporte interior de estos residuos, etc. de la empresa a la cual se va a aplicar el servicio.
- La empresa de reciclaje es la encargada del transporte de los residuos para asegurar una correcta separación y calidad.
- Una vez procesados los residuos, estos son devueltos a la empresa de origen, o a una nueva empresa, para que sean reutilizados en otros productos.
- Algunas empresas de reciclaje realizan periodos de prueba para convencer y crear consciencia sobre la eficiencia de la economía circular a las empresas demandantes.



*Ilustración 14. Separación de residuos plásticos en la planta de reciclaje.*

*Fuente: Vicente López Mateu*

Como ejemplo, encontramos la empresa Sintac, situada en Valencia, que se dedica a reciclar una gran variedad de tipos de plástico. Además, promueven una industria circular y, mediante su propio blog, muestran soluciones y proyectos sostenibles.

Los tipos de plásticos que distribuye son:

- Polietileno – PE
- Polipropileno – PP
- Poliolefina – PO
- Tereftalato de polietileno (PET)
- Poliestireno (PS)
- Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)
- Poliamida – PA
- Policarbonato (PC)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Poliuretano termoplástico (TPU)

También podemos mencionar la empresa Optimizaturesiduo, situada en Barcelona que, además de ofrecer las posibilidades de la anterior empresa, tiene un departamento I+D+i encargado de buscar soluciones y tecnologías más eficientes para mejorar la calidad de los productos finales.



*Ilustración 15. Muestras de PVC, PC y PE, para su posterior tratamiento.*

Fuente: <https://sintac.es/>

<https://www.optimizaturesiduo.es/>

## 8 **NORMATIVA**

A continuación, se exponen las principales leyes, decretos y normativas referidas al tema de estudio, es decir, sobre el uso de los plásticos, la gestión de los residuos de construcción y en particular, su aplicación a los materiales plásticos.

### 8.1 **Europea**

La Unión Europea consiste en una agrupación de países donde no todos presentan el mismo desarrollo, ya sea en el ámbito económico, tecnológico, científico, etc. Por este motivo, aparecen una serie de acuerdos destinados a cumplir determinados objetivos generales comunes que cada país adapta a sus circunstancias particulares en un tiempo establecido. De este modo se asegura que ningún país de la UE se queda atrás y todos avanzan en la misma dirección.

Marco legislativo de residuos en la Unión Europea:

- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas
- Directiva (UE) 2018/850 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos
- Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos
- Directiva (UE) 2018/852 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases
- Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. Una estrategia europea para el plástico en una economía circular (COM/2018/028 final)
- Directiva (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente

## 8.2 Estatal

En España, se han desarrollado diversas normativas y decretos para regular la gestión de los residuos. Estas normas, que se aplican a nivel nacional, son de obligado cumplimiento por todas las comunidades autónomas.

La legislación aplicable en materia de residuos en España:

- LEY 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases.
- Real Decreto 1481 / 2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
- LEY 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.
- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- LEY 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados
- LEY 11/2012, de 19 de diciembre, de medidas urgentes en materia de medio ambiente.
- LEY 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- LEY 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

En cuanto a la Ley 7/2022 podemos destacar la inclusión, en su ámbito de aplicación, de los productos plásticos, con gran énfasis en la reducción de los plásticos de un solo uso. Esto se aplica sobre todo a bolsas, productos de alimentación, etc.

Otros de los objetivos que persigue esta nueva ley es impulsar la economía circular, la reducción en peso de los residuos generados (en un 15% para 2030 respecto el 2010), aparecen las obligaciones de los productores y gestores de residuos y se regulan los suelos contaminados.

Además, esta ley también hace referencia a los Residuos de Construcción y demolición.

Concretamente, en el artículo 26 se indica que la cantidad de estos residuos deberá alcanzar como mínimo el 70% en peso de los producidos. Asimismo, el artículo 30 expone que los residuos de construcción y demolición no peligrosos deberán ser

clasificados en diversas fracciones: madera, fracciones de minerales, metales, vidrio, plástico y yeso. Además, para facilitar la gestión de estos residuos se deberá disponer de libros digitales con los materiales empleados en las obras de construcción y se deberán establecer unos requisitos de ecodiseño para los proyectos de edificación.

De acuerdo con la normativa, los residuos de plástico deberán dividirse en fracciones de 0,5 toneladas y se llevara a cabo por el poseedor de los residuos de construcción y demolición de la obra.

Si nos centramos en los residuos plásticos derivados de la construcción, La Ley 7/2022, del 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, muestra diversos modos de actuación:

- A partir del 1 de julio de 2022, los residuos de construcción y demolición no peligrosos deberán ser divididos en diversos grupos. Uno de estos grupos pertenece a los plásticos, donde deberán ser clasificados preferiblemente en el lugar de generación de residuos.
- Los residuos de plástico deberán dividirse en fracciones de 0,5 toneladas y se llevara a cabo por el poseedor de los residuos de construcción y demolición de la obra.
- A partir del 1 de enero de 2024, la demolición se realizará de forma selectiva, es decir, garantizando la retirada de las fracciones obligatorias, donde también se encuentran los plásticos.
- Se establecerá la obligación de disponer de libros digitales donde se recojan los materiales utilizados en las obras de construcción para incentivar y controlar la economía circular, así como establecer ecodiseños y productos reciclados. Un apartado que beneficiará en gran medida la reutilización y reciclaje de plásticos.
- Los traslados de estos residuos en el interior del territorio español se efectuarán teniendo en cuenta los principios de proximidad y autosuficiencia. Además, deberán ir acompañados de un documento de identificación para facilitar su seguimiento y control.

### 8.3 Autonómica

Teniendo en cuenta la normativa estatal, cada comunidad autónoma tiene la posibilidad de desarrollar su propia normativa dentro del marco común. Por este motivo, podemos encontrar diferentes normativas de gestión de residuos dependiendo de la comunidad.

En este caso se va a proporcionar la normativa específica para el territorio de la Comunidad Valenciana.

La legislación aplicable en materia de residuos en la Comunidad Valenciana:

- Ley 10/2000, de 12 de diciembre, de residuos de la Comunidad Valenciana.
- DECRETO 81/2013, de 21 de junio, del Consell, de aprobación definitiva del Plan Integral de Residuos de la Comunidad Valenciana (PIRCV). [2013/6658]
- DECRETO LEY 4/2016, de 10 de junio, del Consell, por el que se establecen medidas urgentes para garantizar la gestión de residuos municipales. [2016/4420]
- DECRETO 55/2019, de 5 de abril, del Consell, por el que se aprueba la revisión del Plan integral de residuos de la Comunidad Valenciana. [2019/4208]

El Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana (PIRCVA) es el instrumento director y coordinador de las actuaciones que se realizan en la comunidad en materia de gestión de residuos. La aprobación del Decreto 55/2019 es una transición hacia un nuevo modelo de gestión de residuos y tiene como objetivo revisar actuaciones y medidas para adaptar el plan a los objetivos marcados en las últimas directivas comunitarias en esta materia.

En cuanto a los plásticos se menciona la prohibición de muchos de los plásticos de un solo uso y aquellos que derivan en microplásticos con facilidad. Además, las empresas, locales comerciales, centros de logística, etc. deberán separar en origen determinados residuos, incluidos los plásticos, para facilitar su posterior reciclaje.

De momento no se citan obligaciones respecto a los residuos de construcción y demolición, en particular de los plásticos. Sin embargo, cabe recordar que la gestión de estas cuestiones es al final autonómica y municipal, por lo que es muy probable que en el futuro se promulguen normativas que desarrollen la Ley 7/2022.

## **9 PLÁSTICO RECICLADO EN ARQUITECTURA: EJEMPLOS ACTUALES Y BUENAS PRÁCTICAS**

### **9.1 Introducción**

En el momento de proyectar o diseñar una construcción sostenible hay muchos parámetros en lo que debemos prestar atención. Uno de ellos son los materiales de construcción, donde encontramos dos tipos o formas básicas de reutilización o reciclaje.

Por un lado, encontramos los materiales reutilizados sin ningún tipo de transformación. Es decir, emplear el propio material u elemento, que pudiendo estar destinado para otro uso, lo reutilizamos como material de construcción. La utilización de este material puede coincidir o no con su uso inicial, pero, conseguimos dotarles de una segunda vida sin ningún tipo de tratamiento mecánico ni químico. No obstante, suelen requerir elementos constructivos o estructuras auxiliares.

Por otro lado, se encuentran todos aquellos materiales que para ser reutilizados o reciclados ha sufrido alguna transformación. Estos materiales pueden haber sufrido modificación mecánicas o químicas, pudiendo obtener nuevos materiales a partir de los originales. Se pueden obtener productos con muy buenas propiedades y con un impacto ambiental mucho menor que los materiales convencionales.

Se tratará cada tipo por separado, exponiendo ejemplos de buenas prácticas de ambos para poder comparar sus ventajas e inconvenientes.

### **9.2 Materiales plásticos reutilizados sin transformación**

En este apartado encontramos los materiales plásticos que pueden ser utilizados en la construcción que no han sufrido ninguna modificación ni transformación.

Podemos decir que este método presenta la reutilización en su máximo esplendor, aunque al no ser modificados puede resultar complicado adaptarlos al ámbito de la construcción. Aun así, esto puede lograrse y se mostraran ejemplos de ello.

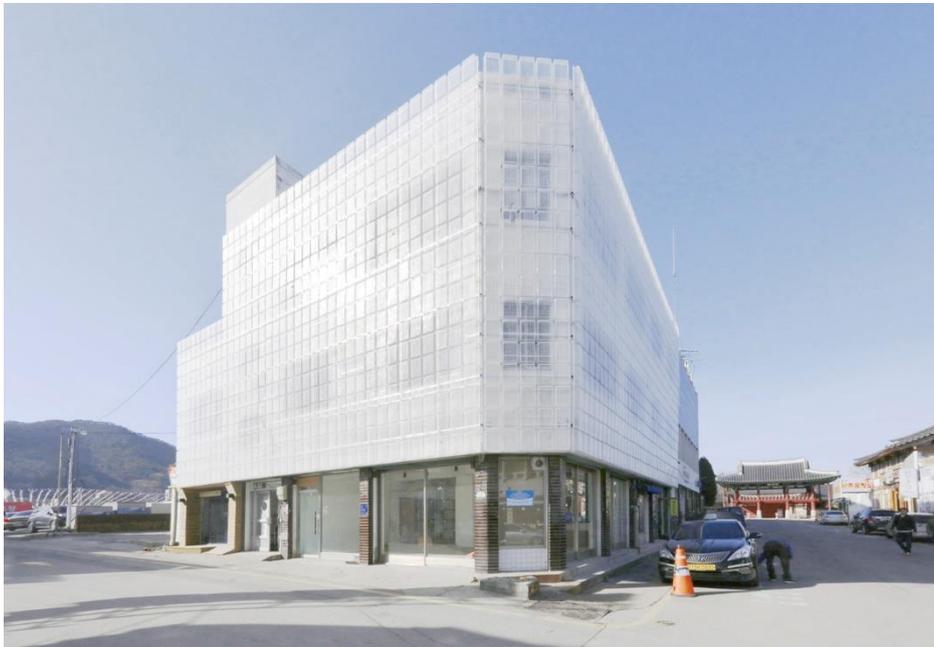
En primer lugar, se mostrarán ejemplos de carácter internacional y, posteriormente, de carácter nacional.

## 9.2.1 Ejemplos de buenas prácticas internacionales

### Museo de Arte Naju – Hyunje Joo

Este edificio situado en la República de Corea y construido en 2017 presenta una peculiar e innovadora fachada fabricada a partir de 1.500 cestas semitransparentes. De este modo, se consigue un elemento flexible, liviano y reciclable.

Esta solución permite un buen control solar, ya que permite la entrada de luz pero evita su incidencia directa y, además, produce atractivos juegos de sombras que pueden ser fácilmente modificables en cada espacio del edificio.



*Ilustración 16. Museo de Arte Naju*

*Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl>*

A simple vista el edificio se presenta como una obra moderna donde logramos percibir una fachada ligera, sin embargo, al acercarnos observamos como esta fachada está construida a partir de un objeto tan común como lo son las cestas de plástico.

Esta fachada es respetuosa con el medio ambiente al estar construida mediante cestas reutilizadas, pero, además, una vez alcanzada la vida útil o el propósito del edificio estas cestas pueden desmontarse y ser reutilizadas una vez más.

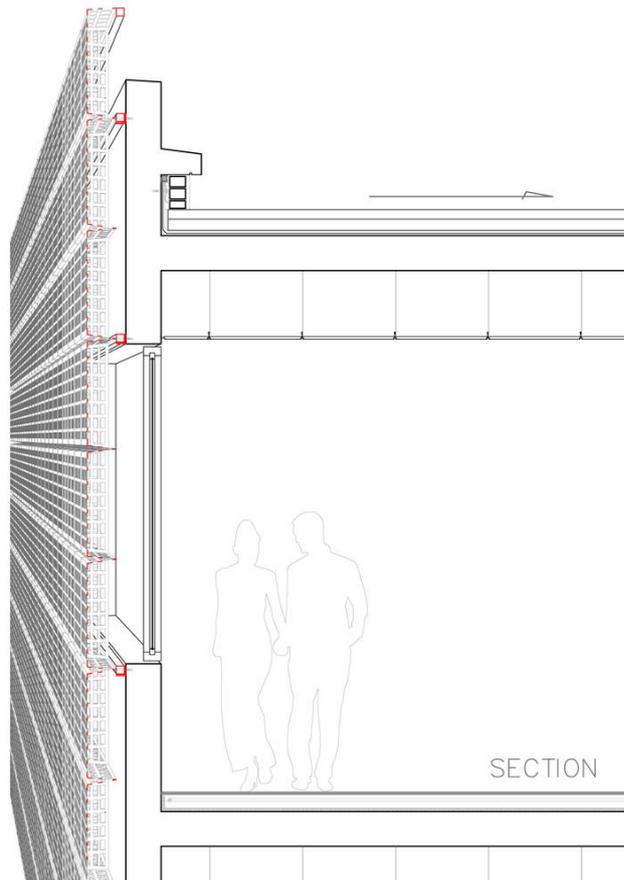


Ilustración 17. Sección constructiva fachada museo de arte Naju

Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl>

Una de las desventajas que podemos encontrar en esta solución es que, al no tratarse de una solución ni elementos estandarizados, la estructura auxiliar debe ser diseñada específicamente para el edificio. Esto puede repercutir en el precio final de la obra, incrementándolo.

Además, se debe analizar y comprobar que las cestas utilizadas van a soportar las cargas y satisfacer distintas necesidades como la resistencia a las condiciones meteorológicas, soleamiento, acción del viento, etc. También a las condiciones de mantenimiento y reparación o sustitución de los elementos.

## Microbiblioteca Bima – SHAU Bandung

Este edificio se trata de una pequeña biblioteca situada en Indonesia con una superficie de 160 m<sup>2</sup>. Es una biblioteca muy sencilla que destaca por su innovadora fachada.

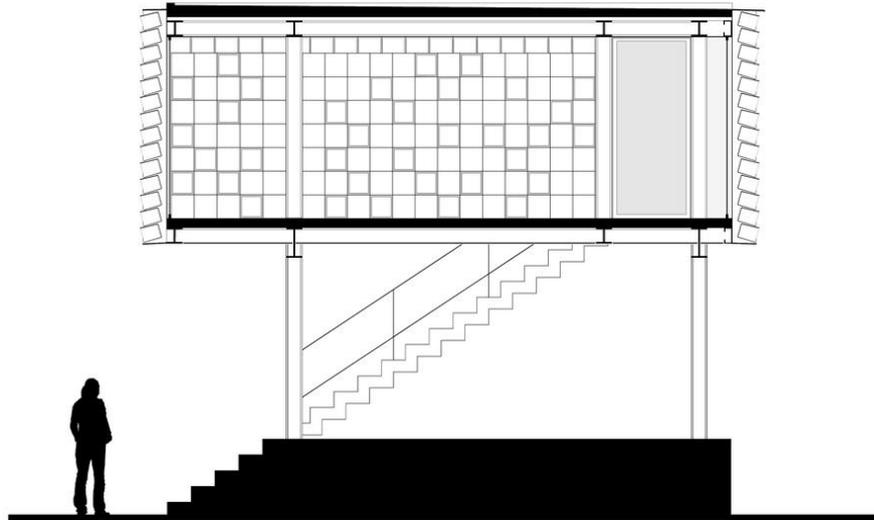
Esta fachada está construida a partir de cubetas de helado de plástico. Se optó por este producto ya que se buscaba un material eficiente, capaz de controlar la luz en su interior y permitiera una ventilación cruzada. Estas cubetas son de un plástico semitransparente que impide la entrada de luz directa y pueden ser perforados para, además, permitir una buena ventilación.



*Ilustración 18. Microbiblioteca Bima*

*Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl>*

Esta fachada también presenta un mensaje oculto conseguido con el contraste que producen las 2.000 cubetas perforadas y las cerradas. En este caso, unas actúan como ceros y las otras como unos, pudiendo crear mensajes en código binario. En este caso concreto podemos encontrar la frase "Buku adalah jendela dunia", que significa: los libros son las ventanas al mundo.



*Ilustración 19. Sección transversal de la Microbiblioteca Bima*

*Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl>*

Las cubetas se encuentran colocadas entre las nervaduras verticales de acero que abarcan desde el suelo al techo. Estas se encuentran inclinadas hacia el exterior para poder repeler el agua de lluvia. En el caso de lluvias intensas se pueden cerrar unas ventanas correderas que se encuentran en el interior, pero esta solución de cubetas está pensada para funcionar correctamente sin la necesidad de cerrar las ventanas.

De este modo, en un clima tropical como es el que encontramos en este lugar, podemos mantener la ventilación e iluminación sin tener problemas con la entrada de agua.



*Ilustración 20. Interior Microbiblioteca Bima*

*Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl>*

## Showroom MY DVA – Chybik + Kristof

Se trata de una sala de exposiciones ubicada a las afueras de la ciudad de Brno, República Checa. Fue construida en el año 2016 por el estudio arquitectónico Chybik+Kristof Architects y cuenta con una superficie de 550 m<sup>2</sup>.

El diseño de este edificio estaba condicionado por una construcción preexistente, por lo que optaron por una ingeniosa solución para la fachada ocultando la fachada original. Se decidió por la utilización de 900 sillas de plástico negro para cubrir toda la fachada, de este modo, ocultaban la fachada preexistente y al mismo tiempo estaban haciendo publicidad al tratarse de una tienda de muebles.

Tal vez el plástico negro absorbe mucha radiación solar, aunque por otro lado genera una superficie exterior en forma de "escamas" que favorece la ventilación.



*Ilustración 21. Showroom MY DVA*

*Fuente: <https://www.chybik-kristof.com/>*

Las sillas fueron proporcionadas por la propia empresa de muebles. El resultado se construyó en menos de una semana y el precio de esta solución no superó los veinte euros por metro cuadrado. El precio por cada silla ronda los tres euros.

Es decir, encontramos una solución respetuosa con el medio ambiente, ya que las sillas pueden proceder de desechos o lugares como estadios, teatros, oficinas, etc. Además, en una solución económica respecto otras alternativas más tradicionales.

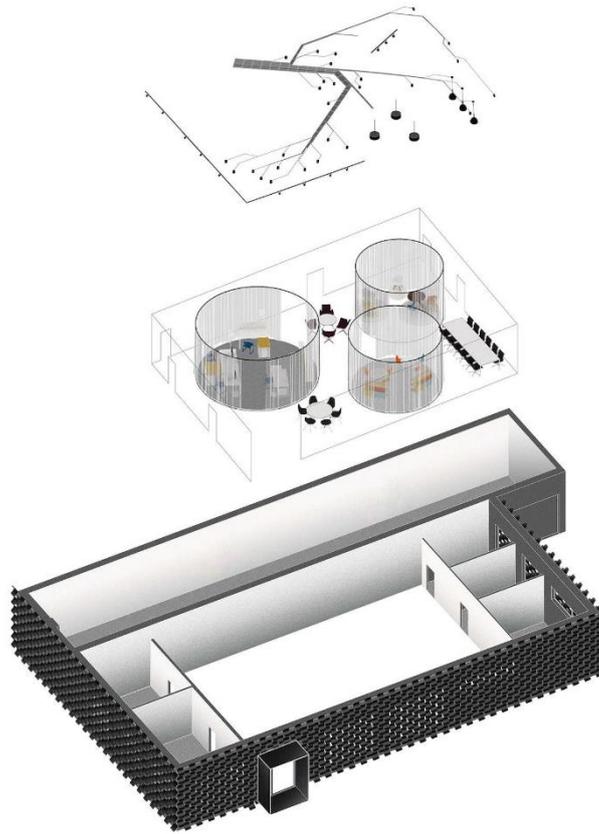


Ilustración 22. Axonometría Showroom MY DVA

Fuente: <https://www.chybik-kristof.com/>

En esta imagen (ilustración 22), se puede observar la envolvente del edificio construida por un muro de fábrica tradicional al que se han acoplado por el exterior las sillas de plástico. Es decir, se ha creado una envolvente ligera que dota de privacidad al interior, lo protege de la luz solar, es una solución económica y respetuosa con el medio ambiente. Además, en este caso específico, cumple la función de escaparate de publicidad.



Ilustración 23. Alzado principal Showroom MY DVA

Fuente: <https://www.chybik-kristof.com/>

## Pabellón PET – Project.DWG y LOOS.FM

El pabellón PET es una estructura temporal utilizada como espacio público. Se encuentra construido en el parque Robson Park, Países Bajos, y su misión es crear conciencia sobre la arquitectura sostenible, el reciclaje y el ciclo de los residuos.

La solución adoptada fue crear una estructura metálica, fácil de montar y desmontar, donde aparecen dos láminas transparentes de suelo a techo que en su interior albergan más de 40.000 botellas de plástico vacías.



*Ilustración 24. Pabellón PET*

*Fuente: <https://www.projectdwg.com/>*

Durante el día, la masa translúcida de formas arrugadas ilumina el interior. Por la noche, las enormes 'cortinas' se convierten en una linterna abstracta en el paisaje.

También se puede destacar, como elemento estético, la utilización de los tapones de las botellas en los soportes de las láminas simulando un pesado muro de hormigón.

En esta solución podemos utilizar botellas de distintos colores para jugar con las luces o introducir otros productos. Por ejemplo, en algunas partes del pabellón se introducen botellas de gel vacías creando espacios con diferentes colores.

Esta solución no se presenta como un diseño altamente eficiente, su objetivo es concienciar a la gente sobre la cantidad de residuos que son desperdiciados y, al tratarse de arquitectura temporal, se pueden permitir estas novedosas soluciones.

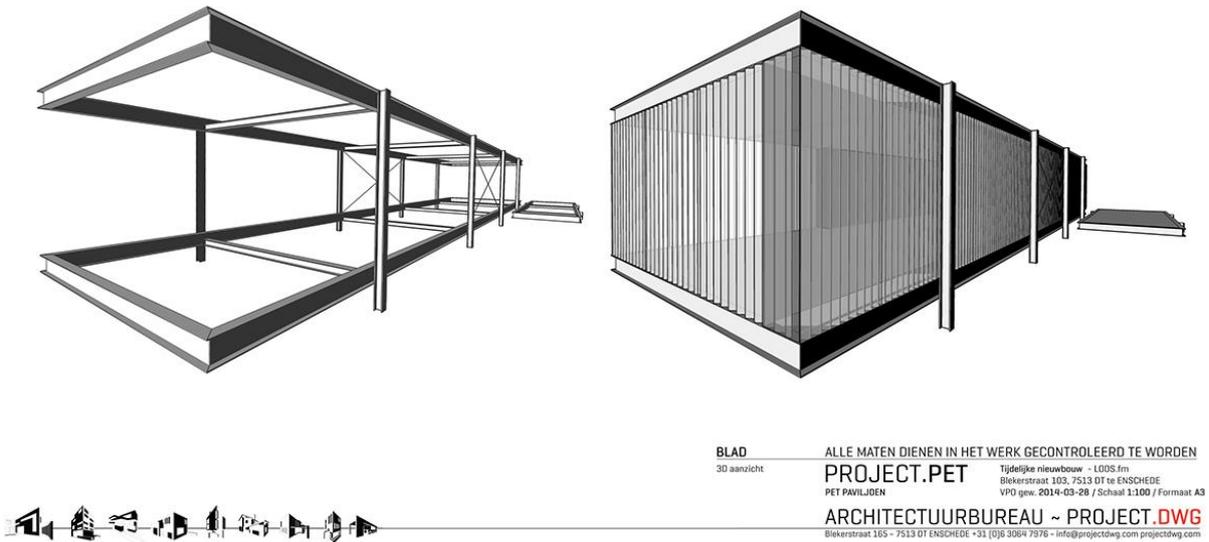


Ilustración 25. Axonometría constructiva Pabellón PET

Fuente: <https://www.projectdwg.com/>

En la anterior imagen (ilustración 25), se puede observar la estructura metálica del edificio y la posterior introducción de la doble lámina, en las cuales se introducirán las botellas de plástico.

El diseño está claramente inspirado en la Casa Farnsworth de Ludwig Mies van der Rohe, el cual resulto una referencia perfecta para este edificio.



Ilustración 26. Imagen nocturna de la fachada del Pabellón PET

Fuente: <https://www.projectdwg.com/>

### 3C Construcciones

La empresa 3C Construcciones, una empresa Argentina, ha diseñado un sistema constructivo basado en bastidores y módulos de plástico reciclado para crear viviendas sostenibles y de bajo coste.

Este proyecto surge por la escasez de vivienda que hay actualmente en Argentina. De este modo, el propósito era crear un prototipo de vivienda que permitiera proporcionar el derecho a la vivienda a las personas con menos recursos.



*Ilustración 27. Vivienda con el sistema de 3C Construcciones*

*Fuente: <https://www.archdaily.cl/>*

Este sistema constructivo está formado a partir de bastidores de madera donde, entre ellos, se coloca el plástico reutilizado, principalmente botellas PET. Esto nos permite una construcción en seco, donde no se utiliza agua y, por tanto, presenta una construcción más rápida que los métodos tradicionales.

Además, estos elementos pueden ser recubiertos por hormigón para formar un acabado tradicional.



Ilustración 28. Proceso constructivo sistema 3C Construcciones  
Fuente: <https://www.archdaily.cl/>

Una de las ventajas que encontramos en esta forma de construir es la reducción de costos respecto de las viviendas tradicionales, ya que no requiere mano de obra especializada ni maquinaria específica. De este modo, se incentiva la autoconstrucción y el uso de productos locales.

En cuanto a la eficiencia climática y tecnológica, los módulos generan una mayor y mejor aislación térmica y acústica respecto a otros materiales tradicionales, además de ser incombustibles y sismorresistentes.

### BASTIDORES Y MÓDULOS DE PLÁSTICO RECUPERADO (MPR)

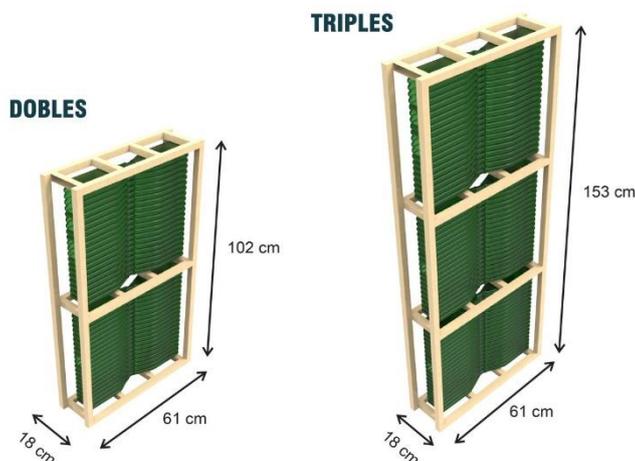


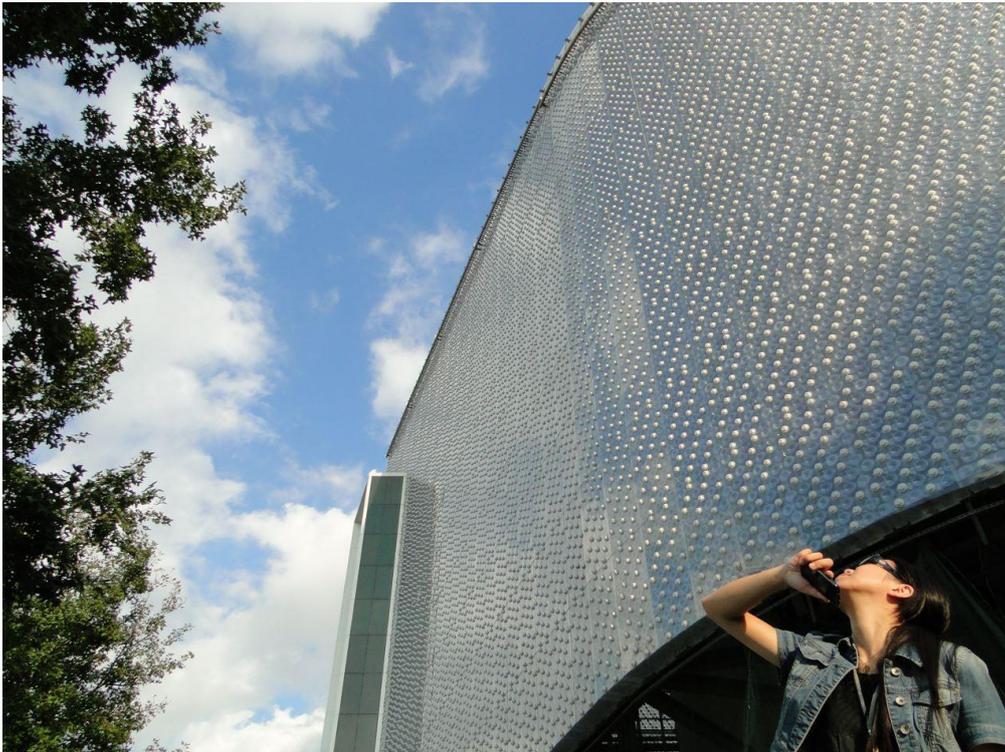
Ilustración 29. Módulos sistema 3C Construcciones  
Fuente: <https://www.archdaily.cl/>

## EcoARK – Arthur Huang

EcoARK es el primer edificio construido con botellas de plástico en el año 2010. Se encuentra situado en Taipei, China.

Se trata de un gran edificio con tres pisos de altura y un total de 2.186 metros cuadrados. Hay que destacar su fachada construida mediante botellas de plástico PET, concretamente, se utilizaron 1,52 millones de botellas.

Las botellas que conforman el edificio están vacías, lo que permite que se ilumine de manera natural y se reduzca al máximo el uso de la luz artificial.



*Ilustración 30. EcoARK*

*Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl>*

Aunque las botellas de plástico puedan parecer un producto débil por sí solo, al agruparlas, se consigue un material altamente resistente a inclemencias del tiempo. Esta fachada es capaz de soportar incluso sismos y tifones de una intensidad moderada.

Es un edificio de grandes dimensiones que logra un peso 50% menor que las construcciones tradicionales gracias a esta innovadora fachada.

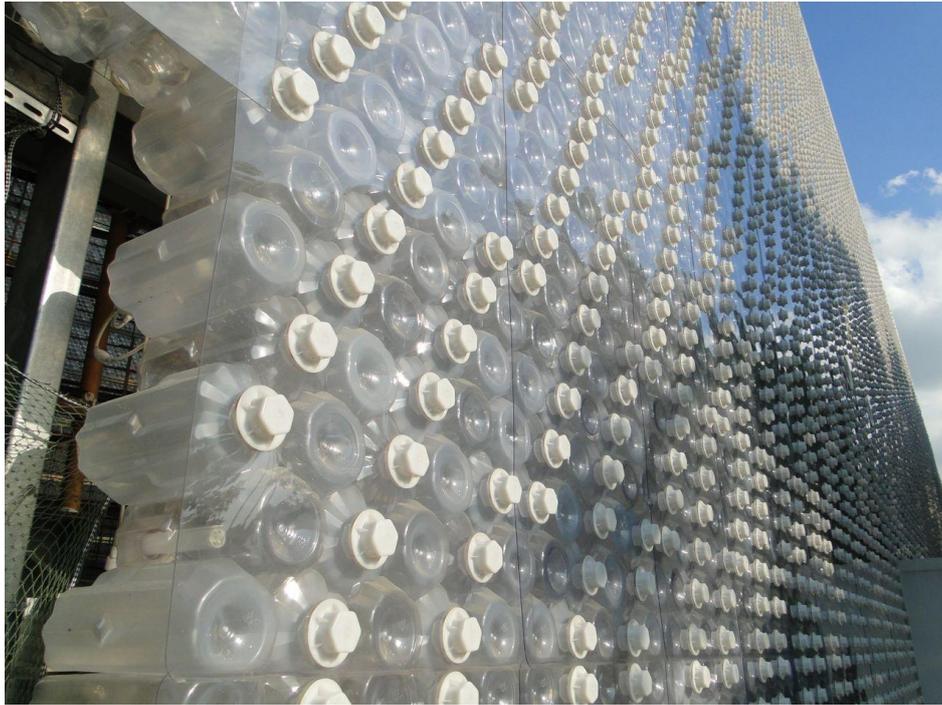


Ilustración 31. Detalle fachada EcoARK

Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl>

Para conseguir la estabilidad suficiente se decidió distribuir las botellas mediante bloques de botellas, en forma de hexágono, con 30 centímetros de largo y 17 de ancho, y los lados alternadamente cóncavos o convexos para que se trabaran en formas más grandes y estables.

Se ha conseguido que el edificio genere una huella de carbono muy baja debido a la reutilización de materiales y el poco peso de la fachada. Además, la estructura de 130 metros de largo es totalmente desarmable y puede ser desmontado y vuelto a montar en otro lugar, algo así como un edificio gigante de LEGO.

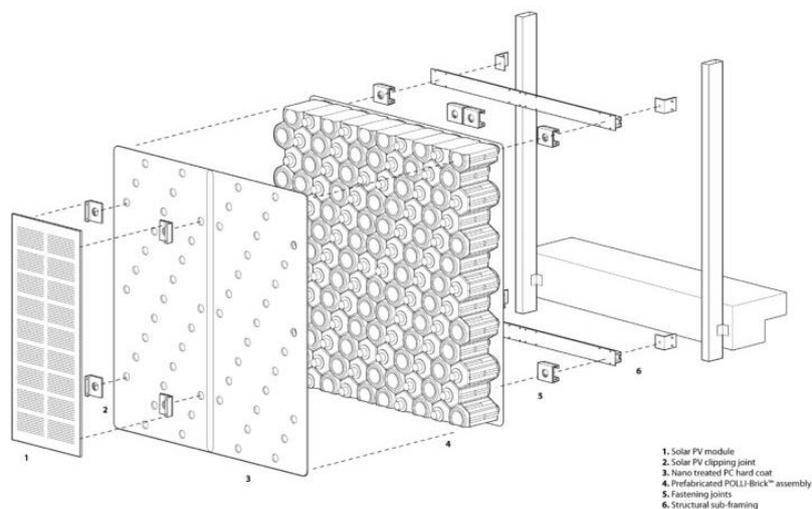


Ilustración 32. Axonometría constructiva fachada EcoARK

Fuente: <https://petmat.cz/>

## New Wave – UMA

Este proyecto, diseñado por el estudio Ulf Mejergren Architects, se trata de una escuela de arte ubicada en México donde toda la fachada está construida mediante botellas de plástico recicladas.



Ilustración 33. Fachada New Wave – UMA

Fuente: <https://www.u-m-a.se/>

El sistema está hecho de botellas de plástico que se perforan a través de barras de refuerzo que se erigen en una zanja de concreto, casi luciendo como una cerca alta en su primera etapa. De este modo, se pueden doblar las barras de diferentes maneras para conseguir las combinaciones deseadas, en este caso, imitar la imagen de una ola. Esto se consigue, además, pintando las botellas con un degradado azul-cian-blanco.

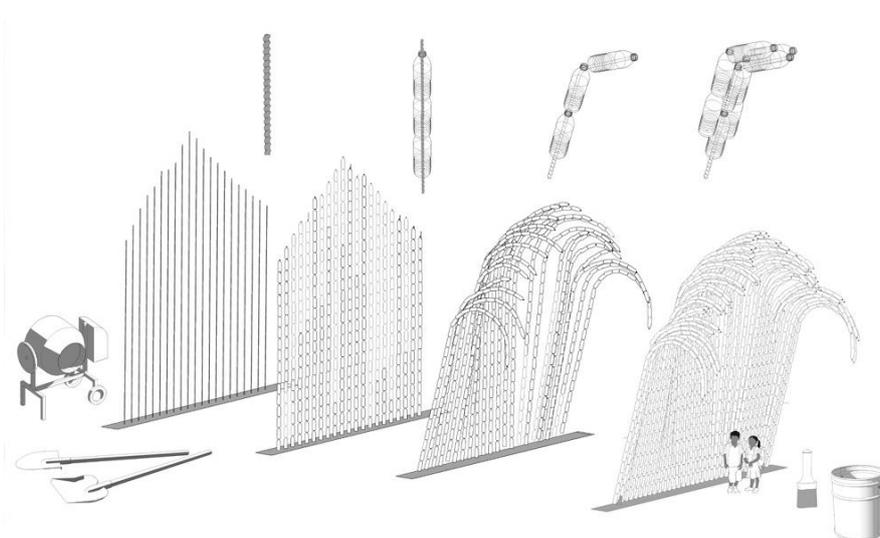


Ilustración 34. Axonometría constructiva

Fuente: <https://www.u-m-a.se/>

Las botellas cercanas al suelo se llenan con cemento o arena para garantizar la estabilidad y cada barra de refuerzo también se sujeta a una pared o una losa en el aire.

Las paredes de plástico también son más que un gran telón de fondo, también protegen de la lluvia y el sol, y en algunos lugares también se pueden usar para sentarse y mesas.



Ilustración 35. Interior New Wave – UMA

Fuente: <https://www.u-m-a.se/>

La elección de este diseño tiene la finalidad de concienciar a la gente sobre el reciclaje, ya que todas las botellas utilizadas provienen de residuos que terminaron en el mar.

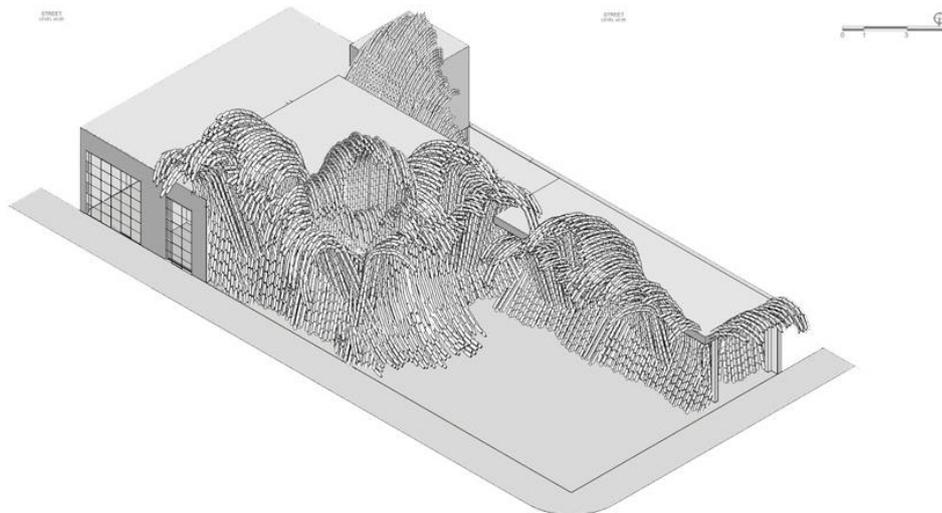


Ilustración 36. Axonometría New Wave

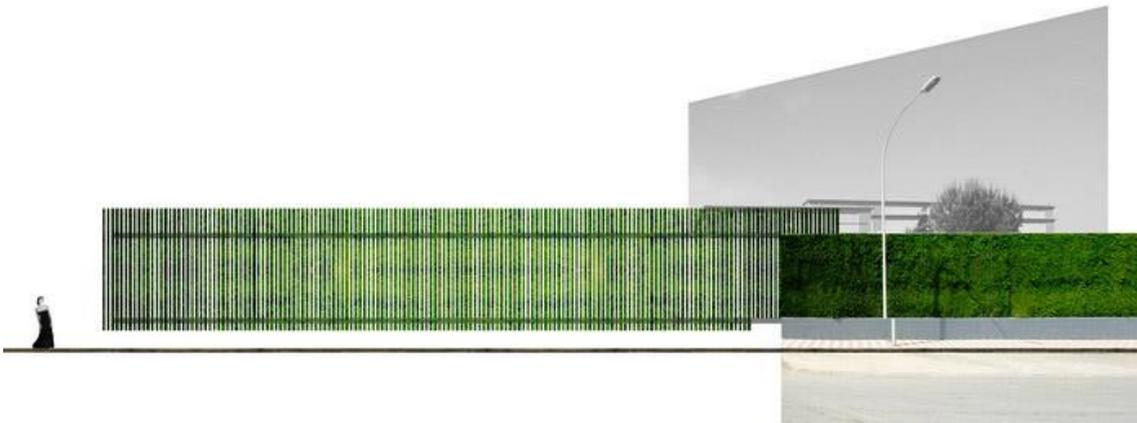
Fuente: <https://www.u-m-a.se/>

## 9.2.2 Ejemplos de buenas prácticas en España

### Sala EM lounge sports - Vaillo+Irigaray

Este edificio es un restaurante situado en Navarra, España y fue construido en 2009 por el estudio Vaillo+Irigaray.

La fachada de este restaurante está fabricada mediante tubos de plástico pintados de color verde. De esta manera, se busca crear una continuidad con la vegetación de su alrededor.



*Ilustración 37. Sala EM lounge sports*  
*Fuente: <http://www.vailloirigaray.com/>*

Estos tubos presentan dimensiones y tonalidades de verde diferentes que, con la incidencia de la luz solar, crea un juego de sombras en el interior además de proteger de la luz directa.

También cabe destacar la utilización de vidrio reciclado en algunas partes del interior, como en el suelo, creando unos atractivos reflejos.



*Ilustración 38. Sala EM lounge sports*  
*Fuente: <http://www.vailloirigaray.com/>*

## The Plastic Museum – delavegacanolasso

Se trata de una construcción efímera diseñada por los arquitectos Ignacio de la Vega y Pilar Cano-Lasso, y se ubicó en la plaza de Juan Goytisolo de Madrid, junto al Museo Reina Sofía.

Es un pabellón temporal compuesto por elementos prefabricados de plástico, que posteriormente será reutilizado y reciclado completamente. Es decir, una vez terminado su uso, será reciclado al 100%.

De este modo, se busca concienciar a la población sobre el correcto uso de los plásticos, ya que su construcción se debe al Día Mundial del Reciclaje. Además, el pabellón funciona como un pequeño museo donde se muestran productos de todo tipo de plásticos, recomendaciones de uso, concienciación sobre los residuos, etc.



*Ilustración 39. The Plastic Museum*  
*Fuente: <https://delavegacanolasso.com/>*

El pabellón se ha construido en dos días y cuenta con una superficie de 73,5 metros cuadrados. Presenta una volumetría limpia, donde predomina el color blanco, superficies transparentes y traslúcidas para la entrada de luz y algunos espacios opacos.

La estructura está formada por siete pórticos de metacrilato transparente, formando vigas y pilares en forma de U de gran canto. Al ser transparentes, nos aportan una elevada entrada de luz y, además, podemos jugar con la iluminación nocturna.

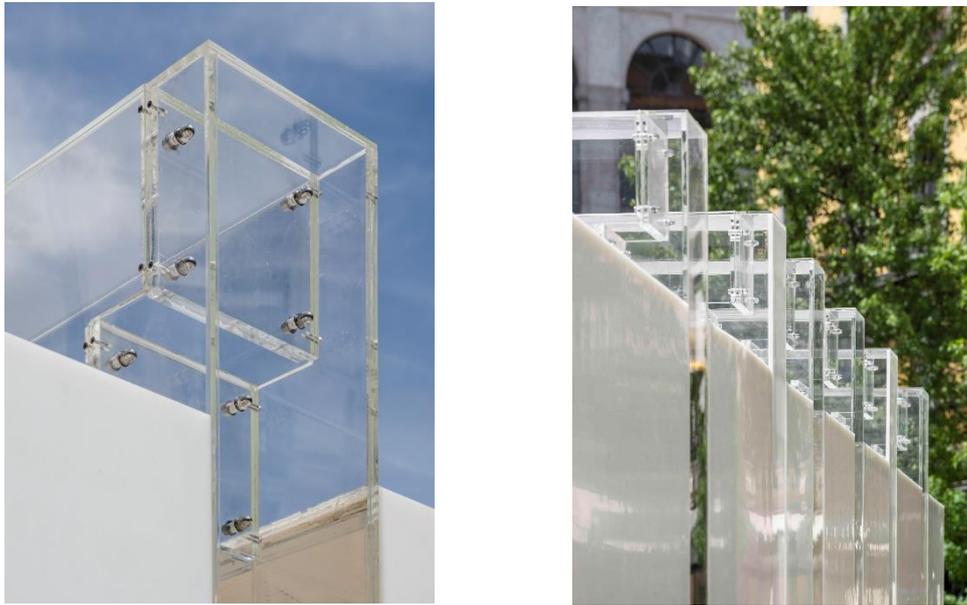


Ilustración 40. Encuentro viga y pilar de metacrilato

Fuente: <https://delavegacanolasso.com/>

Para la envolvente se utiliza polietileno blanco, que lo encontramos mecanizado y machihembrado para funcionar de manera solidaria con las costillas. De este modo, conseguimos que la envolvente sea autoportante y pueda funcionar como una especie de linterna por la noche al dejar pasar parte de la luz.

Para la cubierta se opta por policarbonato multicelular blanco aprovechando la ligereza y aislamiento de este material. Cabe destacar la numeración de todas las piezas para facilitar su posterior montaje.



Ilustración 41. The Plastic Museum noche

Fuente: <https://delavegacanolasso.com/>

A continuación, se muestran algunos de los planos y detalles constructivos del proyecto.

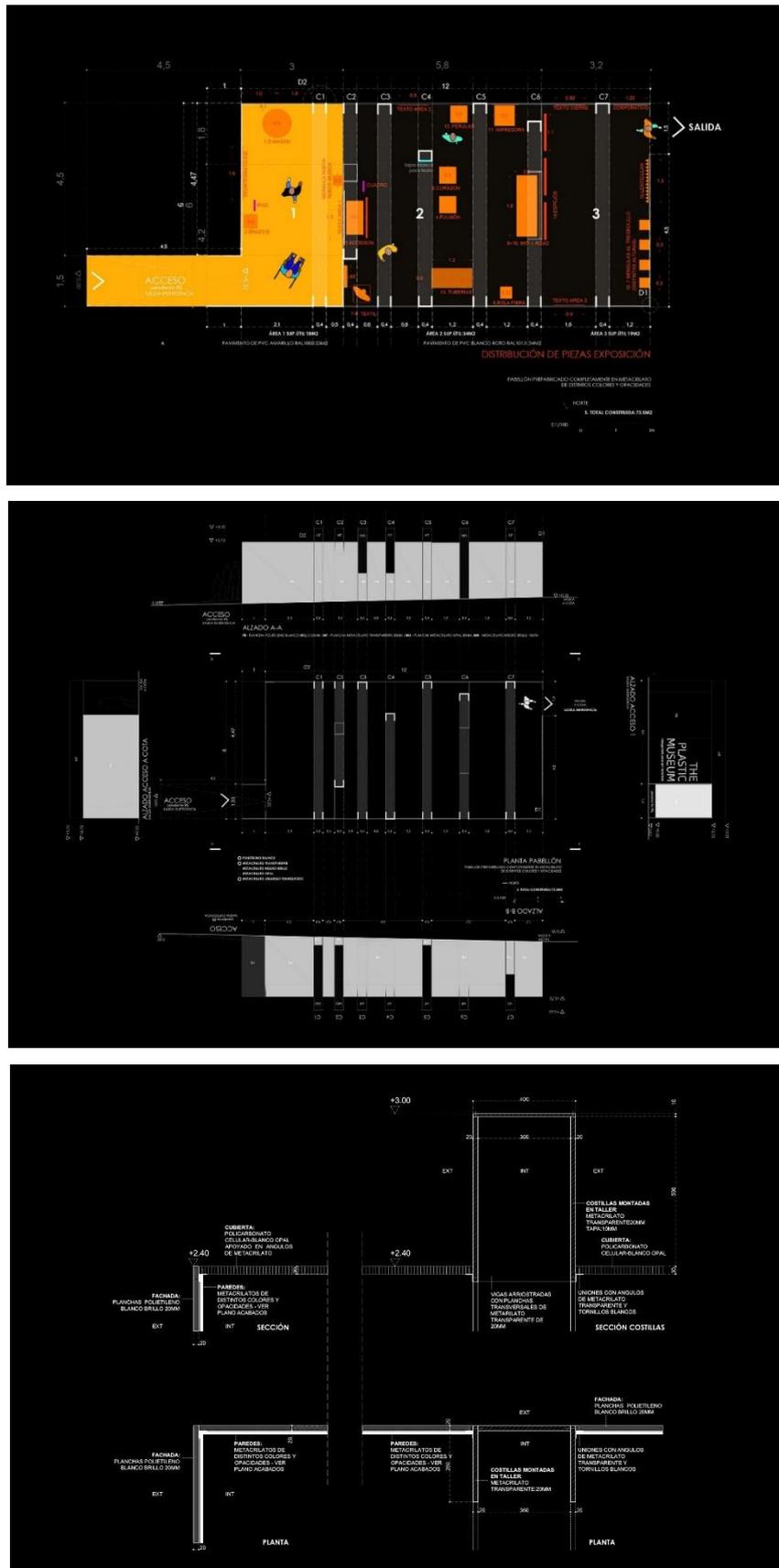


Ilustración 42. Planos y detalles constructivos Plastic Museum

Fuente: <https://delavegacanolasso.com/>

## 9.3 Materiales plásticos reutilizados con transformación

En este apartado nos encontramos una selección de materiales plásticos que, para dotarles de una segunda vida es necesario aplicarles una transformación, ya sea mecánica o química.

A continuación, se enumerarán una serie de materiales plásticos transformados, con sus respectivas aplicaciones y propiedades. También se mostrarán ejemplos arquitectónicos con estos materiales.

### 9.3.1 Pavimentos

#### Suelos sintéticos reciclados

Dentro de la categoría de suelos plásticos podemos incluir aquellos de linóleo o PVC-vinilo. Se trata de aquellos materiales que incorporan en su composición un porcentaje elevado de productos reciclados.

En este caso puede ser la incorporación de PVC reciclado a un pavimento de PVC o introducir otros elementos reciclados como la madera en los suelos de linóleo.

Las posibles aplicaciones para estos productos son:

- Losetas: productos rígidos en una gran variedad de formatos y colores. Presentan una elevada estabilidad frente a agentes químicos, gran resistencia a la abrasión, baja conductividad y facilidad de limpieza y mantenimiento.
- Rollos: permiten grandes dimensiones en superficies continuas que ofrecen como resultado suelos agradables a la vista y al tacto. Estas características, junto con su fácil limpieza y buena adherencia, los hacen muy adecuados en espacios infantiles.

La aplicación este tipo de suelos plásticos reciclados se realiza por pegado mediante adhesivo o machihembrado sobre superficies limpias, secas y muy bien niveladas. Puede colocarse sobre suelos existentes si están bien nivelados o utilizarse previamente un mortero autonivelante.

A continuación, se expondrán algunas alternativas más específicas relacionadas con este tipo de pavimentos.

## Pavimentos táctiles para entornos accesibles

Se trata de un pavimento diseñado por la empresa española Zicla, el cual está construido a partir de residuo de cable eléctrico, 100% reciclado y reciclable.

Este pavimento presenta las siguientes propiedades:

- Alta durabilidad y resistencia mecánica al desgaste y la intemperie.
- Clara diferenciación del tacto de plástico y color respecto al resto de baldosas.
- Que sea reutilizable y no pierda ninguna propiedad al desmontarse.
- Fabricado por materiales reciclados.

El diseño final del producto está formado por baldosas de 200x200 mm y 20 mm de espesor con dos posibles diseños: De botones e indicador direccional.

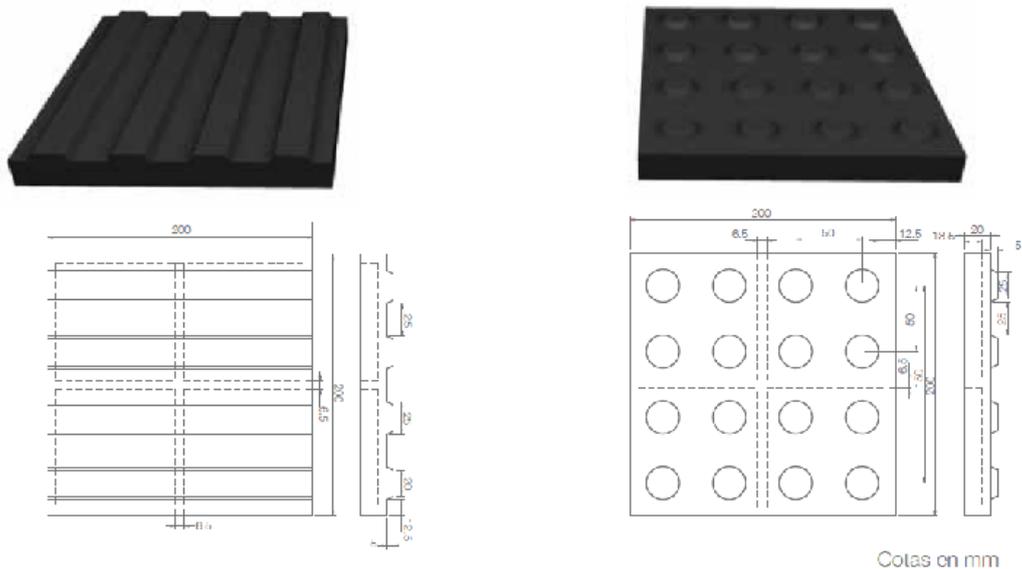


Ilustración 43. Diseño pavimento táctil 100% reciclado

Fuente: <https://www.zicla.com/>

## Mantas drenantes

Se trata del proyecto RECYDREN/RECYMAT llevado a cabo por la empresa española Zicla. En él se busca dar aplicación a los residuos de espuma de polietileno reticulado creando una gama de mantas drenantes y amortiguadoras para la construcción de pavimentos flexibles.

El proceso de fabricación consta de las siguientes operaciones:

- Trituración del residuo, en este caso espuma de polietileno reticulado.
- Aglomeración con una pequeña cantidad de resina de PU.
- Prensado en prensa de platos calientes para producir bloques.
- Laminación de los bloques para obtener mantas de distintos espesores.

El producto final presenta propiedades hidrofugas, resistencia y amortiguación a los golpes, buena resistencia a las temperaturas y presenta estabilidad frente la luz solar. Presenta buen comportamiento al combinarse con la utilización de césped artificial.



*Ilustración 44. Lámina drenante Recydren*

*Fuente: <https://www.zicla.com/project/mantas-drenantes/>*

## Forjados sanitarios Biomodulo

Biomodulo es un encofrado desechable, diseñado por la empresa española Daliforma, que está fabricado con polipropileno 100% regenerado.

Estos encofrados permiten realizar, de manera fácil y rápida, pavimentos perforados autoportantes. Además, gracias a su diseño, permite la regulación de diferentes alturas dependiendo del grosor del forjado.

Las ventajas que nos ofrece son las siguientes:

- Fácil e intuitivo de colocar
- Ligero y rápido de montar
- Permite una distribución homogénea del aire
- Elevada resistencia
- Facilidad para las tareas de mantenimiento

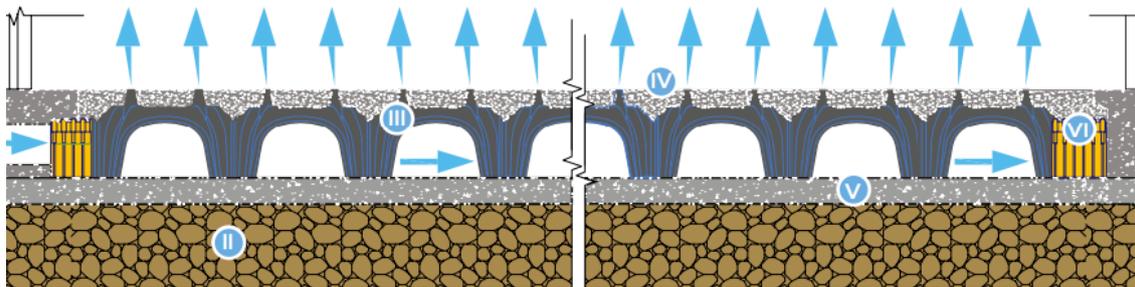


Ilustración 45. Detalle constructivo sistema Biomodulo

Fuente: <https://www.daliforma.com/>

El material utilizado es el polipropileno, por lo tanto, puede ser posteriormente reciclado y además aporta diversas propiedades. Entre ellas encontramos un producto sólido y robusto, con gran resistencia a las cargas de rotura y abrasión y proporciona un elevado aislamiento.



Ilustración 46. Sistema Biomodulo

Fuente: <https://www.daliforma.com/>

## Plastisoil

Es un material fabricado mediante plástico PET procedente de las botellas de plástico mezclado con tierra. Ha sido desarrollado por Najil Khouri, profesor asistente de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Temple, en Filadelfia (Estados Unidos).

Se consigue un producto similar al cemento, pero presenta una mayor porosidad y permeabilidad. De este modo, facilita la absorción de agua, aceite y suciedad, lo que proporciona una mayor adherencia en su superficie y lo hace muy adecuado como alternativa al asfalto.

La fabricación del Plastisoil consiste en la pulverización del plástico PET procedente de las botellas con una mezcla de arenas.

Para conseguir una tonelada de este producto se necesitan aproximadamente 30.000 botellas de plástico, pero en su proceso de elaboración se necesita mucha menos energía para la creación del cemento o el asfalto y, además, resulta más económico.



*Ilustración 47. Muestra de Plastisoil*

*Fuente: <http://www.construarte.com.ve/>*

## Asfalto con elementos plásticos

El Instituto Tecnológico del Plástico (AIMPLAS), ha trabajado en la creación de un asfalto más resistente con la adición de diferentes residuos plásticos.

Se han realizado diferentes pruebas experimentales con distintos tipos de plástico para observar su comportamiento, entre los residuos utilizados encontramos:

- Neumáticos (NFU)
- Tapones de polipropileno
- Envases de polietileno
- Perchas de poliestireno

Para su estudio se han asfaltado dos kilómetros de la M-300 en los accesos de Alcalá de Henares, en Madrid.

Tras 18 meses de estudio se ha concluido que estas mezclas cumplen perfectamente con los estándares que debe cumplir el asfalto y, además, obtiene una mejor resistencia frente a las deformaciones plásticas que el asfalto convencional. De este modo, se ha observado como estas nuevas mezclas son capaces de soportar mayores cargas de tráfico.

Este nuevo asfalto, desarrollado en el proyecto POLYMIX, presenta múltiples ventajas tanto para el medio ambiente como para la economía, ya que permite reducir la materia prima empleada en su fabricación y permite la reutilización de una gran variedad de residuos plásticos.



*Ilustración 48. Muestra de asfalto con aditivos plásticos*

*Fuente: Proyecto Polymix, Universidad de Cantabria*

## Suelos ECORE

Este producto consiste en unas baldosas fabricadas con caucho reciclado procedente de los neumáticos y de botellas de plástico PET recicladas. En total, están compuestas por más de un 95% de materiales reciclados. La empresa distribuidora es ECOsurfaces.

Una de las ventajas que nos ofrece este producto es la rapidez de montaje, esto es gracias a que no necesitan ningún tipo de adhesivo, las baldosas se conectan entre ellas gracias a un diseño dentado en los bordes. También se distribuye mediante rollos continuos.

El material resultante presenta las siguientes características:

- Es muy resistente, por lo que puede ser utilizado en pavimentos de elevada concurrencia.
- Ofrece mejores propiedades acústicas que las superficies tradicionales.
- Es ergonómico, agradable al tacto.
- Es antideslizante.



*Ilustración 49. Pavimento ECORE. Biblioteca pública del condado de Pendleton*

*Fuente: <https://ecosurfaces.com/Products/Composed/ECOsurfaces>*

## UPM ProFi Piazza

Es un producto fabricado por la empresa UPM ProFi. Consiste en una tarima de uso exterior compuesta por más de un 75% de materiales reciclados, concretamente de papel y plásticos reciclados procedentes de la Unión Europea.

Este producto nos ofrece una gran variedad de colores, diferentes acabados superficiales y unas elevadas propiedades:

- Gran durabilidad y resistencia frente a manchas de color.
- Resistente a la humedad, puede ser instalado debajo del agua.
- Resistente a la intemperie, UV resistente.
- Es 100% reciclable.

Además de los tableros, se ofrecen una gran variedad de componentes y elementos para poder adaptar la instalación a cualquier tipo de circunstancias.



Ilustración 50. Pavimento UPM ProFi Piazza

Fuente: <https://www.upmprofi.com/>



Ilustración 51. Sección pavimento UPM ProFi Piazza

Fuente: <https://www.upmprofi.com/>

### 9.3.2 Paneles

#### EchoPanel

EchoPanel es un panel decorativo y acústicamente absorbente, fabricado por la empresa Kirei, con materiales 100% reciclados. Concretamente, contiene un 100% de plástico PET donde, al menos el 60% proviene de contenido reciclado.

Para su fabricación también se han utilizado tintes ecológicos y ningún tipo de adhesivos.

Estos paneles pueden utilizarse en las paredes, el techo, en el mobiliario, etc. Tienen una elevada absorción acústica y, además, proporcionan un elevado grado de personalización con gran cantidad de formas y colores.

Los paneles pueden ser instalados fácilmente mediante adhesivos, perfiles guía o pequeños anclajes mecánicos.



*Ilustración 52. Pared recubierta mediante EchoPanel*  
*Fuente: <https://www.kireiusa.com/products/echopanel/>*

## Sola Felt

Este producto consiste en un fieltro semirrígido fabricado por la empresa 3form y está compuesto por un 50% de PET reciclado procedente del posconsumo.

El proceso de reciclaje del PET consiste en la trituración de las botellas de agua para conseguir unos granos que, posteriormente, serán extruidos en fibras delgadas y suaves para poder conformar la lámina.

Su principal utilidad es el diseño de espacios interiores y, además, es una perfecta solución para la absorción acústica. Otras de sus propiedades son:

- Una elevada resistencia química y a la inflamabilidad.
- Asequible, ya que es muy económico.
- Presenta una gran facilidad de ser cortado, doblado, modelado, etc.
- Puede ser instalado mediante fijaciones mecánicas o mediante adhesivos.
- También puede ser instalado como parte del mobiliario.



*Ilustración 53. Mobiliario de Sola Felt*

*Fuente: <https://www.3-form.com/materials/sola-felt>*

## Flek Pure

Flek Pure es un material 100% reciclado con una apariencia similar al terrazo y está compuesto completamente por residuos de la propia empresa, 3form.

También se ofrece la posibilidad de elegir distintos colores y tonalidades, pero, en estos casos, el porcentaje de material reciclado se ve reducido al 92%.

Es un material muy resistente, por lo que puede utilizarse como separadores de ambiente, piezas decorativas, recubrimiento de paredes, mobiliario tanto interior como exterior, etc.

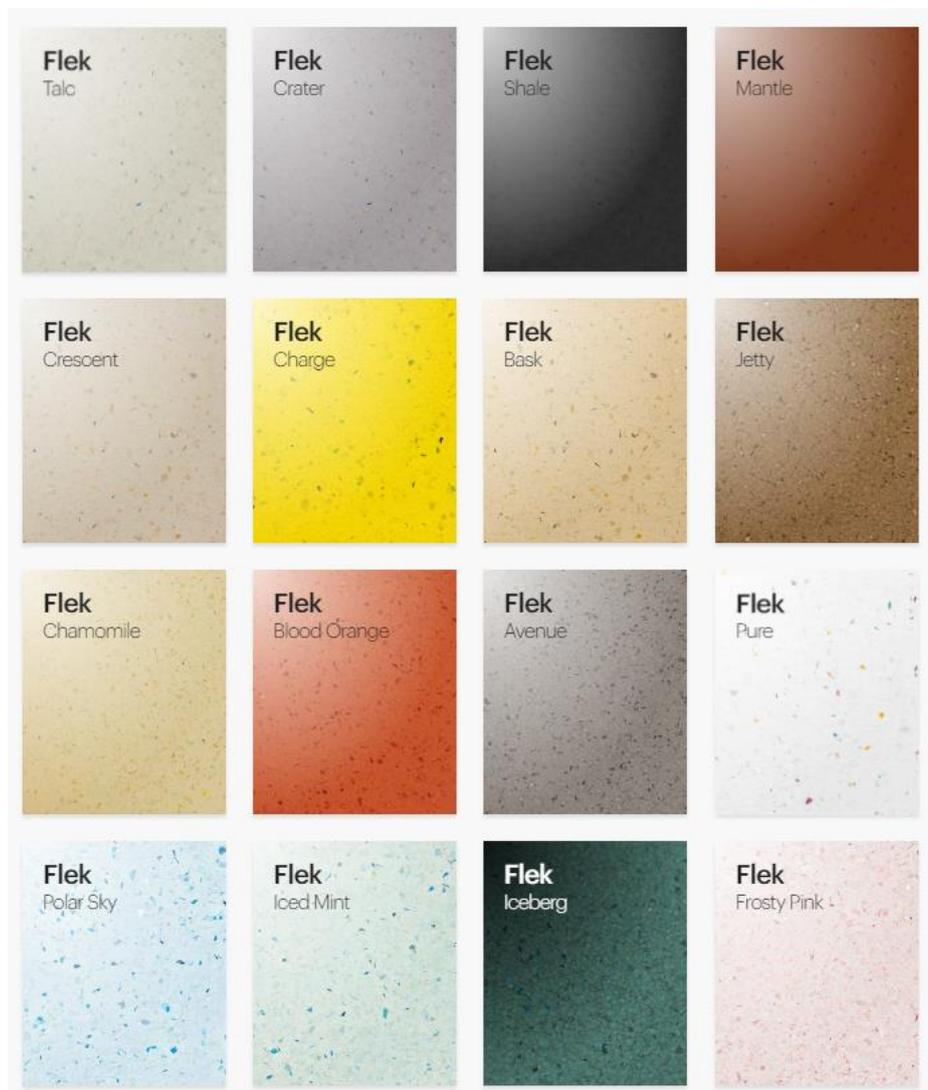


Ilustración 54. Muestras del material Flek

Fuente: <https://www.3-form.com/inspiration/flek-collection>

## Paneles Revolución Limo

Revolución Limo es una empresa española que ofrece alternativas sostenibles al sector de la construcción e interiorismo.

Entre los productos que ofrecen destacan los paneles de plástico 100% reciclado con el mismo tipo de plástico. Estos paneles presentan una gran calidad, dureza, resistencia, impermeabilidad, etc. que los hace aptos para:

- Revestimiento de paredes y techos.
- Elaboración de mostradores y escaparates.
- Mobiliario.
- Pueden ser utilizados tanto en el interior como en el exterior.

Los paneles ofrecen distintos diseños, colores, acabados, como brillo o mate, y están disponibles en distintas dimensiones y grosores.

Es un gran ejemplo de “upcycling” (reciclar para crear objetos de mayor valor que el original) ya que el origen de muchos de los plásticos es de un solo uso.



*Ilustración 55. Paneles Revolución Limo*

*Fuente: <https://revolucionlimo.com/paneles/>*

## Smile Plastics

Se trata de una empresa de Reino Unido que fabrica paneles 100% reciclados de residuos procedentes del posconsumo y postindustriales.

Estos residuos pueden ser muy variados pudiendo proceder de botellas, envases de alimentos, deshechos de café, macetas, etc. Por este motivo, no se encontrarán dos paneles exactamente iguales.

Podemos destacar la gran variedad de aplicaciones que podemos dotarle a este material:

- Mobiliario, mesas, asientos, bancos de cocina, etc.
- Mamparas para separar espacios, incluso puede ser utilizado en el baño.
- Recubrimiento de paredes.



*Ilustración 56. Mesa de panel reciclado Smile Plastics*

*Fuente: <https://smile-plastics.com/>*



*Ilustración 57. Aplicaciones plástico reciclado de Smile Plastics*

*Fuente: <https://smile-plastics.com/>*

## Sopraloop

Sopraloop es un sistema de reciclaje creado por la empresa española Soprema que permite convertir los residuos de plástico PET en aislamiento térmico para las viviendas. Es uno de los primeros procesos que combina el reciclaje mecánico y químico para conseguir un producto nuevo con elevadas propiedades.

Este nuevo material obtenido, hecho de PET reciclado, se utilizará en la producción de espumas de poliuretano para su posterior utilización como aislamiento. El objetivo es conseguir unos paneles con, al menos, el 50% de material reciclado.

Del mismo modo, también realizan paneles aislantes de poliestireno extruido reciclado, tanto de residuos exteriores como de la propia empresa, con las mismas propiedades que los paneles sin materiales reciclados.



Ilustración 58. Proceso de reciclaje paneles de XPS

Fuente: <https://www.soprema.es/es/>

### 9.3.3 Ladrillos y bloques

#### ByBlock

Se trata de uno de los primeros productos considerado como material de construcción que se encuentra íntegramente fabricado de desechos plásticos reciclados. Esta desarrollado por la empresa ByFusion.

El proceso de fabricación de los bloques consiste en reducir los plásticos en pequeñas piezas, las cuales son sometidas a una fuerza de compresión y a agua sobrecalentada. Este método no es tóxico y no necesita adhesivos.

A diferencia de los bloques de hormigón, ByBlock no se agrieta ni se desmorona, lo que reduce el desperdicio de material. Además, construir con ByBlock no requiere habilidades especializadas, tiempo de curado o mezcla de agentes aglutinantes. Esto reduce el costo del proyecto en aproximadamente un 54 % y reduce el tiempo de instalación en aproximadamente un 65 % en comparación con los bloques de hormigón.

Las utilidades que nos ofrecen estos bloques son:

- Muro de contención
- Barreras de sonido
- Particiones interiores
- Muebles
- Paredes decorativas
- Vallados



Ilustración 59. Pared fabricada con ByBlock

Fuente: <https://www.byfusion.com/byblock/>

## Bricks & Blocks

Bricks & Blocks se trata de un sistema constructivo fabricado con plástico 100% reciclado diseñado por la empresa Conceptos Plásticos.

Estos ladrillos se fabrican inyectando plástico fundido en un molde, por lo que se crean bloques que permiten un montaje sencillo. Además, este sistema es un 30% más barato que los métodos tradicionales y tiene una durabilidad de 500 años.

Estos materiales son utilizados para la construcción de casas y escuelas en lugares con pocos recursos económicos debido a la facilidad de montaje, durabilidad y un precio más económico que los materiales tradicionales. También nos permite reducir la cantidad de residuos plásticos de estos lugares.

Las características de este sistema constructivo son:

- El montaje puede realizarse en cuatro días.
- Un ladrillo de 50 cm corresponde con 3,3 kg de material recogido.
- Presenta una buena respuesta térmica.
- Forman estructuras ligeras y flexibles.
- No se descomponen debido a bacterias, hongos e insectos.



*Ilustración 60. Montaje de vivienda con el sistema Bricks & Blocks*

*Fuente: <http://conceptosplasticos.com/index.html>*

## Plastic Brick

Plastic Brick es un ladrillo hecho de plástico reciclado y arena diseñado por la empresa Ramtsilo Manufacturing & Construction.

El porcentaje de plástico reciclado de cada ladrillo es del 30% y esto permite reducir la cantidad de poros frente a las soluciones tradicionales, lo que limita las grietas en una pared y aumenta la vida útil de un edificio.

El producto final Plastic-Brick es fuerte, duradero, ignífugo y de calidad, creando una economía verde circular en la industria de materiales de construcción y reciclaje de plástico.

Todos los desechos plásticos se almacenan y procesan en su sitio, lo que garantiza que no terminen en vertederos o ríos y sistemas de drenaje.

Los ladrillos son adecuados para trabajos de construcción en general que se van a enlucir, donde la durabilidad, en lugar de la estética, es el criterio de selección clave.



*Ilustración 61. Ladrillo de Plastic Brick*

*Fuente: <https://www.ramtsilo.com/>*

## HomeCell

Es un sistema constructivo monolítico, a partir de bloques, que mediante materiales reciclados como el plástico consigue propiedades similares a los productos tradicionales. Es un sistema que proporciona la empresa colombiana Newconex.

Estos bloques están compuestos por un 60% de polipropileno que, junto fibras naturales y un aditivo ignífugo, se produce un material con elevadas propiedades. Algunas de ellas son:

- Frente a un incendio no propagan la llama y son capaces de auto extinguirse.
- Son resistentes a los impactos
- Soportan un esfuerzo de compresión de siete toneladas.
- Resistentes a la humedad
- Hasta seis veces más ligeros que una construcción tradicional.
- El método constructivo es rápido.
- Al estar hueco presenta buenas propiedades acústicas y térmicas.
- Presenta gran facilidad en la colocación de las instalaciones

Existen cuatro tipos de bloques con geometrías positivas y negativas que se encajan entre sí.



*Ilustración 62. Sistema constructivo HomeCell*

*Fuente: <https://newconex.co/homecell/>*

### **Bloque ecológico - Bloquemac**

Consiste en un bloque de cemento, fabricado por la empresa chilena Bloquemac, al cual se le añade plástico reciclado proveniente de las botellas de consumo.

Cada bloque contiene aproximadamente 19 botellas de plástico, el cual es triturado hasta obtener partículas de 10 milímetros. De este modo, se obtienen unos bloques con propiedades similares a los tradicionales, pero con un menor peso e impacto ambiental.

Cabe destacar que se trata de una pequeña empresa donde todas las botellas utilizadas proceden del barrio donde esta se encuentra. Se han instalado diversos contenedores específicos para que los vecinos puedan aportar en el proceso de crear un sistema de economía circular.



*Ilustración 63. Bloquemac*

*Fuente: <https://www.bloquemac.cl/bloquemac>*

### 9.3.4 Tejas

#### Tejas de plástico y caucho

Es un proyecto desarrollado por investigadores argentinos, liderado por Roxana Gaggino, que pretende fabricar tejas a partir de plástico reciclado y caucho procedente de los neumáticos.

Los materiales reciclados son triturados y sometidos a calor para su posterior prensado en un molde. Las propiedades que obtenemos con estas tejas son:

- Mucho más baratas que las tradicionales.
- Más ligeras.
- Más resistentes al granizo.
- Tienen mayor capacidad a flexión.
- Es térmicamente aislante e impermeable.
- No necesita mantenimiento. Es más durable.
- Solo son negras, aunque con cantidades más elevadas de PET pueden aclararse.

Actualmente ya poseen la patente y los certificados necesarios para ser comercializadas.



*Ilustración 64. Teja de plástico y caucho*

*Fuente: <https://www.unsam.edu.ar>*

## Tejas de plástico Roofeco

Son unas tejas fabricadas con plásticos reciclados libres de PVC, diseñadas por la empresa Roofeco Smart System, una empresa de Vila-Real.

Los principales materiales reciclados provienen de invernaderos, cajas de frutas, restos de otras tejas, etc. Aun así, este producto presenta muy buenas características frente a los tradicionales:

- Resistentes al granizo.
- No propagan los incendios.
- Mucho más ligeras.
- Soportan temperaturas extremas.
- Buen aislamiento térmico y acústico.
- Libres de mantenimiento.
- Rápida y sencilla instalación.
- No necesita láminas impermeables.
- Está disponible en diversos colores y ofrecen unas tejas translucidas.

Al ser un sistema de tejado ligero, toda la estructura puede ser más liviana, es decir, no se requieren tabiques aligerados, doble capa de mortero, lámina impermeable ni bardos cerámicos. Tampoco se requieren tejas de ventilación, ya que este sistema de techo posee una ventilación natural sin realizar esfuerzos adicionales. Además, es aislante térmico.

La teja convencional emite aproximadamente 3,8 kg de CO<sub>2</sub> por cada m<sup>2</sup>. El sistema Roofeco emite aproximadamente 1,6 kg de CO<sub>2</sub> por cada m<sup>2</sup>.



Ilustración 65. Montaje tejas de plástico Roofeco

Fuente: <https://www.rofecosystem.com/>

### 9.3.5 Instalaciones

#### Polietileno de alta densidad reciclado

Este material es extremadamente resistente y rígido, por lo que resulta muy adecuado para utilizarse en las diversas instalaciones que componen una vivienda. Algunas de sus aplicaciones pueden ser:

- Tuberías de distribución de agua potable.
- Sistemas de riego.
- Redes de aguas grises o recuperadas.
- Redes de extinción de incendios.
- Recubrimiento de cables y alambres.

Como ejemplo, encontramos la empresa española Aquatherm que proporciona todo tipo de tuberías de polietileno con al menos un 5% de material reciclado y la posibilidad de ser recicladas completamente.

Las propiedades que nos ofrece este material son:

- Resistencia a la corrosión y a los ataques químicos.
- Estabilidad mecánica.
- Estabilidad térmica y acústica.
- Alta resistencia a la abrasión.
- Menor peso



Ilustración 66. Tuberías polietileno reciclado Aquatherm

Fuente: <https://aquatherm.es/>

Una vez analizada gran variedad de productos y empresas que nos ofrecen soluciones sostenibles, podemos apreciar como en España es complejo encontrar y codificar toda esta información sobre materiales reciclados de construcción.

Por este motivo, cabe citar como buena práctica en España la existencia de algunas publicaciones y la guía IHOBE (2018), donde se recopilan distintos materiales reciclados para su uso en la construcción.

En esta guía se indican las características generales de los materiales, la normativa que siguen y se citan empresas fabricantes, tanto en el ámbito nacional como internacional. En las siguientes paginas se pueden ver algunos ejemplos de estas fichas relacionados con los plásticos.

## Guía para el uso de materiales reciclados en construcción



**Descripción del Material**

Dentro de la categoría de suelos plásticos podemos incluir aquellos de linóleo o PVC-vinilo.

Existen en el mercado soluciones tecnológicas que incorporan en su composición un porcentaje significativo de materia prima de origen reciclado. En los suelos de PVC se puede incorporar una fracción importante de PVC reciclado, siendo una solución muy utilizada para el reciclaje de materiales de PVC. En los suelos de linóleo es posible incorporar otro tipo de residuos, incluso naturales, por ejemplo residuos de madera (serrín).

**Usos y Aplicaciones**

La aplicación este tipo de suelos plásticos reciclados se realiza por pegado mediante adhesivo o machihembrado sobre superficies limpias, secas y muy bien niveladas. Puede colocarse sobre suelos existentes si están bien nivelados o utilizarse previamente un mortero autonivelante.

Se comercializan en forma de losetas o de rollos continuos.

Losetas: productos rígidos en una gran variedad de formatos y colores. Gran estabilidad frente a agentes químicos, con gran resistencia a la abrasión, baja conductividad y facilidad de limpieza y mantenimiento.

Rollos: permiten grandes dimensiones en superficies continuas, pues los anchos varían entre los 2-4 metros con longitudes en torno a los 20-25 m. El espesor de material varía entre los 2-5 mm, resultando suelos agradables a la vista y al tacto. Estas características, junto con su fácil limpieza y buena adherencia, los hacen muy adecuados en espacios infantiles, aunque a la vez disminuyen su capacidad para soportar grandes pesos pudiendo llegar a punzonarse.

**Normativa Asociada**

- MARCADO CE
- UNE-EN 14041:2005. Recubrimientos de suelo resilientes, textiles y laminados. Características esenciales
- NORMATIVA EUROPEA EUROCLASES DE REACCIÓN AL FUEGO CLASIFICACIÓN AL FUEGO SEGÚN NORMA 13501-1
- UNE-EN 13893:2003 Recubrimientos de suelo textiles, laminados y resilientes. Medición del coeficiente de fricción dinámico en superficies de suelo secas
- UNE-EN 717-1:2006 Tableros derivados de la madera. Determinación de la emisión de formaldehído. Parte 1: Emisión de formaldehído por el método de la cámara. (Clases de emisión en E1, E2)

*Ilustración 67. Fuente: IHOBE, 2018*

**Descripción del Material**



El poliestireno extruido (XPS) es una espuma rígida, aislante, de carácter termoplástico y de estructura celular cerrada. Se fabrica a partir de resina de poliestireno y una serie de aditivos. Esta mezcla se introduce en la extrusora para su fusión. Posteriormente, se inyecta un agente espumante para su expansión y se da forma a los paneles.

Este material posee buenas características como aislamiento térmico, acústico y buena resistencia mecánicas. Su conductividad térmica depende del gas de despumación utilizado, por lo que varía entre un 0,029 - 0,039 W/m.K.

La densidad es variable: 32-39 kg/m<sup>3</sup>.

La absorción de agua del XPS es prácticamente nula. La permeabilidad al vapor de agua ( $\mu$ ) = 100-220.

**Usos y Aplicaciones**

Habitualmente se suministra en paneles, de variados espesores, densidades y que pueden tener diferentes revestimientos adicionales. Está orientado a todo tipo de aplicaciones:

- Cubiertas
- Fachadas
- Suelos
- Falso techo
- Puentes térmicos, etc.

**Normativa Asociada**

- MARCADO CE
- UNE-EN 13164:2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno extruido (XPS)
- NORMATIVA EUROPEA EUROCLASES DE REACCIÓN AL FUEGO CLASIFICACIÓN AL FUEGO SEGÚN NORMA 13501-1. Clase E
- ISO TR 15226 BUILDING PRODUCTS – TREATMENT OF ACOUSTICS IN PRODUCT TECHNICAL SPECIFICATION
- COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO SEGÚN EN-ISO-11925-2
- UNE-EN 12667:2002 Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos de alta y media resistencia térmica.

**Materiales**

MATERIAL	FABRICANTE / DISTRIBUIDOR	POST	PRE	TOTAL	DISTINTIVO	WEB
FOAMULAR	Owens Corning	-	20%	20%	SCS RECYCLED	www.owenscorning.com

Materiales con más de un 20% de materia prima de origen reciclado y ecoetiqueta tipo I, III o equivalente

*Ilustración 68. IHOBE, 2018*

**ENI Impermeabilización**

**Lámina PVC reciclado**

**Descripción del Material**



Las láminas de PVC reciclado son láminas sintéticas a base de PVC plastificado, con porcentajes variables de PVC reciclado en sustitución de la materia prima de origen natural que se incorpora habitualmente en el proceso de fabricación: el cloruro de sodio o sal común y petróleo.

Sus siglas hacen referencia al material de su composición: Policloruro de vinilo.

Para reforzar la capacidad mecánica las láminas de PVC se componen de dos capas con una armadura interior, esta armadura puede ser de malla de fibra de poliéster, fibra de vidrio o similar.

**Usos y Aplicaciones**

La aplicación de las laminas de PVC con contenido reciclado no difieren de las láminas con contenido no reciclado. Se utiliza para impermeabilizar cubiertas, planas o inclinadas, así como muros exteriores o en contacto con el terreno. Son láminas resistentes a la intemperie y a los rayos UVA.

Habitualmente se presentan en rollos que se sujetan al soporte mediante fijación mecánica.

**Normativa Asociada**

- MARCADO CE
- DETERMINACIÓN DE LA ESTANQUIDAD AL AGUA SEGÚN EN-1928
- NORMATIVA EUROPEA EUROCLASES DE REACCIÓN AL FUEGO CLASIFICACIÓN AL FUEGO SEGÚN NORMA 13501-1 (Las láminas asfálticas suelen alcanzar una categoría A: NO INFLAMABLES)
- COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO SEGUN EN-ISO-11925-2
- UNE-EN 13956:2006 Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas plásticas y de caucho para impermeabilización de cubiertas. Definiciones y características

**Materiales**

MATERIAL	FABRICANTE / DISTRIBUIDOR	POST	PRE	TOTAL	DISTINTIVO	WEB
DANAPOL	DANOSA	-	-	29%	Ecoetiqueta tipo III (The international EPD System)	<a href="http://www.danosa.com/">http://www.danosa.com/</a>
K-Dek PVC	KINGSPAN INSULATED PANELS	-	-	27,80%	Ecoetiqueta tipo III (The international EPD System)	<a href="http://www.kingspanpanels.co.nz">www.kingspanpanels.co.nz</a>
SIKAPLAN FASTENED	SIKA			10%	Ecoetiqueta tipo III (ASTM International)	<a href="https://esp.sika.com/">https://esp.sika.com/</a>

Materiales con más de un 10% de materia prima de origen reciclado y ecoetiqueta tipo I, III o equivalente

*Ilustración 69. IHOBE, 2018*

Actualmente, resulta complicado realizar una búsqueda de todas las empresas que fabrican productos para la construcción con plástico reciclado debido a su escasez y falta de publicidad. Por este motivo, ahora que muchas empresas están empezando a trabajar con estos materiales más sostenibles, se debería crear una guía con los productos y empresas fabricantes para facilitar la información a los clientes.

Cada vez esta oferta será mayor, ya que, por obligaciones de las nuevas normativas, las empresas deberán introducir total o parcialmente el reciclaje de plástico en la fabricación de los productos.

También encontramos este problema en las bases de datos de la construcción, donde todavía no existe un apartado dedicado a la bioconstrucción.

Cabe destacar el Instituto Valenciano de la Edificación (IVE), el cual ha introducido para el año 2022 un apartado de bioconstrucción. Sin embargo, este incluye soluciones de tipo más tradicional como las tapias, adobe, balas de paja, etc. También aparece un apartado de áridos reciclados, pero todavía no existe un apartado específico de materiales reciclados o recuperados de plásticos.

### 9.3.6 Ejemplos arquitectónicos

#### San Diego Library, Central Branch

Esta biblioteca, diseñada por Lynn Barnhouse, fue construida en 2013. Podemos destacarla por la utilización de plástico reciclado en su pavimento, el cual presenta un área de 1260 m<sup>2</sup>. Concretamente, se ha empleado el suelo ECORE, mencionado anteriormente.

Las necesidades demandadas para la biblioteca eran: conseguir una buena acústica y que el pavimento fuera higiénico y fácil de limpiar. Por este motivo, se decidió la utilización de este material donde, además de resolver estas necesidades, aportaba otras como la durabilidad, fácil instalación y la capacidad de ser personalizado.

Con la personalización que nos ofrece este producto resulta sencillo crear un diseño independiente en cada espacio de la biblioteca para que sean claramente diferenciados.



Ilustración 70. San Diego Library

Fuente: <https://ecosurfaces.com/>

## Computer History Museum (CHM ED)

Este museo está diseñado por el arquitecto Mark Horton y se encuentra en California, Estados Unidos.

En este museo han sido utilizados paneles Sola Felt para crear el diseño interior y proporcionar una buena absorción acústica, imprescindible en un museo. Este material se ha empleado principalmente como una especie de falso techo, creando diversas formas con el diseño de cada panel. En otros espacios del museo se ha optado por utilizar estos paneles, con diferentes colores, para decorar y aislar las paredes.

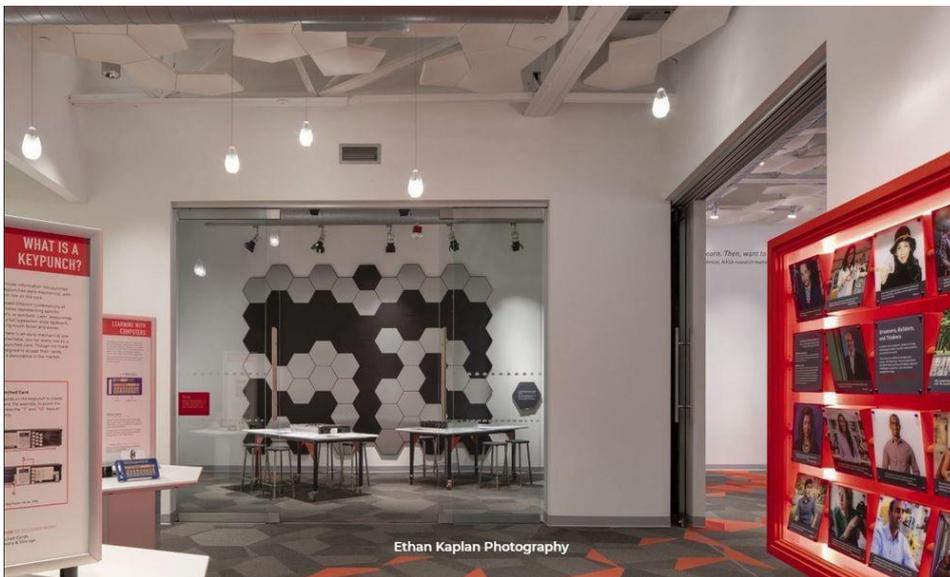


Ilustración 71. Computer History Museum

Fuente: <https://www.3-form.com/>

## Vivienda fabricada con el sistema Bricks & Blocks

En España, más concretamente en el término municipal de San Bartolomé de la Torre, se encuentra una de las primeras edificaciones de Europa construidas completamente con plástico reciclado.

Se trata de una solución analizada por Juan Manuel Medrano para conseguir construir una elevada cantidad de viviendas temporales, económicas y respetuosas con el medio ambiente. Estas viviendas, almacenes, establos, etc. serán ubicados en las zonas de explotación agrícola para cubrir las necesidades de alojamiento en las temporadas donde la presencia en el campo se ve intensificada.

Se trata de bloques, columnas, vigas, jambas, alféizares, estructuras para cubiertas y otros elementos complementarios, que serán fabricados mediante extrusión y usando moldes especialmente diseñados para ello, los cuales, a modo de piezas de lego, permitirían levantar estas construcciones de forma relativamente fácil, sin necesidad de usar argamasa, y perfectamente acabadas para su uso.



*Ilustración 72. Vivienda con sistema Bricks & Blocks*

*Fuente: <https://www.huelvainformacion.es/>*

Para la construcción de una vivienda en un terreno de 42 m<sup>2</sup> con este sistema se necesitan aproximadamente 7 toneladas de plástico. Teniendo en cuenta que se intenta reciclar más del 90% de los residuos plásticos, nos encontramos frente una buena solución para reducir la elevada cantidad de residuos que hay actualmente sin tratar.

## 10 FUTURAS VIAS DE TRABAJO

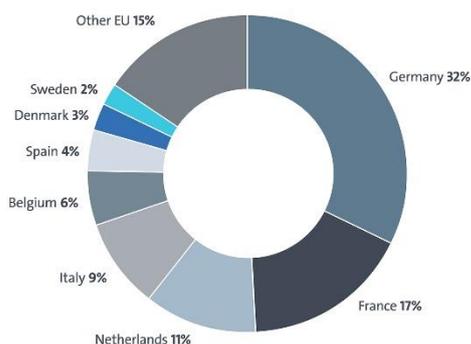
La Oficina Europea de Patentes (EPO) publicó en octubre de 2021 un informe titulado “Patentes para los plásticos del mañana: Tendencias mundiales de innovación en materia de reciclaje, diseño circular y fuentes alternativas.” con el objetivo de mostrar las futuras vías de investigación y desarrollo.

El informe está basado en el análisis de todas las patentes registradas entre los años 2010 y 2019, ambos incluidos. En él se puede observar como las tecnologías basadas en métodos químicos y biológicos son las más destacadas junto al aumento del 10% en investigación de plásticos alternativos.

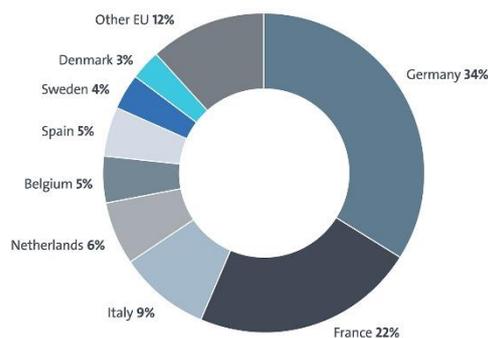
Europa y Estados Unidos lideran la innovación en el reciclaje de plásticos y en las tecnologías alternativas a los plásticos, consiguiendo un 60% de toda la actividad mundial de patentes relacionadas con el reciclaje de plásticos y la investigación de los bioplásticos.

En el ámbito español, el informe destaca el elevado grado de especialización con el reciclaje de plásticos y la innovación en bioplásticos, situándose por encima de la media europea, concretamente entre un 4% y un 5%. De este modo, España alcanza el tercer grado más alto de especialización de las materias clave relacionadas con el reciclaje de plásticos y bioplásticos dentro de la Unión Europea.

Origin of international patent families in **plastic recycling technologies** (2010-19), EU27



Origin of international patent families in **bioplastic technologies** (2010-19), EU27



Source: European Patent Office

Ilustración 73. Porcentaje contribución de patentes

Fuente: <https://www.epo.org/index.html>

Cabe destacar el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) como líder en la investigación española en materia de reciclaje de plásticos e innovación en bioplásticos. También debemos destacar los siguientes solicitantes de patentes, los cuales también aportan muchas nuevas tecnologías:

- Abengoa
- La Universitat Politècnica de València
- Airbus
- Universidad de Santiago de Compostela
- Gomavial Solutions
- Generalitat de Catalunya

El rápido crecimiento de las patentes en estos campos está impulsado casi en su totalidad por la innovación en un plástico alternativo llamado *unión covalente dinámica*, un método que permite diseños novedosos de materiales plásticos duraderos capaces de autorrepararse.

En el sector de la construcción, la innovación respecto a los bioplásticos se encuentra en un 2%, aunque es una cifra que no deja de aumentar.

Innovation in bioplastics by sector

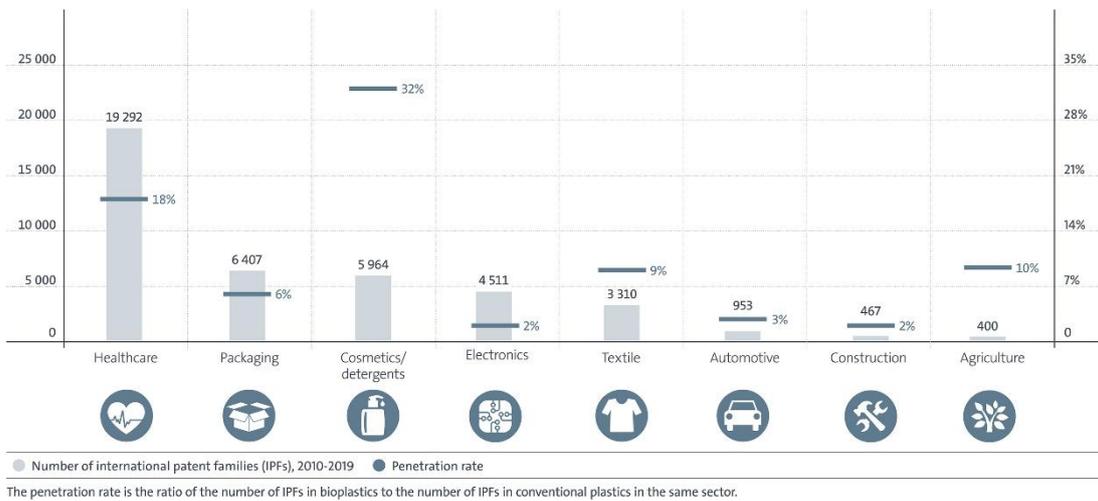


Ilustración 74. Innovación en bioplásticos por sector

Fuente: <https://www.epo.org/index.html>

Como conclusión, se puede observar como para el futuro van a destacar los bioplásticos, plásticos con mayor facilidad de ser reciclados y los procesos de reciclaje químicos y biológicos frente los mecánicos.

## 11 INCONVENIENTES

Actualmente existe una variada cantidad de productos fabricados a partir de plásticos reciclados, pero, aun así, resulta complicado encontrarlos aplicados a la construcción en el ámbito nacional.

Esto es debido a diversos factores:

- Muchos de ellos todavía se encuentran en fase de experimentación, por lo que todavía deben de superar diversas pruebas y controles de calidad antes de ponerse al mercado.
- Como derivado del factor anterior, algunos de los materiales presentan dificultades para alcanzar las características técnicas exigidas por el Código Técnico de la Edificación, particularmente el CTE SI-6, relacionado con la seguridad en caso de incendio.
- También se requiere la obtención de los Documentos de Idoneidad Técnica (DIT), el cual exige diversas características como la resistencia mecánica, seguridad frente al fuego, higiene, salud, etc. I se requiere este documento para cada uso del material o producto en cuestión.

Según la normativa actual, UNE-EN 13501-1:2019, se establece una clasificación de reacción frente al fuego de los materiales. Estas clases, denominadas A1, A2, B, C, D, E y F, indican la magnitud relativa con la que los correspondientes materiales pueden favorecer el desarrollo de un incendio, en este caso en relación con la inflamabilidad.

REACCIÓN AL FUEGO DE LOS MATERIALES	
CLASIFICACIÓN	
A1	No combustible. Sin contribución en grado máximo al fuego
A2	No combustible. Sin contribución en grado menor al fuego
B	Combustible. Contribución muy limitada al fuego
C	Combustible. Contribución limitada al fuego
D	Combustible. Contribución media al fuego
E	Combustible. Contribución alta al fuego
F	Sin clasificar. Determinación de propiedades

Posteriormente, estos también pueden clasificarse según la opacidad del humo que producen (s1, s2 y s3) y los escombros y gotas en llamas (d0, d1 y d2).

Poniendo algún ejemplo de materiales plásticos, el PVC presenta una clasificación B-s3-d0 y el Poliestireno Extruido clasificación E, pudiendo conseguir B-s1-d0 con enfoscados.

## 12 RECAPITULACIÓN

A continuación, se resumen las principales ventajas e inconvenientes que se han analizado durante el trabajo mediante un análisis DAFO.

<b>ANÁLISIS DAFO DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS</b>	
<b>DEBILIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>
Poca rentabilidad Menor calidad Difícil reciclaje	Falta de inversión Falta de concienciación en el sector Creación de materiales más eficientes
<b>FORTALEZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
Menor generación de residuos Menor contaminación en su elaboración Ahorro de recursos y energía	Promoción del reciclaje Creación de nuevos empleos Nuevos métodos de reciclaje

### DEBILIDADES

- Los plásticos reciclados nos ofrecen una menor rentabilidad económica que los de nueva fabricación debido al elevado coste que supone la separación y posteriores procesos de reciclaje.
- Al combinar distintos tipos de plásticos, o del mismo tipo como los termoestables, los productos derivados de este reciclado suelen presentar unas propiedades inferiores al producto original.
- Muchos de los productos actuales presentan diseños que dificultan la separación de los distintos materiales y, por tanto, su posterior reutilización y reciclaje.

### AMENAZAS

- Hasta ahora, la poca cantidad de plástico reciclado ha sido debido a la escasa inversión por parte de los gobiernos y empresas. Por suerte esta situación se está volviendo más favorable.
- La falta de inversión económica recién mencionada está directamente relacionada con la falta de interés y conocimiento en el sector de la construcción respecto a la cantidad de residuos y contaminación que se está generando.
- La creación de los plásticos biodegradables puede reducir la inversión en el reciclaje de plásticos, aunque se deberán analizar sus posibilidades de uso en la construcción.

## FORTALEZAS

- Al ser materiales que provienen de otros plásticos se reduce en gran medida la generación de residuos. Esto provoca un acercamiento a la economía circular.
- La contaminación que se produce en la elaboración de los plásticos reciclados es mucho menos que la generada en los plásticos de primer uso.
- Relacionada con las dos anteriores, conseguimos una reducción de los recursos utilizados al derivar de productos ya existentes y conseguimos un ahorro de energía tanto en el proceso de fabricación como en el conjunto de su vida útil, ya que son productos que siguen el método de economía circular.

## OPORTUNIDADES

- La creación y utilización de los plásticos reciclados puede hacer de “escaparate” para la población, pudiendo crear consciencia sobre la importancia de la reutilización y el reciclaje. Además, la gente puede observar las diversas soluciones y productos para poder aplicarlos posteriormente.
- Al aumentar las cantidades necesarias de este material se crearán nuevas empresas especializadas y aparecerán nuevas investigaciones y tecnologías que necesitarán mano de obra, generando empleo.
- Al aumentar la demanda, también aumentaran las investigaciones y tipos de plásticos disponibles en el mercado, probablemente con mayores prestaciones.

## 13 CONCLUSIONES

A lo largo del trabajo se han analizado los diferentes tipos de plástico, su capacidad de ser reciclados y los métodos de reciclaje de plástico actuales. Con todos estos datos, podemos concluir que la posibilidad de crear una economía circular en referencia a los plásticos como materiales de construcción es un objetivo alcanzable. No obstante, todavía faltan algunos aspectos que mejorar y desarrollar para que esto sea posible.

Como se puede observar en los ejemplos presentados sobre el uso del plástico reutilizado y reciclado en la construcción, estos materiales, se encuentren utilizados con o sin transformación, aportan soluciones iguales o incluso con ciertas ventajas respecto a los materiales y técnicas tradicionales. Por este motivo, se debe dar a conocer las ventajas de estos nuevos materiales y abandonar la idea preconcebida de productos con una menor calidad.

Además de las ventajas medioambientales que supone la reutilización de los plásticos, existen otras ventajas propias del material, que no resulta tan sencillo alcanzar con otro tipo de materiales tradicionales. Fundamentalmente su ligereza, maleabilidad y aislamientos térmicos o acústicos, permitiendo ahorros en la estructura.

Cada vez existen mejores métodos de reciclaje que están permitiendo la elaboración de nuevos productos y una mejora de las propiedades. Es decir, encontramos un sector que se encuentra en plena expansión y desarrollo, por lo que, en los próximos años, es previsible una importante mejora en calidad y cantidad de nuevos productos de plástico reciclado en el mercado que podrían sustituir muchos de los materiales habituales.

Se ha podido constatar que hay bastantes ejemplos internacionales de proyectos que reutilizan plásticos como elementos o materiales, sin embargo, en España el número es menor. Es posible que esto cambie con la nueva normativa de 2022 que obliga a un mayor porcentaje de reutilización.

Como obstáculos, cabe destacar la poca difusión que tienen estos ejemplos, muchos de ellos experimentales. Es necesaria una mejor y mayor oferta de productos, una mayor concienciación y una adaptación de la normativa de construcción para favorecer el uso.

Actualmente ya empieza a ser una realidad el ver diversas construcciones con plásticos reciclados de excelentes características, esperemos a ver que nos deparara el futuro.

## 14 BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS, REVISTAS Y TESIS

ALBALAT MOLINER, Balma. Ahogados en plástico. *Revista Mètode* [en línea]. 6 de marzo de 2020 [consultado el 19 de abril de 2022]. Disponible en: <https://metode.es/revistas-metode/article-revistas/ahogados-en-plastico-microplasticos-medio-marino.html>

BARRAL, Miguel. Historia del reciclaje. Hitos y conquistas. *OpenMind* [en línea]. 15 de septiembre de 2020 [consultado el 17 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/historia-del-reciclaje-recurso-ante-la-escasez-movimiento-medioambiental/>

BILBAO VILLENA, Amaia. *Desengancharse del plástico*. Ecologistas en acción, julio de 2015.

BILL, Andreas et al. *Procesamiento de plásticos de RAEE*. Suiza: Sustainable Recycling Industries, diciembre de 2019.

BOTET LATRE, Ana. Estudio de los plásticos como material de reciclado para la obtención de material de construcción. 2019. Trabajo fin de Grado. Universitat Politècnica de València.

Dossin, M., Grilli, M., Marsitzky, D., Meiser, W., Ménière, Y., Philpott, J., Pose Rodríguez, J. y Rossatto, C. (2021). *Patentes para los plásticos del mañana: Tendencias mundiales de innovación en materia de reciclaje, diseño circular y fuentes alternativas*. European Patent Office.

El uso exagerado del plástico durante la pandemia de COVID-19 afecta a los más vulnerables. *Noticias ONU* [en línea]. 30 de marzo de 2021 [consultado el 16 de abril de 2022]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490302>

Historia y evolución de los plásticos - Historia de los materiales. *Universidad de Burgos* [en línea]. [consultado el 9 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://historiamateriales.ubuinvestiga.es/plasticos/>

IHOBE, 2018. Guía para el uso de reciclados en materiales construcción.

JULIO. La historia del reciclaje. *Conciencia Eco* [en línea]. 16 de mayo de 2015 [consultado el 17 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.concienciaeco.com/2015/05/16/la-historia-del-reciclaje/>

PLAZA MARCOS, Alejandro Ramón. Reciclar para construir: materiales y propuestas constructivas en la arquitectura actual. 2021. Trabajo final de grado. Universitat Politècnica de València.

*Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la UE*. Comisión Europea, septiembre de 2016.

VÁZQUEZ MORILLAS, Alethia et al. *El reciclaje de los plásticos*. Universidad Autónoma Metropolitana, 2014.

VÉLEZ BONE, Víctor Eduardo; MOSQUERA GONZÁLEZ, Billy Alexander. Reciclaje de plásticos. 2012. Tesis Doctoral. Universidad de Guayaquil. Facultad Ingeniería Química.

## **PÁGINAS WEB**

*3form*. [en línea]. [consultado el 13 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.3-form.com/>

*Architectuurbureau project.DWG Enschede*. [en línea]. [consultado el 02 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.projectdwg.com/>

*ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE INDUSTRIALES DE PLÁSTICOS - ANAIP* [en línea] [consultado el 16 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://anaip.es/>

*ByFusion Global Inc.* [en línea]. [consultado el 14 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.byfusion.com/>

*CHYBIK + KRISTOF + WWW*. [en línea]. [consultado el 02 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.chybik-kristof.com/>

*Composite decking*. [en línea]. [consultado el 13 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.upmprofi.com/>

*Conceptos Plásticos*. [en línea]. [consultado el 15 de junio de 2022]. Disponible en: <http://conceptosplasticos.com/index.html>

*EcoSurfaces Flooring Powered by Ecore*. [en línea]. [consultado el 06 de junio de 2022]. Disponible en: <https://ecosurfaces.com/>

*ESPLÁSTICOS* [en línea] [consultado el 16 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://esplasticos.es/>

Estudio: Vaillo + Irigaray [en línea]. [consultado el 02 de junio de 2022]. Disponible en: <http://www.vailloirigaray.com/>

*EUR-Lex* [en línea]. [consultado el 24 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/TodayOJ/index.html>

Eurostat. *European Commission* [en línea]. [consultado el 19 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/>

*Generalitat Valenciana* [en línea]. [consultado el 24 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://dogv.gva.es/>

*Kirei*. [en línea]. [consultado el 13 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.kireiusa.com/>

Normativa europea. *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico* [en línea]. [consultado el 24 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/legislacion/buscador.aspx?cat3=1>

Objetivos y metas de desarrollo sostenible. *Desarrollo Sostenible* [en línea]. [consultado el 21 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Plásticos. *Greenpeace España* [en línea]. [consultado el 14 de abril de 2022]. Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/>

*Plastics Europe ES* [en línea]. [consultado el 16 de abril de 2022]. Disponible en: <https://plasticseurope.org/es/>

*Ramtsilo Bricks & Co.* [en línea]. [consultado el 15 de junio de 2022]. <https://www.ramtsilo.com/>

Reciclaje y residuos de plástico en la UE: hechos y cifras. *Parlamento Europeo* [en línea]. 19 de diciembre de 2018 [consultado el 9 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20181212STO21610/reciclaje-y-residuos-de-plastico-en-la-ue-hechos-y-cifras>

RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD). *Comunidad de Madrid* [en línea] [consultado el 16 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/residuos-construccion-demolicion-rcd#:~:text=Los%20RCD%20son%20residuos%20de,obra%20menor%20y%20reparación%20domiciliaria>

*Soprema Iberia - Impermeabilización y Aislamiento*. [en línea]. [consultado el 14 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.soprema.es/>

*UNEP - UN Environment Programme* [en línea]. [consultado el 14 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.unep.org/es>

Zicla. [en línea]. [consultado el 06 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.zicla.com/>

## 15 ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	10
Ilustración 2. Evolución de los plásticos .....	15
Ilustración 3. Esquema economía lineal y circular.....	18
Ilustración 4. Producción y tratamiento de plásticos en la Unión Europea.....	19
Ilustración 5. Cronología de la regulación del plástico.....	20
Ilustración 6. Código de Identificación del Plástico.....	25
Ilustración 7. Separación manual de residuos plásticos .....	29
Ilustración 8. Separación por densidad de residuos plásticos .....	30
Ilustración 9. Separación de los plásticos mediante métodos ópticos .....	30
Ilustración 10. Aplicaciones del plástico .....	34
Ilustración 11. Tasa de recuperación de residuos de construcción y demolición .....	35
Ilustración 12. Contenedores con residuos plásticos. Leipzig, Alemania. ....	36
Ilustración 13. Contenedores con residuos plásticos. Valencia. ....	36
Ilustración 14. Separación de residuos plásticos en la planta de reciclaje.....	37
Ilustración 15. Muestras de PVC, PC y PE, para su posterior tratamiento. ....	38
Ilustración 16. Museo de Arte Naju .....	44
Ilustración 17. Sección constructiva fachada museo de arte Naju.....	45
Ilustración 18. Microbiblioteca Bima.....	46
Ilustración 19. Sección transversal de la Microbiblioteca Bima.....	47
Ilustración 20. Interior Microbiblioteca Bima .....	47
Ilustración 21. Showroom MY DVA .....	48
Ilustración 22. Axonometría Showroom MY DVA .....	49
Ilustración 23. Alzado principal Showroom MY DVA .....	49
Ilustración 24. Pabellón PET.....	50
Ilustración 25. Axonometría constructiva Pabellón PET .....	51
Ilustración 26. Imagen nocturna de la fachada del Pabellón PET.....	51
Ilustración 27. Vivienda con el sistema de 3C Construcciones.....	52
Ilustración 28. Proceso constructivo sistema 3C Construcciones.....	53
Ilustración 29. Módulos sistema 3C Construcciones .....	53
Ilustración 30. EcoARK .....	54
Ilustración 31. Detalle fachada EcoARK.....	55
Ilustración 32. Axonometría constructiva fachada EcoARK.....	55
Ilustración 33. Fachada New Wave – UMA.....	56
Ilustración 34. Axonometría constructiva.....	56
Ilustración 35. Interior New Wave – UMA.....	57
Ilustración 36. Axonometría New Wave .....	57
Ilustración 37. Sala EM lounge sports.....	58
Ilustración 38. Sala EM lounge sports.....	58

Ilustración 39. The Plastic Museum .....	59
Ilustración 40. Encuentro viga y pilar de metacrilato .....	60
Ilustración 41. The Plastic Museum noche .....	60
Ilustración 42. Planos y detalles constructivos Plastic Museum .....	61
Ilustración 43. Diseño pavimento táctil 100% reciclado .....	63
Ilustración 44. Lámina drenante Recydren .....	64
Ilustración 45. Detalle constructivo sistema Biomodulo .....	65
Ilustración 46. Sistema Biomodulo .....	65
Ilustración 47. Muestra de Plastisoil .....	66
Ilustración 48. Muestra de asfalto con aditivos plásticos .....	67
Ilustración 49. Pavimento ECORE. Biblioteca pública del condado de Pendleton .....	68
Ilustración 50. Pavimento UPM ProFi Piazza .....	69
Ilustración 51. Sección pavimento UPM ProFi Piazza .....	69
Ilustración 52. Pared recubierta mediante EchoPanel .....	70
Ilustración 53. Mobiliario de Sola Felt .....	71
Ilustración 54. Muestras del material Flek .....	72
Ilustración 55. Paneles Revolución Limo .....	73
Ilustración 56. Mesa de panel reciclado Smile Plastics .....	74
Ilustración 57. Aplicaciones plástico reciclado de Smile Plastics .....	74
Ilustración 58. Proceso de reciclaje paneles de XPS .....	75
Ilustración 59. Pared fabricada con ByBlock .....	76
Ilustración 60. Montaje de vivienda con el sistema Bricks & Blocks .....	77
Ilustración 61. Ladrillo de Plastic Brick .....	78
Ilustración 62. Sistema constructivo HomeCell .....	79
Ilustración 63. Bloquemac .....	80
Ilustración 64. Teja de plástico y caucho .....	81
Ilustración 65. Montaje tejas de plástico Roofeco .....	82
Ilustración 66. Tuberías polietileno reciclado Aquatherm .....	83
Ilustración 67. Fuente: IHOBE, 2018 .....	85
Ilustración 68. IHOBE, 2018 .....	86
Ilustración 69. IHOBE, 2018 .....	87
Ilustración 70. San Diego Library .....	89
Ilustración 71. Computer History Museum .....	90
Ilustración 72. Vivienda con sistema Bricks & Blocks .....	91
Ilustración 73. Porcentaje contribución de patentes .....	92
Ilustración 74. Innovación en bioplásticos por sector .....	93