



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

TRABAJO DE FIN DE GRADO

# CONSTRUCCIÓN LOW COST

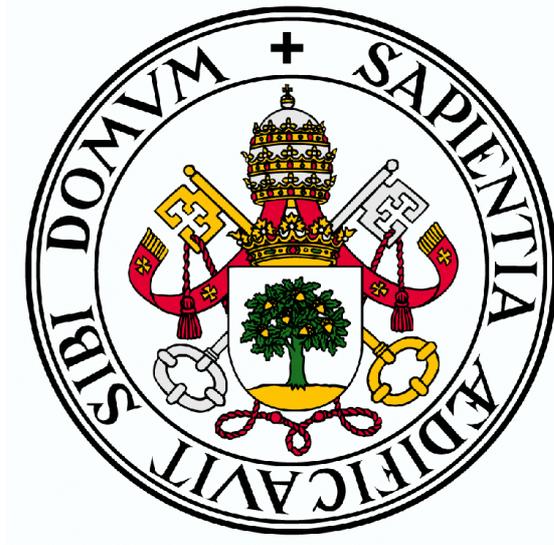
## RECICLADO DE BOTELLAS PET PARA SU APLICACIÓN EN EL CAMPO DE LA CONSTRUCCIÓN Y LAS INSTALACIONES

ALUMNO: Marina Bartolomé Mateos

TUTOR: Félix Jové Sandoval

SEPTIEMBRE 2018





**CONSTRUCCIÓN LOW COST**  
**RECICLADO DE BOTELLAS PET PARA SU APLICACIÓN EN**  
**EL CAMPO DE LA CONSTRUCCIÓN Y LAS INSTALACIONES**

ALUMNO: MARINA BARTOLOMÉ MATEOS

TUTOR: FÉLIX JOVÉ SANDOVAL

TFG SEPTIEMBRE 2018 UVa



## RESUMEN

La finalidad de este trabajo es el estudio y análisis de las diferentes aplicaciones que se están llevando a cabo a nivel mundial con las botellas de plástico PET, una vez finalizado el uso para el que han sido diseñadas, así como de su utilización en múltiples procesos de la actividad constructiva.

Se analizará el uso de las mismas tomando como referencia la arquitectura convencional y sus diferentes componentes, como muros estructurales, revestimientos, cubiertas o instalaciones. Así podremos valorar la posible aplicación de estos materiales reutilizados en la arquitectura, de la misma manera que son utilizados otros materiales en la arquitectura tradicional.

Todo este estudio se ve fundamentado por la necesidad de reutilización de estos materiales plásticos, ya que de otra manera contribuyen al deterioro del medio ambiente y su degradación. ¿Podremos incorporar este material de desecho en nuestra construcción de manera cotidiana y habitual?

## PALABRAS CLAVE

Construcción low cost

Botellas PET

Reciclaje

Nuevas aplicaciones

Viabilidad económica



## ABSTRACT

The purpose of this work is the study and analysis of the different applications that are being given to PET plastic bottles worldwide, once the use for which they were designed has been completed, and its use in multiple processes of constructive activity.

The use of these applications will be analyzed using as a reference the traditional architecture and its different components, such as structural walls, coatings, roofs or installations. Thus we will be able to assess the possibility of using these reused materials in architecture the way the traditional ones are used.

All this study is based on the need to reuse these plastics, as otherwise contribute to the deterioration of the environment and its degradation. Can we incorporate this waste material into our construction on a daily and regular basis?

## KEYWORDS

Low cost construction

PET bottles

Recycling

New applications

Economic feasibility



## **ÍNDICE**

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. CONSTRUCCIÓN LOW COST**
- 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS PLÁSTICOS Y BOTELLAS PET**
- 4. PROBLEMAS CON LOS PLÁSTICOS**
- 5. RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DE LAS BOTELLAS. APLICACIONES.**
  - 5.1 Muros estructurales
    - 5.1.1-Botellas rellenas de tierra, plásticos
    - 5.1.2-Gaviones rellenos de botellas. Pueblo canadiense, Bocas del Toro.
    - 5.1.3-ECOARK en Taiwán
  - 5.2 Cubiertas
    - 5.2.1-Tejas de botellas
    - 5.2.2-Malla y tela con botellas sin plegar
  - 5.3 Cúpulas geodésicas y pabellones
  - 5.4 Sistemas triangulares estructurales. Trussfab: vigas con nodo estructuralmente sólido
  - 5.5 Sistemas de instalaciones
    - 5.5.1-Aire acondicionado
    - 5.5.2-Calentador solar
    - 5.5.3-Pared recolectora de agua
    - 5.5.4-Iluminación
- 6. CONCLUSIONES**
- 7. LISTA DE ILUSTRACIONES**
- 8. BIBLIOGRAFÍA**



## 1. INTRODUCCIÓN

Plástico, ¿Ángel o Demonio?

En el último medio siglo la sociedad ha crecido envuelta en plástico. Casi cualquier proceso productivo o de comercialización ha precisado para su desarrollo de la incorporación de alguna forma el plástico, ya sea para la elaboración de un determinado producto, una parte del mismo o en último caso para su distribución y hacerlo así más accesible al consumidor final.

Miremos donde miremos y en cualquier lugar podemos encontrar “plástico”. El plástico se ha incorporado a la ropa, los muebles, los electrodomésticos, los vehículos y casi cualquier producto imaginable, pero donde ha tenido una importancia enorme ha sido en la industria de la distribución de la alimentación y bebidas. El plástico se utiliza en forma de envases y embalajes de muchos de los productos que la industria pone a disposición de los consumidores.



*Ilustración 1. Izquierda. Productos que se comercializan en botellas de plástico. Derecha. Desastre que se ocasiona con la acumulación de los plásticos desperdiciados después de su vida útil.*  
<https://alocubano.wordpress.com/2011/09/26/envases-plasticos-un-dano-duradero-para-el-medioambiente/>

Estos envases y embalajes han hecho posible acercar al consumidor final cantidades relativamente pequeñas de productos que son fácilmente manejables por las personas, tanto para su traslado como para su almacenamiento, conservación y consumo.

Todo esto ha sido posible gracias a que los plásticos se pueden producir a unos costos de producción que los hacen muy competitivos, incorporando poco coste al producto que se quiere vender o distribuir.

Pero toda esta producción masiva de plástico y su incorporación a la vida cotidiana a nivel mundial está ocasionando graves problemas ambientales. Una vez terminada su vida útil, los plásticos pueden acabar directamente en la basura y esto en el mejor de los casos. El plástico es un producto que tarda mucho tiempo en degradarse, lo que está generando grandes problemas de contaminación en el planeta y está contribuyendo a que la Tierra se degrade.

Es posible que nos estemos enfrentando a uno de los mayores problemas de la actualidad, pero aún estamos a tiempo de cambiarlo o, por lo menos, de no agravarlo. ¿Es posible alargar la vida útil de estos plásticos y reutilizarlos en otro campo?

Las botellas de plástico ya se utilizan para infinidad de aplicaciones en el ámbito de la construcción, sobre todo a nivel de la construcción low cost. La construcción low cost, o de bajo coste, suele estar ligada a arquitectura de emergencia o arquitectura en países con falta de medios y del tercer mundo. En estas situaciones se requiere el uso de materiales de fácil acceso y bajo coste que faciliten llevar a cabo la construcción en un corto periodo de tiempo, como pueden ser las botellas de plástico.

La posibilidad de reutilización de materiales de deshecho es muy interesante, no solo en el ámbito de la arquitectura low cost sino también en el ámbito de la arquitectura sostenible y abre las puertas a nuevas vías de reducir el impacto medioambiental de nuestra industria. Pero es posible que aun no exista la conciencia social necesaria como para que ese reciclaje se lleve a cabo también en los “países del primer mundo”, con industrias más desarrolladas, y no solo en los países del llamado “tercer mundo”.

Tenemos los medios y la capacidad suficiente para atajar el problema.

¿Seremos capaces de hacer de este demonio un poco más ángel?

## 2. CONSTRUCCIÓN LOW-COST

La construcción “*low cost*”, como su propio nombre indica, tiene como objetivo fundamental la utilización de materiales a “*bajo coste*” que permitan dar acceso a viviendas dignas en países o zonas en los que la economía de sus habitantes no permite la utilización de materiales convencionales.

Por otro lado, esta construcción low-cost está adquiriendo mayor relevancia en países desarrollados, permitiendo la creación de viviendas innovadoras, estéticas y de fácil fabricación, que utilizan fundamentalmente materiales reciclados, lo que contribuye a disminuir la contaminación del medio ambiente. Entre estos materiales reciclados se encuentran los plásticos tipo PET, que analizamos en este trabajo.

Estas practicas constructivas “low cost” precisan tener en cuenta varios factores para resultar verdaderamente viables e interesantes. Es necesario tener en cuenta los recursos empleados y las técnicas constructivas utilizadas para reducir al máximo los gastos totales tanto de materiales como de mano de obra y consumo de energía. Para llegar a reducir el coste se han de considerar algunos aspectos necesarios:

- La posibilidad de acceder a estos materiales en las proximidades del lugar donde se va a efectuar la construcción con el objeto de reducir el alto coste que supone su transporte, además de la contaminación del combustible.
- Posibilidad de fácil manejo y colocación de los materiales por personas no especialmente cualificadas y así reducir la mano de obra técnica.
- Seguir las características de la arquitectura vernácula, así como sus materiales, tipología y técnica.
- La reutilización de materiales reciclados para disminuir los gastos de material y contribuir a la disminución del impacto medioambiental.
- Tener en cuenta el tamaño del material que se va a utilizar para no requerir de maquinaria para su elevación y que, por otro lado, tenga una buena resistencia y estabilidad.
- Reducción del volumen de residuos producidos en la actividad constructiva, ya que este sector por sí mismo genera una gran cantidad de ellos.
- Construcción con elementos que sean desmontables, reutilizables, transportables y reciclables, total o parcialmente, una vez que haya finalizado su vida útil.



### 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS PLÁSTICOS. BOTELLAS PET.

La industria ha creado una variedad importante de tipos de plástico y se podría dedicar mucho tiempo al estudio de cada uno de ellos, pero en este estudio nos vamos a centrar fundamentalmente en aquellos que tienen lo que vamos a denominar “un ciclo de vida útil corto”. Nos centramos en ellos porque estos envases y embalajes son los que se están convirtiendo en un verdadero problema medioambiental en la actualidad, que precisará de mucho ingenio para atajarlo.

Cuando vamos a un supermercado a realizar la compra habitual, vamos dejando en nuestro carro productos que tienen envases de cartón, cristal, metal y plástico. Los tres primeros tienen la posibilidad de ser reciclados para convertirse de nuevo en cartón, cristal o metal. No ocurre lo mismo con los plásticos que se utilizan en la alimentación, fundamentalmente en los líquidos. Los plásticos utilizados para la fabricación de botellas son los llamados PET.

El PET (tereftalato de polietileno) es un producto que se obtiene del petróleo. Mediante un proceso por el que se enlazan moléculas de petróleo y gas, se obtienen moléculas que se unen en largas cadenas para convertirse en plástico en forma de millones de gránulos. Estos gránulos posteriormente se funden en moldes para generar los envases. De esta manera se generan millones de botellas de plástico al día.

#### 3.1 Características de los plásticos PET

Este tipo de plástico (PET) tiene para la industria unas cualidades muy interesantes:

- Es muy resistente: tiene dureza, lo que permite su manejo sin delicadeza.
- Es económico: el coste de producción por unidad es bajo.
- Es liviano: muy ligero de peso, reduciendo así el peso que aporta al producto para su transporte.
- Impermeable: idóneo para contener líquidos.
- Apto para la alimentación: el continente no incorpora al contenido sustancias nocivas para el consumo humano.
- Reciclable: puede reciclarse mediante un proceso químico. Estas resinas son las que tienen mejores características para el reciclado según algunas organizaciones como GEENPEACE.

Todas las ventajas que se han indicado anteriormente sobre los plásticos PET son las que los han hecho tan populares y contribuido a su profusión de una forma descomunal, haciendo que alcancen cuotas de uso inimaginables desde hace menos de cincuenta años.

Sin embargo, el uso de estos plásticos PET no está exento de inconvenientes. Los mayores problemas que no han sabido atajarse en origen y se han convertido ya en un problema medioambiental grave son fundamentalmente dos:

-Los envases se han convertido en elementos de “usar y tirar”, es decir, por lo general tienen un solo uso.

-La degradación de estos plásticos requiere tiempos muy largos (de hasta más de 700 años) por lo que su acumulación ha degradado muchas de las zonas en las que se depositan.

A día de hoy resulta casi imposible encontrar espacios que se encuentren libres, en alguna medida, del plástico. Hemos contaminado los vertederos de basura, los campos, los ríos y en cantidades enormes se han enviado al mar, que por las corrientes marinas se han ido agrupando en determinados vórtices con millones de toneladas de plásticos.

La solución pasa por su recuperación y transformación para darle otros usos, ya que no es posible volver a utilizarlos en la fabricación de nuevos envases que permitieran mantener un ciclo de reutilización.

## 4. PROBLEMAS CON LOS PLÁSTICOS

El plástico, tal como se conoce, existe desde hace solo unos 60-70 años, pero en este pequeño periodo de tiempo ha transformado la mayoría de los sectores: la industria textil, la cocina y la restauración, el diseño de productos, la ingeniería y por supuesto la construcción, entre otros.

Es innegable que los plásticos PET han supuesto un gran avance en nuestra sociedad, dando acceso a la mayoría de los consumidores a muchos de los productos que en otras circunstancias serían mucho más caros. Pero lo que para el comercio es un avance tecnológico, es un peligro para el planeta y para el desarrollo de la vida de este.

### Acumulación de plásticos en el planeta:

Un artículo publicado en la revista Science Advances por el ecologista industrial Rolad Geyer y su equipo, de la Universidad de California en Santa Bárbara en Estados Unidos, calculó el volumen total de todo el plástico producido en el planeta. El resultado fueron 8.300 millones de toneladas de plástico producidas hasta el momento.

De ese número, unos 6.300 millones de toneladas ahora son residuos y el 79% de ellos se encuentra en vertederos o en el entorno natural. Esta gran cantidad de desechos ha sido impulsada por la vida moderna, donde el plástico se usa para fabricar muchos artículos desechables o de “uso único”, desde productos como botellas de bebidas y pañales, hasta cubertería y bastoncillos de algodón.



*Ilustración 2. Izquierda. Los 10 objetos de plástico que se encuentran en las playas europeas con más frecuencia. Derecha. Imagen publicitaria para concienciación social respecto a la acumulación de plásticos en los océanos. <https://ecobidon.com/nueva-normativa-europea-todos-los-envases-de-plastico-seran-disenados-para-reutilizarse-o-reciclarse/>*

Las botellas de bebidas son uno de los tipos más comunes de desechos de plásticos. Se compran 1.200.000 de botellas por minuto en todo el mundo, es decir, 20.000 botellas por segundo. Sólo en el año 2016, se vendieron 480.000 millones de botellas.

Contaminación de los océanos:

En este estudio publicado por Geyer, se estima que alrededor de 10 millones de toneladas de plástico acaban en los océanos cada año. En 2010, los científicos del Centro Nacional de Análisis y Síntesis Ecológicos de Estados Unidos y de la Universidad de Georgia en Grecia estimaron la cifra en 8 millones de toneladas, que para 2015 aumentaría a 9,1 millones de toneladas.

El mismo estudio, publicado en la revista Science en 2015, se encuestó a los 192 países costeros que contribuyen con el aumento de residuos plásticos oceánicos y descubrió que entre las naciones asiáticas se encontraban 13 de los 20 contribuyentes más importantes de plástico al océano.

## Océano de plástico



Fuente: Jambeck et al, Science febrero 2015, UNEP, NCEAS



Ilustración 3. Acumulación de residuos plásticos a nivel mundial en tierra y en el mar. Pacífico.  
[https://www.google.com/search?q=acumulaci%C3%B3n+de+plasticos+en+todo+el+planeta&safe=active&client=safari&rls=en&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjw6ia0JndAhXG2aQKHe9KtCtQQ\\_AUICigB&biw=1680&bih=891#imgsrc=1n36vAL5AjMtCM:](https://www.google.com/search?q=acumulaci%C3%B3n+de+plasticos+en+todo+el+planeta&safe=active&client=safari&rls=en&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjw6ia0JndAhXG2aQKHe9KtCtQQ_AUICigB&biw=1680&bih=891#imgsrc=1n36vAL5AjMtCM:)

China encabezó la lista de países que peor administraban los desechos de plástico, pero Estados Unidos también se ubicó entre los primeros 20 y es una de las naciones con mayor tasa de desperdicio por persona.

La basura plástica se acumula en áreas del océano donde los vientos crean corrientes circulares, conocidas como “giros”, que absorben cualquier residuo flotante. Hay cinco giros en todo el mundo, pero el más conocido probablemente sea el giro del Pacífico Norte.

Este giro del Pacífico Norte se conoce como “La Gran Mancha”, por ser el de mayor tamaño en el mundo. La Mancha es de alrededor de 2.200 kilómetros de largo por 800 kilómetros de ancho, casi tres veces más grande que la superficie de España y Portugal juntos (véase Ilustración 4). Está formado por pequeños fragmentos de plástico, que parecen colgar suspendidos debajo de la superficie, a una profundidad de hasta 10 metros, fenómeno descrito como “sopa de plásticos”. Todos estos desechos de plástico proceden: el 80% de la Tierra, traídos por los sistemas de alcantarillado y de los ríos hacia el mar y el 20% restante de buques e instrumentos marítimos como redes y herramientas de pesca. Se estima que los desechos tardan unos seis años en llegar al centro del giro del Pacífico Norte desde la costa de EE.UU. y alrededor de un año desde Japón.

La formación de esta Gran Mancha y el resto de giros se ve favorecida por el hecho de que menos del 5% del plástico utilizado a nivel mundial es reciclado.

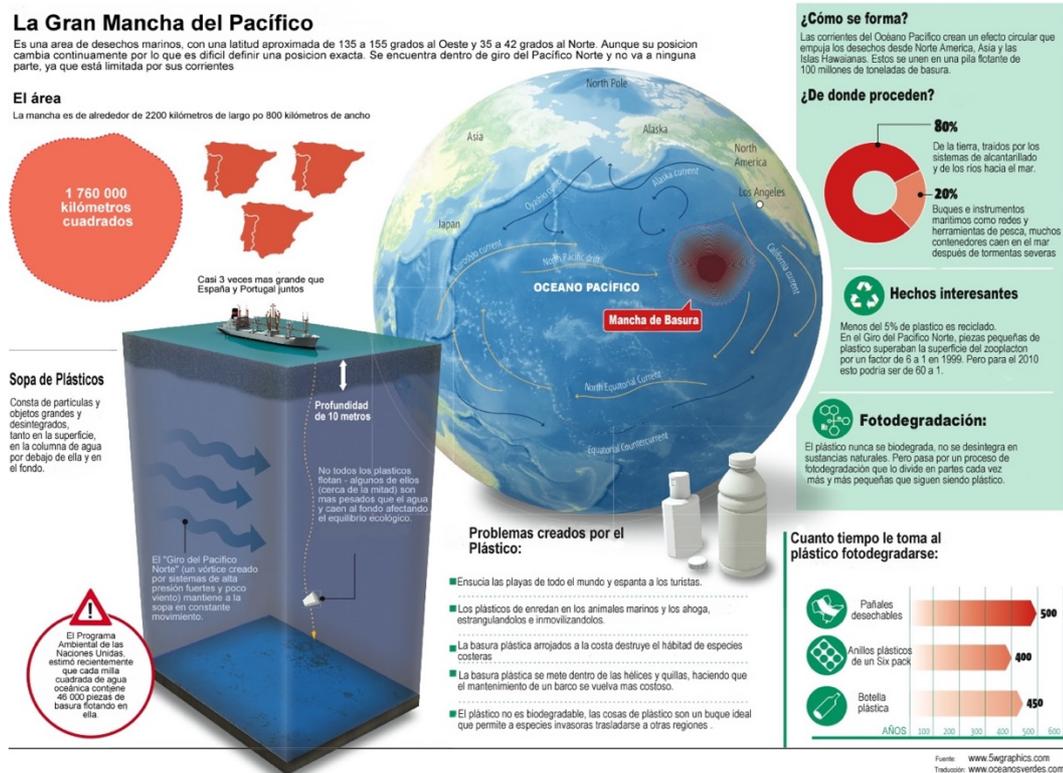


Ilustración 4. Explicación con comparativas del problema de los residuos plásticos que se concentran en La Gran Mancha del Pacífico. <http://recursostic.educacion.es/blogs/biosfera/index.php/2012/06/13/la- isla-de-plastico>

Como dato significativo hay que destacar que una botella de plástico tarda alrededor de 450 años en biodegradarse, aunque el tiempo de degradación depende del tipo de botella y de las condiciones medio ambientales (Ilustración 5).

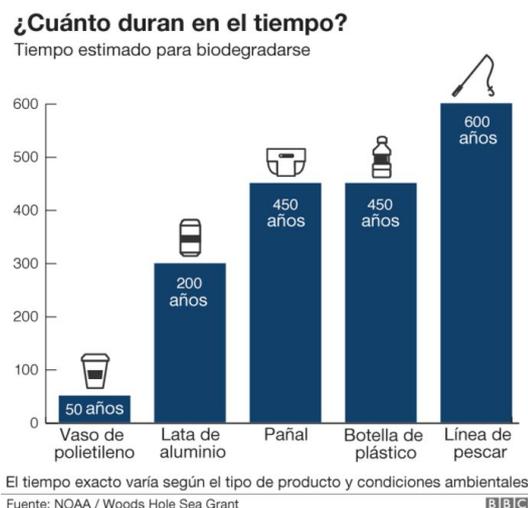


Ilustración 5. Gráfico de años que tardan en biodegradarse varios tipos de productos plásticos.

<https://www.bbc.com/mundo/noticias-42304901>

Pero, ¿por qué el plástico es tan dañino para la vida marina? Las aves marinas y otras criaturas del mar más grandes, como tortugas, delfines y focas se encuentran amenazadas. El peligro surge tanto por la posibilidad de enredarse en bolsas de plástico y otros desechos, lo que imposibilita su desplazamiento y supervivencia; como por el hecho de que estos animales pueden ingerir el plástico, al confundirlo con comida. La ingestión de los plásticos puede llevar a ocasionar desnutrición o inanición para los peces, lo que les provoca en muchas ocasiones la muerte. En concreto, las bolsas de plástico, una vez que se consumen, causan bloqueos internos en el estómago de los animales y generalmente provocan la muerte.

La vida marina no distingue los plásticos de la comida. Además, la ingestión de plásticos por los peces facilita la entrada de estos fragmentos de plástico en la cadena alimenticia. Al alimentarnos de estos peces, los humanos estamos incorporando estos plásticos a nuestra propia alimentación, es decir, nos estamos alimentando de partículas de desechos.

### *Demanda de plásticos:*

Todos estos problemas se agravan cada vez más, ya que la demanda de plástico en la industria se ha ido incrementando exponencialmente en los últimos años.

Si nos centramos en el sector de la construcción, en el año 2015 el sector demandó el 19,7% de los plásticos utilizados y generó unos desperdicios del 5% de los desechos (Ilustración 6).

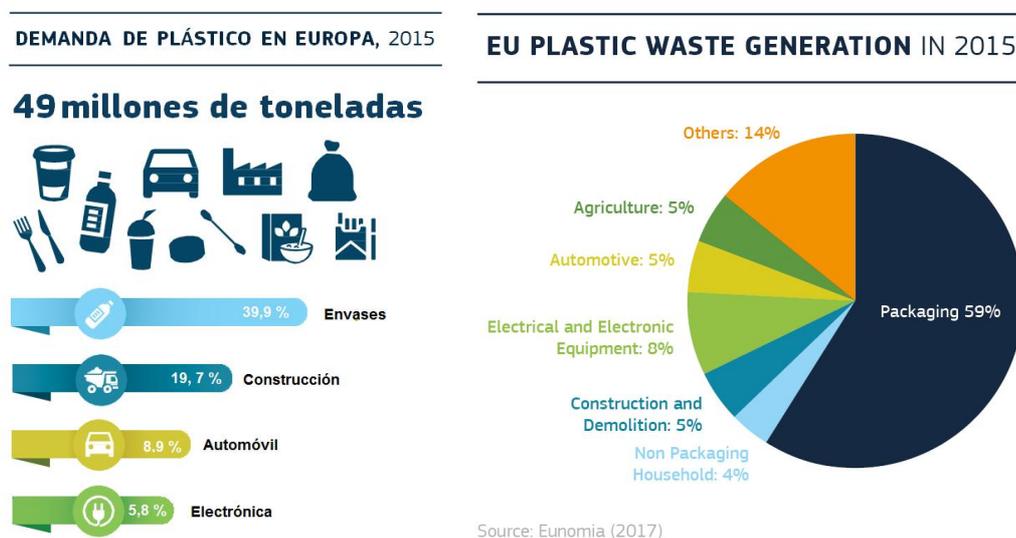


Ilustración 6. Izquierda. Demanda de plástico en Europa en 2015, porcentajes de la European Comisión. Derecha. Gráfico circular de los desperdicios de plástico generados diferentes sectores industriales en 2015. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1516265440535&uri=COM:2018:28:FIN>

Es por tanto un hecho inegable que los plásticos son un material importante en nuestra economía y que la vida diaria moderna es impensable sin ellos. Sin embargo, están ocasionando uno de los problemas más serios del medio ambiente y la salud.

Medidas adoptadas por la Unión Europea:

La Comisión Europea presentó en diciembre de 2015 su Plan de Acción para una economía circular en Europa. Dicho Plan tiene como objetivo señalar las diferentes medidas (hasta un total de 54) sobre las que la Comisión Europea estima que es necesario actuar en los próximos 5 años para avanzar en economía circular.

La idea de la economía circular surge al tomar como ejemplo el modelo cíclico de la naturaleza. La economía circular se fundamenta en un sistema de aprovechamiento de recursos donde lo primordial es la reducción de los productos generados. Para ello intenta minimizar la producción al mínimo indispensable y en el caso de que sea necesario utilizar el producto, apostar por la reutilización de elementos que por sus propiedades no pueden volver al medio ambiente.

La economía circular promueve el uso de la mayor cantidad de materiales biodegradables posibles en la fabricación para que éstos puedan ser devueltos a la naturaleza sin causar daños medioambientales una vez que se termina su vida útil. En los casos que sea necesario utilizar materiales no biodegradables (componentes electrónicos, metálicos o baterías, entre otros) el objetivo será conseguir la fabricación de productos fáciles de

desmontar para que puedan tener una nueva vida y reincorporarlos de nuevo al ciclo de producción para componer una nueva pieza. En el caso en el que no sea posible reutilizar los elementos, se reciclarán de una manera respetuosa con el medio ambiente.

La Unión Europea considera prioritaria la actuación en cinco áreas: los plásticos, el desperdicio alimentario, las materias primas críticas, la construcción y la demolición y la biomasa y productos con base biológica.

La acción sobre los plásticos se identificó como una prioridad en el “Plan de acción para una economía circular”, para ayudar a las empresas y los consumidores europeos a utilizar los recursos de una manera más sostenible.

La primera estrategia europea para plásticos en una economía circular adoptada en enero de 2018 transformará la forma en que los productos plásticos se diseñan, utilizan, producen y reciclan en la Unión Europea (Ilustración 7). Un mejor diseño de los productos de plástico, mayores tasas de reciclaje de residuos de plástico, más y mejores reciclables de calidad ayudarán a impulsar el mercado de los plásticos reciclados. Proporcionará un mayor valor agregado para una industria de plásticos más competitiva y resistente.



Ilustración 7. Logo de la European Commission para promover el reciclaje y la reutilización de los desechos de los envases de plástico. [http://ec.europa.eu/environment/waste/plastic\\_waste.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/plastic_waste.htm)

Esta nueva Normativa Europea forma parte de la transición de Europa hacia una economía circular. También contribuirá a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, los compromisos climáticos globales y los objetivos de la política industrial de la Unión Europea. Esta estrategia ayudará a proteger nuestro medio ambiente, a reducir la basura marina, las emisiones de gases de efecto invernadero y nuestra dependencia de los combustibles fósiles importados. Apoyará patrones de consumo y producción más sostenibles y seguros para los plásticos. Se prevee que esta normativa europea entre en vigor en su totalidad en el año 2030.

## **5. REDUCIR, RECICLAR Y REUTILIZAR LAS BOTELLAS. APLICACIONES.**

Para intentar solucionar los problemas que ocasionan los plásticos de un solo uso, desde hace años se ha venido investigando la posible aplicación de estos materiales de desecho en la construcción. Estas aplicaciones suelen ser enfocadas a países con escasos medios y en zonas donde han sucedido desastres naturales. Pero hoy en día algunos productos se están reutilizando en numerosas iniciativas, entre ellos las botellas de plástico que es el ámbito en el centramos nuestro estudio

Las diferentes aplicaciones de las botellas de plástico PET se clasificarán según los diferentes componentes de una construcción siguiendo las bases de la arquitectura tradicional.

### **5.1 Muros estructurales.**

#### **5.1.1 Botellas rellenas**

Una de las formas más conocidas de la reutilización de las botellas PET es la construcción de muros para viviendas dignas en países con escasos recursos o que se han visto afectadas por algún desastre natural.

Con este tipo de construcción se consigue:

- Reducir la contaminación.
- Una estructura autoportante y resistente.
- Aislamiento del habitáculo en cuestión.
- Reducir los problemas que pueden ocasionar los terremotos, ya que este material es antisísmico.

Para llevar a cabo esta construcción se deben separar por tamaños las botellas que se utilizarán. Es necesario la recogida de botellas junto con su tapón ya que dará mayor resistencia a la construcción. Posteriormente se debe proceder a la eliminación de residuos de las botellas. Una vez se haya reciclado el material se podrá reutilizar el mismo como material de construcción.

Las botellas pueden rellenarse con arena, tierra o desechos de plásticos.

Lo más común es que las botellas estén rellenas de arena recogida en el mismo lugar donde se implantará la construcción.

Sin embargo, la utilización de plásticos de desecho para el relleno supone un incremento en la reutilización de materiales perjudiciales y difíciles de degradar.

La desventaja es que si se rellenan con plásticos el trabajo es algo tedioso, ya que a medida que se va introduciendo el material de desecho en la botella se tienen que ir compactando con algún tipo de herramienta como un palo o el mango de un martillo.



Ilustración 8. Procedimiento para hacer un Ecoladrillo.  
<http://puravidaatitlan.org/images/Manual%20%20Sistema%20Constructivo%20Pura%20Vida.pdf>

Dependiendo de la utilización que se vaya a dar a las botellas se seleccionará el tamaño de las mismas. Este tipo de construcciones requieren utilizar el mismo tipo de botella PET en todo el muro, para que la colocación sea homogénea ya que se utilizará como si fueran ladrillos, que en este caso recibirán el nombre de “Eco-ladrillos”.

Dependiendo del tamaño de la botella que se elija, el relleno será mayor o menor y por tanto las botellas incrementarán o disminuirán su estabilidad y resistencia (Ilustración 9).

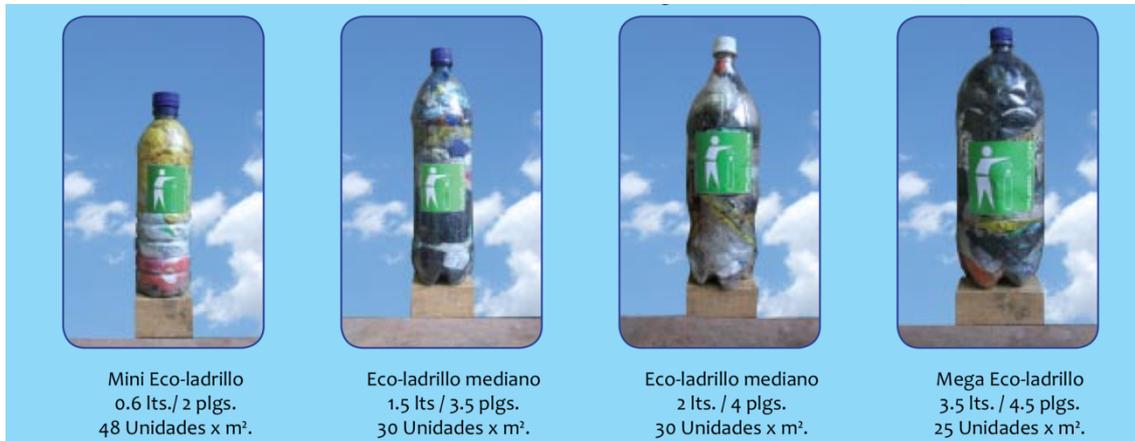


Ilustración 9. Distintos tipos de tamaños de botellas rellenas

<http://puravidaatitlan.org/images/Manual%20%20Sistema%20Constructivo%20Pura%20Vida.pdf>

En el caso de utilizar botellas rellenas de arena o tierra se sigue un orden en la construcción. Los escombros más grandes sirven para hacer la cimentación. Los escombros de tamaño intermedio sirven para el revoque de las paredes. Por último, el material más pequeño (arena o tierra) sirve para rellenar las botellas de los muros.

Para llenar las botellas se introduce el material a través de un embudo y se va aprisionando cada capa hasta llenarla. Cuando la botella está llena no debe presentar abolladuras y al presionarla no se debe hundir ninguna de sus caras laterales.



Ilustración 10. Vivienda circular realizada con botellas de plástico.

<http://puravidaatitlan.org/images/Manual%20%20Sistema%20Constructivo%20Pura%20Vida.pdf>

Cuando las botellas están rellenas se procede a la construcción. Para ello es necesario que la zona donde se va a asentar la vivienda esté nivelada.

Posteriormente se coloca la primera capa de mortero, que es una mezcla a base de arena y cemento. Sobre ella se colocan las botellas hasta obtener la primera hilada. Las botellas de la segunda hilada se colocan en el espacio medio de las botellas de la primera (Ilustración 11).

A medida que se van colocando las botellas se van armando por la cintura con una cuerda para asegurar el trabajo del muro.

Una vez obtenida la altura requerida se procede a rellenar con escombros los espacios vacíos que hay entre las botellas y así nivelar la superficie de las botellas. Al llegar a la altura de puertas y ventanas proyectadas se deben dejar dinteles de madera o metálicos y continuar con el muro hasta obtener la altura requerida.

Como acabados se pueden emplear revoques de tierra, cal o arena-cemento. Dependiendo del tipo de revoque se recomienda emplear pinturas al agua o aceite.



*Ilustración 11. Colocación de botellas recicladas de plástico en hiladas.*

*<http://puravidaatitlan.org/images/Manual%20%20Sistema%20Constructivo%20Pura%20Vida.pdf>*

Este sistema constructivo plantea la construcción como un proceso de integración para la comunidad, que se realiza a través de la autoconstrucción. Para que este proceso pueda ser gestionado se requiere la voluntad de la comunidad de participar en el proceso además de en la selección, recolección y organización de la materia prima para la construcción como las botellas PET, la tierra, la arena, los escombros del lugar y cuerdas de plástico entre otros elementos.

El sistema de construcción tiene características de estabilidad. Los valores de carga máxima resistente a la compresión de las botellas llenas de arena están en el orden de magnitud de las fuerzas resistentes de un ladrillo de arcilla cocido con perforaciones.

Además, muestra ser versátil para ser empleado en diferentes formas y diseños, ya sean muros rectos o curvilíneos.

Este sistema es una buena solución constructiva, aunque con carencias estéticas y de acabado. Posiblemente es esta la razón por la que no se ha divulgado este tipo de construcción en países más desarrollados, pero resulta una opción muy interesante para realizar construcciones de bajo coste y arquitectura de emergencia.

### 5.1.2 Pueblo canadiense. Bocas del Toro. Gaviones

Otra opción para realizar muros con botellas PET es la que se utiliza desde el 2012 en la paradisíaca isla caribeña de Bocas del Toro, en Panamá. El arquitecto Robert Bezeau se encarga de organizar a un grupo de voluntarios en la isla que se dedican a recoger y limpiar las playas de toda la basura que llega desde el mar. Desde el inicio del proyecto, han recogido más de un millón de botellas, con las que han impulsado la creación del primer pueblo construido con botellas de plástico: “Plástic Bottle Village”.

“Plástic Bottle Village” cuenta con 120 edificios de paredes rellenas de botellas de plástico. Esta construcción se lleva a cabo con estructuras de hierro huecas, hechas de ferralla y mallas metálicas, obteniendo así algo similar a un gavión (Ilustración 12). El interior se rellena de botellas de plástico recogidas en sus playas, reduciendo así además la contaminación.

Se obtienen por tanto unos muros ecológicos muy resistentes, pero también ligeros, que son capaces de soportar terremotos, habituales en la zona.

Con estas estructuras modulares de ferralla es fácil la integración en el diseño de las viviendas los huecos pertinentes, como ventanas o accesos.



Ilustración 12. Izquierda y derecha. Sistema de muro creado por malla metálica haciendo las funciones de una especie de gavión. <https://www.elperiodico.com/es/extra/20161110/primer-pueblo-botellas-plastico-5619886>

Bezeau cuenta con un equipo de arquitectos que han diseñado hasta tres modelos de vivienda diferentes en los que integran las instalaciones de fontanería y electricidad en su totalidad.

Una de las ventajas de este tipo de construcción es que el aire es un aislante natural excelente, por lo que al albergar todas esas botellas en sus muros hace que la temperatura interior sea de hasta 17 grados más fría que en el exterior, proporcionando confort a la vivienda.

Los muros, una vez colocados, se revocan con cemento para obtener una superficie lisa y así ocultar el material reciclado (Ilustración 13). Con esto se consigue una imagen mucho más estética llegando a ocultar totalmente el material con el que se construye. El acabado llega a ser como cualquier tipo de vivienda que estemos acostumbrados a ver. Estas viviendas unifamiliares pueden ser dotadas de todo tipo de espacios, como por ejemplo un porche o un patio.

Este tipo de construcción, además de contribuir a la retirada de residuos plásticos y no contribuir al deterioro del medio ambiente, es un sistema rápido y fácil en el que no se requiere una mano de obra demasiado cualificada. Por otro lado, estos gaviones funcionan como un muro estructural, como podría ser una termoarcilla convencional, que da cavida a la integración de otros materiales para completar su construcción y que sea habitable.

Los materiales que pueden integrarse son diversos, desde la colocación de una cubierta a base de chapa u otros materiales con un precio asequible, hasta la colocación de ventanas y todo tipo de acabados de suelos y alicatados para dar un aspecto agradable a la vivienda.



*Ilustración 13. Revoque de cemento para hacer una superficie lisa y darle un acabado a la fachada de la vivienda.*

<https://www.elperiodico.com/es/extra/20161110/primer-pueblo-botellas-plastico-5619886>

Al contemplar únicamente el acabado final de la construcción, es imposible adivinar si los muros están hechos de manera tradicional o con este material reciclado. Quien construya este tipo de viviendas podrá estar orgulloso de haber aprovechado un material que da muy buenas prestaciones pero que en contrapartida es muy perjudicial para el medio ambiente a la hora de desecharlo. Además, Bezeau ha puesto en marcha un centro educativo donde transmite su particular técnica de construcción.



*Ilustración 14. Acabado final de vivienda hecha con gaviones rellenos de botellas PET recicladas.*  
<https://www.elperiodico.com/es/extra/20161110/primer-pueblo-botellas-plastico-5619886>

Según su filosofía: “Vamos a estar viviendo dentro de lo que hemos consumido y tirado. Estas botellas recicladas podrían neutralizar el efecto negativo de su vida en la Tierra y podremos dejar nuestras ‘huellas’ con este gesto de ayuda al planeta.” “Quiero que el mundo se dé cuenta de que podemos reutilizar las botellas de plástico en muchas otras opciones. Además de como aislamiento del hogar, puede servir para hacer refugios temporales tras un desastre natural, granjas para animales, piscinas, drenaje de terrenos, graneros, bodegas, carreteras...” asegura Bezeau (Ilustración 14).

### 5.1.3 ECO Ark en Taiwán

Los dos apartados anteriores hablan del reciclaje y la reutilización de las Botellas PET sin ningún tipo de transformación de las mismas. Estas son empleadas en construcciones muy básicas sin necesidad prácticamente de conocimientos avanzados para su desarrollo. Pero, ¿y si se quiere ir más allá?, ¿se podría reutilizar este material de desecho para una arquitectura más innovadora y de vanguardia?

Pues bien, Arthur Huang, un arquitecto taiwanés, se hizo algunas de estas preguntas y las respondió. Diseñó un edificio ecológico hecho con botellas PET, o lo que él llama “ladrillos ecológicos”.

A Huang le preocupaba la protección ambiental y pensó en la reutilización de las botellas PET. Esta idea se le ocurrió al apreciar que había un gran número de ellas en el salón de reuniones de su estudio. Hay tecnología suficiente y equipos muy avanzados para convertir las basuras en materiales útiles y él se ha aprovechado de ello.

De esta manera desarrolló un edificio llamado EcoARK, por el nombre de la empresa Far Eastern, patrocinadora de este pabellón de la Feria Flora Taipei 2010. Es el primer edificio construido con paredes exteriores con botellas de agua elaboradas en plástico.

Este edificio tiene 2.186 metros cuadrados y su punto más alto llega a los 28 metros de altura. Una botella PET al uso es estructuralmente débil, pero ¿qué pasa si se unen? Tras varios intentos este arquitecto creó un bloque de botellas, de forma hexagonal, de 30 centímetros de largo y 17 de ancho, con lados alternadamente cóncavos o convexos para que se trabaran en formas más grandes y estables (Ilustración 15). Se inspira en los juegos Lego y las colmenas de abejas.



Ilustración 15. Detalle de los ladrillos ecológicos diseñados por Arthur Huang, [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladadas?ad\\_medium=gallery](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladadas?ad_medium=gallery)

El proceso de producción de los bloques de botellas tiene varias etapas: las botellas PET recicladas se lavan, se trituran hasta formar escamas y posteriormente se derriten para formar bolas o ladrillos de material procesado.

Las botellas que se utilizan para la construcción no necesitan tantos procesos de lavado, limpieza y pureza como se necesitan para fabricar productos textiles como la ropa. La fabricación de materiales para la construcción conlleva menos tiempo y precisa menos cantidad de agua, por lo tanto, el coste de proceso es menor.



*Ilustración 16. Izquierda. Vista interior del edificio de Arthur Huang en Taiwán con ladrillos ecológicos. Derecha. Vista exterior del edificio de Arthur Huang en Taiwán con ladrillos ecológicos.*  
[https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladas?ad\\_medium=gallery](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladas?ad_medium=gallery)

Para la edificación, Huang opta por dejar las botellas vacías. El aire es el mejor aislante natural y deja pasar la luz, reduciendo la necesidad de emplear iluminación artificial.

Así pues, da lugar a un edificio totalmente vanguardista y con tecnología punta que, al haber sido construido reutilizando las botellas de desecho y obteniendo un nuevo producto, contribuye a la mejora del medio ambiente (Ilustración 17).



*Ilustración 17. Vista exterior del edificio de Arthur Huang en Taiwán con ladrillos ecológicos.*  
[https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladas?ad\\_medium=gallery](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladas?ad_medium=gallery)

## 5.2 Cubiertas

### 5.2.1 Tejas de botellas

La cubierta es otro elemento constructivo fundamental e indispensable en una vivienda. ¿Por qué no darle una solución también en la que poder integrar las botellas de plástico PET?

El constructor canadiense Donald Thomson ha decidido luchar contra el consumo y desecho masivo de PET, por lo que ha emprendido un nuevo negocio en el que busca comercializar el agua embotellada, que tanto daño hace a nuestro planeta, pero dentro de un recipiente optimizado para su recuperación y reutilización en tejados asequibles para la industria de la construcción, con la confección de tejas plásticas “low cost”.



Ilustración 18. Botellas de la marca A'Gua diseñada para la reutilización en tejados.

<https://www.expoknews.com/este-hombre-odia-las-botellas-de-plastico-asi-que-las-fabrica/>

Diseña una botella de aspecto rectangular, que se asemeja a un ladrillo tradicional (Ilustración 18). Una vez desechada, la botella se rellena con una mezcla de arena y residuos de papel teñido para darle un acabado similar al de las tejas cerámicas (Ilustración 19). Para obtener como resultado este diseño único, Thomson y su equipo trabajaron de manera invertida, es decir, fue su primera teja fabricada con botellas desechadas de PET lo que definió las cualidades que la nueva botella debía cumplir para ser fácilmente reutilizable.



Ilustración 19. Botellas de la marca A'Gua rellena para conseguir el acabado final.

<https://www.expoknews.com/este-hombre-odia-las-botellas-de-plastico-asi-que-las-fabrica/>

Como resultado, la nueva botella resultó tener una forma distinta y llamativa para el consumidor. Es la primera botella comercializada en un recipiente diseñado para ser reutilizado en lugar de fabricarse con un único fin. De esta manera se consigue dar una segunda vida a estas botellas durante aproximadamente 50 años más.



Ilustración 20. Botellas de la marca A'Gua rellena para conseguir el acabado final. Forma de sujetarlas para darle la inclinación necesaria para los tejados. <https://blogthinkbig.com/botella-agua-reciclable-servir-tras-uso-elemento-construccion>

Gracias a la nueva forma de la botella, cuando está vacía se aplana y se alinean unas con otras formando filas superpuestas, obteniendo así un conjunto muy similar al sistema constructivo empleado en la construcción de tejados con tejas planas cerámicas o de pizarra (Ilustración 20).

Además, sus propiedades resistentes y estabilidad a la intemperie convierten a esta botella en un candidato ideal para ser utilizado como elemento de acabado y revestimiento en construcción.

Este nuevo formato de botella permite ser aplanado de forma manual. La botella, a parte de ser rellena como anteriormente explicaba de un material con un fin decorativo, puede alojar en la pequeña cámara de aire que queda al aplastarla un material aislante acústico y/o térmico en forma de espuma de poliuretano y otros materiales para así darle un mayor rendimiento.

Para resolver el proceso de aplastamiento de las botellas de forma óptima para poder luego apilarlas de forma correcta, los responsables del proyecto, con la colaboración de los estudiantes de ingeniería de la Universidad de Seattle, han desarrollado una pequeña prensa manual que permite obtener una teja plástica de PET perfecta con un simple movimiento.

La empresa fabrica una media de 400 botellas a la hora, pero espera ampliar su línea de producción para cubrir una mayor demanda y poder llegar a más sitios con este nuevo formato de botella reutilizable. Con este sistema, Donald Thomson espera dar una segunda vida a estos envases, tras ser desechados, que vaya más allá del mero reciclaje de la materia prima e inspire la construcción sostenible con un elemento constructivo low cost.

### 5.2.2-Malla y tela con botellas sin plegar

Además de un material meramente reutilizado para la construcción tradicional, también son muchas las iniciativas de decoración o de integración en el mobiliario urbano que se han llevado a cabo con las botellas PET.

Es el caso del proyecto The Cola-Bow. Es una instalación pública de arte realizada con más de 17.000 botellas de plástico recicladas, las cuales fueron trenzadas y sujetas con una malla cuadrada y con el tapón de la misma botella (Ilustración 21).



Ilustración 21. Botellas de una misma marca sujetadas con una malla cuadrada para crear una cubierta. <https://www.creativespotting.com/2015/03/upcycled-coca-cola-plastic-bottle-pavilion/>

Esta malla generada con botellas de plástico, junto con una subestructura metálica, genera una forma inspirada en las curvas del logo de Coca-Cola, que permite pasar por debajo de ella (Ilustración 22).

Diseñada para la segunda Exposición de la Creación de la Universidad de Beijing, la instalación pretende servir también como una declaración en contra de la contaminación generada por los plásticos, tomando las botellas desechadas para convertirlas en un refugio.

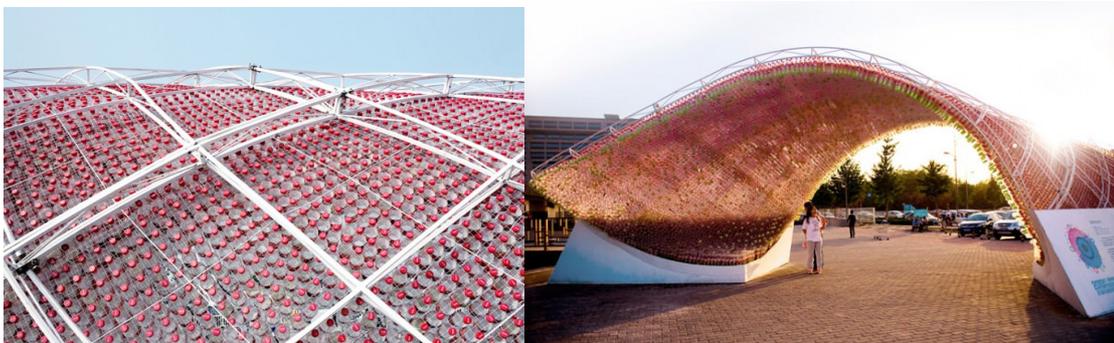


Ilustración 22. Izquierda. Subestructura metálica. Derecha. Acabado final de la cubierta decorativa con botellas de plástico. <https://www.creativespotting.com/2015/03/upcycled-coca-cola-plastic-bottle-pavilion/>

En la misma línea de montaje y de diseño también se encuentra el arquitecto Johl Jozwiak Ruppel, de Berlín. Diseña como espacio una estructura circular generada con un cono y la apilación de botellas de plástico PET (Ilustración 23).



Ilustración 23. Izquierda. Acabado final de la estructura de botellas. Derecha. Botellas recicladas de plástico PET. <https://buildingskins.wordpress.com/category/plastics-etfe/a-summer-space/>

Para proteger el interior del viento y la lluvia y para garantizar la estabilidad estructural, se integró una película de material transparente y se unió entre la cabeza de la botella y el tapón roscado (Ilustración 24). Este sistema de montaje es similar al anterior y ambos son muy sencillos de ejecutar.

En total en la construcción se emplearon tres mil botellas a través de esa película transparente.

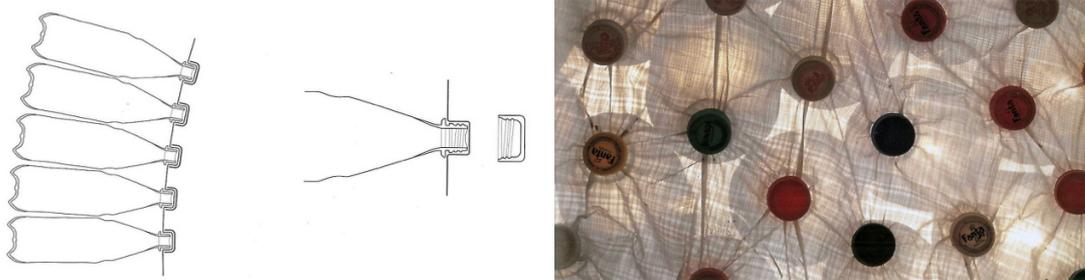


Ilustración 24. Izquierda. Metodo de montaje de la estructura enroscado con el tapón a la malla transparente. Derecha. Detalle de montaje final. <https://buildingskins.wordpress.com/category/plastics-etfe/a-summer-space/>

Este tipo de iniciativas quizá parecen meramente anecdóticas, pero sirven de reflexión y estudio para posibles futuras propuestas, además de intentar una concienciación social sobre el problema del consumo de los plásticos y empezar a jugar con la imaginación para integrar la reutilización de las botellas PET en otro tipo de usos.

### 5.3 Cúpulas geodésicas y pabellones

Siguiendo las líneas de la estructura anterior, encontramos toda una vertiente de estructuras que son las cúpulas geodésicas, también realizadas con botellas PET. Hay diferentes formas de montaje, aunque todas ellas parten de una misma estructura que es la triangulación.

Una cúpula geodésica es una cúpula semiesférica, compuesta por la unión de elementos poligonales contruidos con material ligero, que permite techar espacios amplios sin utilizar soportes. Se puede montar, por tanto, una cúpula geodésica a partir de botellas de plástico.

#### Proyecto “Toys form Trash:

Ron Aarons, arquitecto, crea una versión del famoso juego de montaje de piezas magnéticas, pero con botellas recicladas (Ilustración 25). Su proyecto se llama “Toys form Trash” y consiste en reutilizar artículos de plástico para realizar estructuras geodésicas como forma de juego para los niños.

La estructura se lleva a cabo por la unión de dos botellas de plástico a través de la base de la botella. En los extremos de la unión quedan por tanto los tapones enroscados. Estos tapones se irán uniendo a una pelota de tenis que sirve de nodo. La estructura del domo geodésico, puede ser construida por niños desde seis años de edad.

Aarons sostiene que es importante enseñarles a los niños sobre la eliminación y el reciclaje responsable de residuos plásticos desde una edad temprana. Además, es una forma divertida de enseñarles acerca del diseño arquitectónico y que el diseño esté dirigido hacia la sostenibilidad. Aarons espera que proyectos como este ayuden a la concienciación social.



Ilustración 25. Arriba. Detalle de unión de las botellas de plástico con la pelota de tenis. Abajo. Acabado final de la cúpula geodésica diseñada por Ron Aarons. <https://www.hometowndumpsterrental.com/blog/toys-from-trash-teaches-kids-about->

Proyecto “Tubotella”:

En esta misma línea, unos estudiantes peruanos, de la Universidad Católica Pontificia de Perú, desarrollan un proyecto llamado “Tubotella” (Ilustración 26). Diseñan una cúpula geodésica hecha con botellas de plástico PET. En este caso transforman el envase de plástico en una pieza estructural que, junto con otros materiales, logra ser una estructura muy resistente.



Ilustración 26. Cúpula geodésica diseñada por alumnos peruanos de la Universidad Católica Pontificia. [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad\\_medium=widget&ad\\_name=recommendation](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad_medium=widget&ad_name=recommendation)

Las botellas recicladas se cortan por ambos extremos creando una lámina de plástico y se enrolla formando un tubo mucho más compacto y resistente. Este tubo se forma con la unión de varios de ellos unidos a través de los tapones de las botellas. Una vez se tiene el elemento principal, se tiene que unir en el centro formando una especie de estrella y luego dando lugar a un pentágono. Las uniones se hacen con los tapones de las botellas y las bases de las botellas, junto con la ayuda de unos pasadores de tornillos para que quede bien sujeto (Ilustración 27).

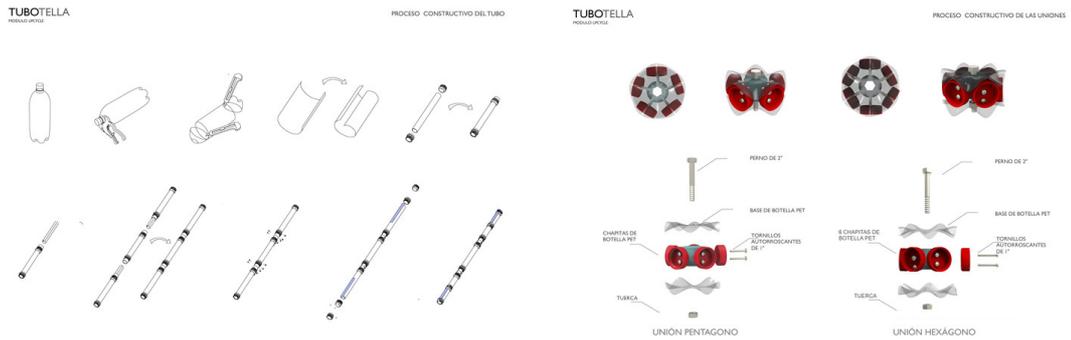


Ilustración 27. Izquierda. Proceso de montaje de los tubos hechos con botellas recicladas de plástico PET. Derecha. Proceso de montaje del nudo que une todos los tubos reciclados para dar rigidez a la estructura. [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad\\_medium=widget&ad\\_name=recommendation](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad_medium=widget&ad_name=recommendation)

Una vez montados los pentágonos, se procede al montaje de la cúpula geodésica uniendo unos pentágonos con otros mediante la misma unión anterior. Además, este proyecto de “Tubotella” utiliza los envases de Tetrabrick como solución para el cerramiento de la cúpula y darle así una protección al viento y el agua. Es increíble como con un poco de ingenio se puede incrementar la resistencia de un material, como pasa en este caso al enrollar el plástico de las botellas.

La creación de estas estructuras tiene múltiples funciones. Este tipo de cúpulas se pueden utilizar para el estudio de los polígonos y el comportamiento de estos en una estructura como las cúpulas geodésicas. También se pueden utilizar para crear espacios en una exposición itinerante en algún museo o incluso en la calle. Además, pueden fabricarse en zonas que han sufrido desastres naturales, junto con una cubierta, para que el espacio sea habitable y que no deje pasar el viento ni el agua. Son una forma sencilla y barata de crear un espacio donde resguardarse (Ilustración 28).

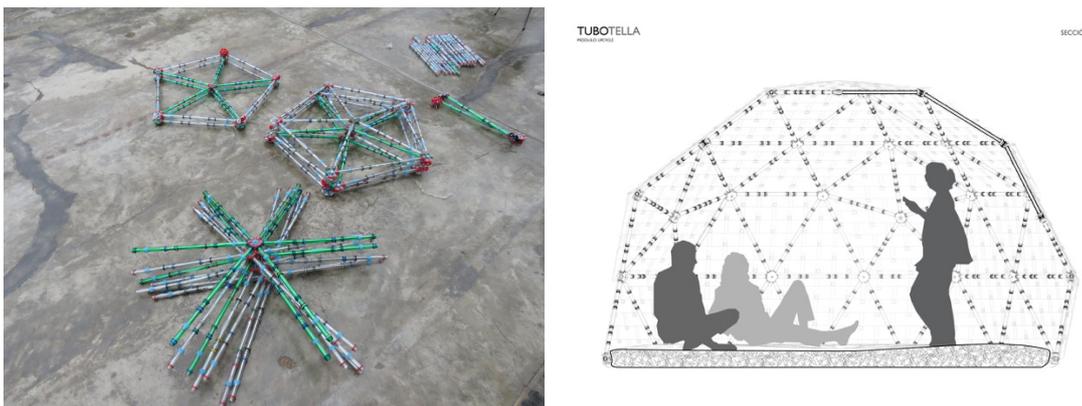


Ilustración 28. Izquierda. Pieza en forma de pentágono. Derecha. Imagen final de cómo queda esa cúpula con las piezas diseñadas. [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad\\_medium=widget&ad\\_name=recommendation](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad_medium=widget&ad_name=recommendation)

Proyecto “Rising Moon”:

Por otro lado, existen otro tipo de cúpulas mucho más vanguardistas, como la “rising moon” (Ilustración 29). El estudio Daydreamers Design realizó “Rising Moon”, una cúpula geodésica luminosa creada para el festival “Lantern Wonderlad 2013”. Es una instalación artística, semiesférica, hecha de botellas de plástico recicladas y LEDs, que ilumina el paisaje urbano de Hong Kong.



Ilustración 29. Izquierda. Acabado final de la cúpula geodésica Rising Moon en Hong Kong. Derecha. Entrada a la cúpula de botellas recicladas de plástico. <http://www.morethangreen.es/rising-moon-pabellon-de-luz-hecho-de-botellas-recicladas/>

La estructura cuenta con 4.800 botellas de agua que actúan individualmente y están ancladas a módulos triangulares prefabricados y ensamblados, que forman un pabellón. Además, en el interior del pabellón cuelgan del techo 2.300 botellas luminosas, en una formación ondulante. Una abertura en la corona de la esfera permite que la luz de la luna pase al interior, iluminando tanto el espacio interno como la piscina sobre la que se sitúa la cúpula.

En este caso, las botellas utilizadas son los bidones de agua que se utilizan en las fuentes dispensadoras de agua, en lugar de las habituales botellas de uso individual (Ilustración 30). Este proyecto demuestra que estas botellas, a pesar de tener un mayor tamaño, también pueden ser reutilizadas para la construcción.

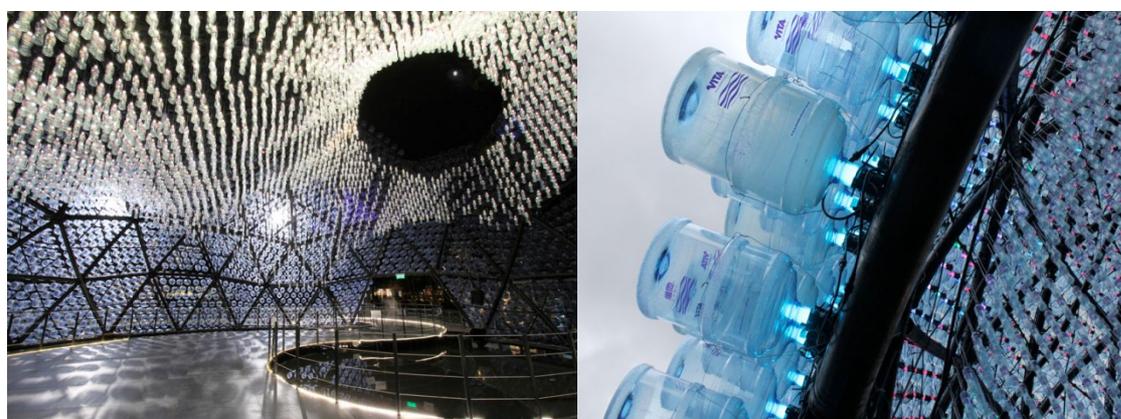


Ilustración 30. Izquierda. Acabado final de la cúpula geodésica Rising Moon en Hong Kong en su interior. Derecha. Detalle de botellas recicladas de plástico. <http://www.morethangreen.es/rising-moon-pabellon-de-luz-hecho-de-botellas-recicladas/>

#### 5.4 Sistemas triangulares estructurales. Trussfab: vigas con nodo estructuralmente sólido

Las estructuras triangulares son unas de las más resistentes. A partir de este polígono se ha creado “TrussFab”.

TrussFab es un “plugin” para SketchUp, un modelador 3d, que permite diseñar estructuras a gran escala que sean lo suficientemente resistentes como para soportar el peso humano (Ilustración 31). TrussFab logra una construcción a gran escala al combinar el uso de botellas de plástico recicladas con la impresión de piezas 3d que sirven de unión entre las botellas.

Este plugin ha sido diseñado para considerar las botellas no como ladrillos, como se ha visto en los apartados anteriores, sino como vigas. Estas vigas forman estructuras de enlace de nodo, estructuralmente sólidas, también conocidas como “trusses”.

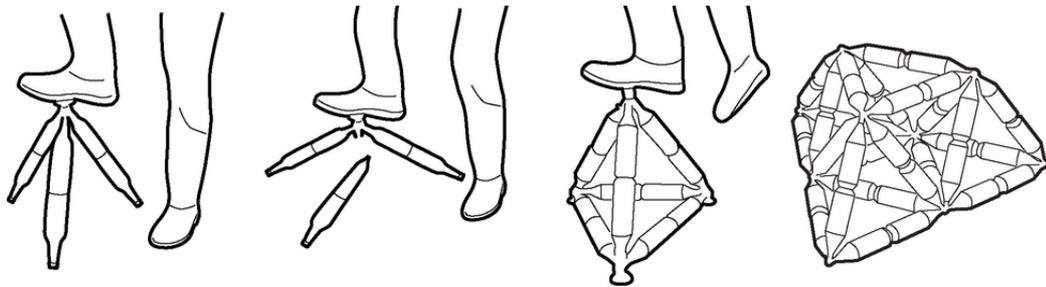


Ilustración 31. Prueba de peso humano en las estructuras TrussFab.  
<https://hpi.de/en/baudisch/projects/trussfab.html>

Las botellas independientes tienden a romperse. Sin embargo, las estructuras de “trusses” consistentes básicamente en triángulos, convierten las fuerzas laterales, momentos flectores, en fuerzas de tensión y compresión a lo largo de los bordes. Las botellas, colocadas de esta manera, se vuelven muy fuertes y por tanto trabajan muy bien cuando se las empuja o se tira de ellas a lo largo de su eje principal. En tal posición, es la estructura la que evita la deformación, no la botella individual (Ilustración 32).

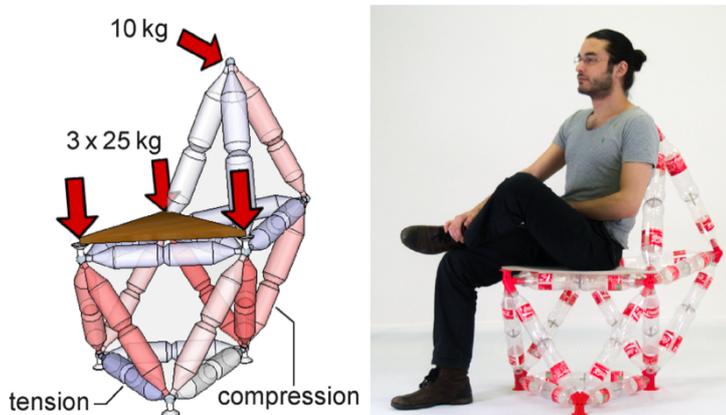


Ilustración 32. Izquierda. Diagrama de tensiones que intervienen en las estructuras TrussFab. Derecha. Silla de botellas de plástico recicladas utilizando la herramienta TrussFab.  
<https://hpi.de/en/baudisch/projects/trussfab.html>



Ilustración 33. Izquierda. Unión de las estructuras diseñado con impresora 3D. Derecha. Estructura de botellas de plástico recicladas y nodos. <https://hpi.de/en/baudisch/projects/trussfab.html>

TrussFab proporciona un sistema de construcción mediante la combinación de tetraedros y octaedros en las llamadas estructuras tetraedricas de nido de abeja. Se lleva a cabo mediante la combinación de las botellas de plástico recicladas y nodos diseñados en la impresora 3D (Ilustración 33).

Con este “plugin” para SkechUp, una impresora 3D y los materiales necesarios, cualquiera puede diseñar y fabricar una estructura a gran escala capaz de soportar el peso humano. Una vez se ha creado la estructura principal del armazón, se pueden agregar fachadas decorativas y otros detalles (Ilustración 34).

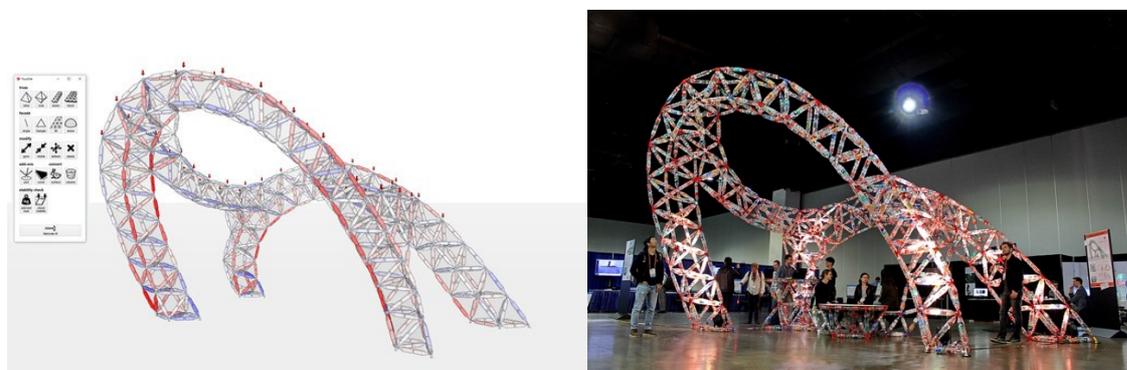


Ilustración 34. Izquierda. Diseño de estructura TrussFab en modelador SketchUp. Derecha. Acabado final de la estructura. <https://hpi.de/en/baudisch/projects/trussfab.html>

El proceso de montaje es muy sencillo: se cogen dos botellas de plástico recicladas y con un tornillo de espiga (tornillo de doble cara) se atornillan las dos botellas por sus bases para unir las (Ilustración 35). Para que no se mueva la unión y la estructura quede estable se requieren botellas rígidas.

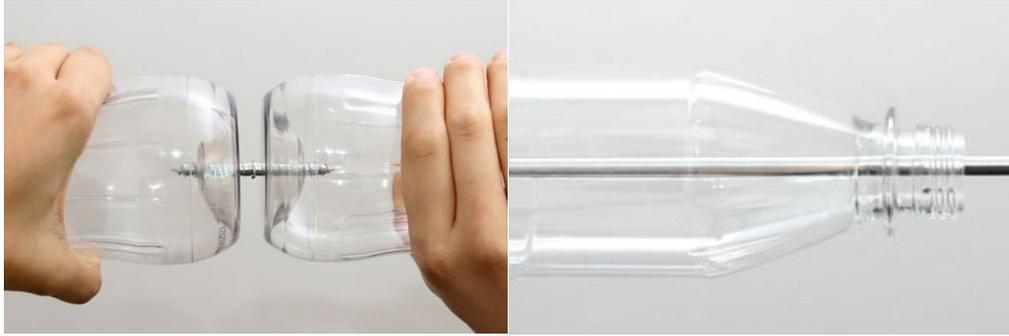


Ilustración 35. Izquierda. Derecha. Unión de las dos botellas mediante tornillo de doble cara.  
<https://www.instructables.com/id/How-to-Connect-PET-Bottles-for-TrussFab-Structures/>

Una vez estén unidas las dos botellas se generan las barras principales de la estructura. Se encajan estas barras unas con otras mediante el nodo impreso en 3D y el tapón de las mismas botellas. De esta manera se van generando los tetraedros diseñados con anterioridad. Además de los nudos han diseñado otras piezas para el apoyo de la estructura en el suelo.

Podemos generar con este sistema estructuras como vigas, que son capaces de resistir mucho peso, como se aprecia en la (Ilustración 36). Este sistema de diseño es un gran avance, pudiéndose construir de esta manera mobiliario, estructuras de tipo puente, o espacios itinerantes para exposiciones, entre muchas de sus aplicaciones.



Ilustración 36. Izquierda. Impresora 3D y mobiliario. Derecha. Estructura hecha con unión TrussFab.  
<https://www.instructables.com/id/How-to-Connect-PET-Bottles-for-TrussFab-Structures/>

## 5.5 Sistemas de instalaciones

Como último punto de análisis no podían faltar los sistemas de instalaciones. Estos tienen un papel fundamental a la hora de hablar de construcción y son esenciales para el funcionamiento de un edificio. Puede parecer descabellada la idea de llevar a cabo sistemas de instalaciones con botellas recicladas PET, pero también es posible.

### 5.5.1-Aire acondicionado

En la mayoría de viviendas hoy en día se instala algún sistema de aire acondicionado. Este tipo de instalación es costosa y no todo el mundo puede adquirirla. En Bangladesh, un grupo de ingenieros ha desarrollado un aire acondicionado casero 100% ecológico, que no necesita electricidad para funcionar.

Bangladesh está sometido regularmente a épocas de mucho calor, de hasta 45°, y la población sufre enormemente estas elevadas temperaturas. Además, estas temperaturas se ven incrementadas en muchos casos, ya que una gran proporción de las casas están construidas con chapa.

“Eco Cooler” (Ilustración 37), nombre del invento, ha sido diseñado por Grameen Intel Social Business, una empresa que trabaja para encontrar soluciones tecnológicas que puedan estar disponibles para toda la población. La idea es simple, pero a la vez muy ambiciosa: desarrollar un aire acondicionado realizado con materiales de bajo coste, a ser posible reciclados y accesibles para la población, eficiente y fácil de construir. Eco Cooler cumple con todas estas condiciones.

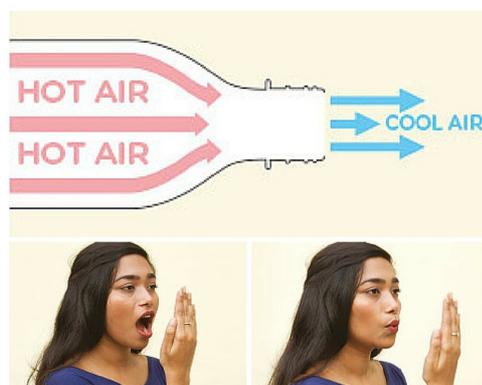


Ilustración 37. Esquema de funcionamiento del Eco Cooler. <https://muhimu.es/medio-ambiente/eco-cooler/>

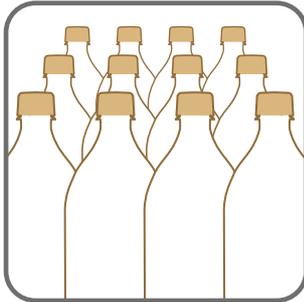
Eco Cooler se basa en un principio muy básico para bajar la temperatura del aire. Cuando una fuente de aire acelera su velocidad, para pasar de un espacio amplio a un espacio pequeño, se enfría. Esto se puede comprobar de una forma sencilla: sopla a tu mano con la boca bien abierta, sentirás el aire caliente saliendo de tu cuerpo. Después haz el mismo ejercicio con la boca casi cerrada. Al aumentar la velocidad para poder pasar por un espacio más pequeño, sientes que el aire se ha enfriado. Eco Cooler simplemente versiona este sistema de enfriamiento a través de la diferencia de presión.



AN INITIATIVE BY THE EMPLOYEES OF  
**Grameen Intel**  
 Social Business Ltd.

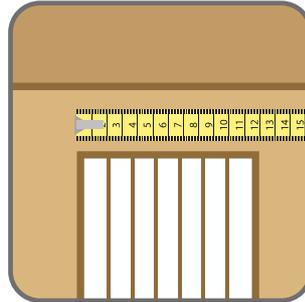
# HOW TO MAKE YOUR OWN ECO-COOLER

Eco-Coolers can help reduce temperatures in tin huts. Ensure to choose the window with the best wind flow for installing the Eco-Cooler. Follow the simple steps shown below to make your own Eco-Cooler.



## STEP 1

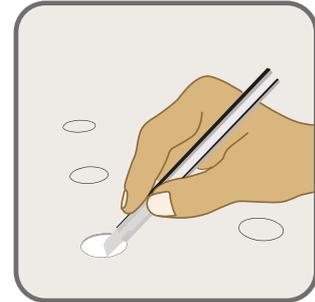
Gather as many used soft-drink and water bottles. The bigger the size difference between the body and the rim of the bottle, the better.



## STEP 2

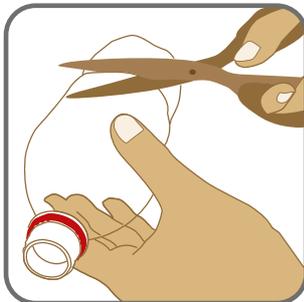
Measure the window you want to make the Eco-Cooler for. And cut a sturdy 2mm medium density board or similar sturdy board in the same size.

Make sure to keep at least half an inch flushed around all the sides. This will ensure you have the perfect sized Eco-Cooler.



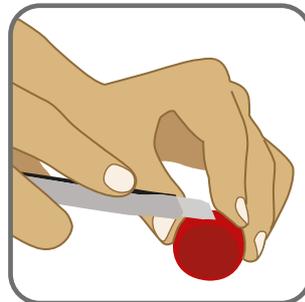
## STEP 3

Cut holes in the board according to the measurement of the rim of the bottle. Make sure the cuts are spaced out according to the body size of the bottles.



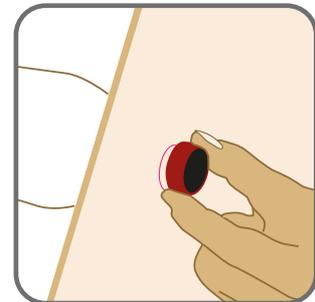
## STEP 4

Using a pair of scissors, cut the bottle in half - along the body of the bottle.



## STEP 5

Cut away the top of the bottle cap. This will help fix the bottle into the board.



## STEP 6

Pushing the cut bottle from the outer side of the board, twist the cap from the inner side and tighten it, to keep the bottle in its place.

Repeat for the remaining bottles and fix the Eco-Cooler from the outer side of the window.

A SCALE DRAWING IS ALSO AVAILABLE WITH THIS PDF FOR 2000ML BOTTLES

Share your Eco-Cooler stories on [www.facebook.com/gisbl](http://www.facebook.com/gisbl) | Visit [www.eco-cooler.com](http://www.eco-cooler.com) for more information

Ilustración 38. Pasos a seguir para fabricar un aire acondicionado, Eco Cooler. <https://muhimu.es/medio-ambiente/eco-cooler/>

Para su construcción se han de seguir los siguientes pasos (Ilustración 38):

-Paso 1: Se reúne la mayor cantidad de botellas de agua y refrescos usados. Cuanto mayor sea la diferencia de tamaño entre el cuerpo y la boca de la botella su funcionamiento será mejor.

-Paso 2: Se mide la ventana para la que desea crear el Eco Cooler. Se corta una tabla robusta de densidad media de 2 mm o una placa resistente similar del mismo tamaño.

-Paso 3: Se cortan los agujeros en el tablero según la medida del borde de la botella. Hay que asegurarse de que los cortes estén espaciados de acuerdo con el tamaño del cuerpo de las botellas.

-Paso 4: Usando unas tijeras, se corta la botella por la mitad, a lo largo del cuerpo de la misma.

-Paso 5: Se corta la parte superior de la tapa de la botella, esto ayudará a fijar la botella en el tablero y a que el aire pueda entrar.

-Paso 6: Empujando la botella cortada desde el lado exterior de la tabla, se gira la tapa desde el lado interno y se aprieta para mantener la botella en su lugar. Se repiten los pasos para las botellas restantes y se adecúa la forma del Eco Cooler al lado externo de la ventana (Ilustración 39).



Ilustración 39. Izquierda. Logotipo de la marca que diseña este sistema, el ECO Cooler. Derecha. Acabado final y colocación del sistema de aire acondicionado ECO Cooler. <https://muhimu.es/medio-ambiente/eco-cooler/>

De esta manera tan sencilla, sostenible y sin necesidad de electricidad se acerca a todo el mundo la posibilidad de tener en su vivienda una fuente de aire frío y que la habitabilidad de algunos lugares se haga más llevadera.

### 5.5.2-Calentador solar

Si en el apartado anterior se explica la manera de refrigerar una vivienda, en este nos centraremos en cómo llevar a cabo un calentador solar hecho con botellas recicladas de plástico PET.

Construir un calentador solar de bajo coste con material reciclado no es muy difícil. Además, es especialmente útil para quienes necesiten ahorrar dinero en bombonas de gas o que usen leña para calentar agua.

La idea consiste en aprovechar la energía solar, que no tiene coste, utilizando botellas PET de plástico recicladas. La botella de plástico simula un pequeño invernadero. Se pasa por dentro de cada botella una manguera de polietileno. De esta manera, el calor que queda atrapado en la botella, que luego es absorbido por la manguera, se transfiere al agua y así puede calentarla (Ilustración 40).

De esta manera, se puede construir un sistema para calentar agua, para uso sanitario, con energía totalmente renovable. Se estima que una familia tipo, de cuatro personas, utiliza aproximadamente 80 litros de agua caliente por día en la cocina y en el baño. Este sistema permite ser construido de mayor o menor tamaño conforme a la capacidad de agua requerida por los usuarios. Hay que tener en cuenta que cuanto más grande sea la instalación, de más abastecimiento de agua caliente se dispondrá, pero requerirá una mayor estructura para su soporte en la cubierta.

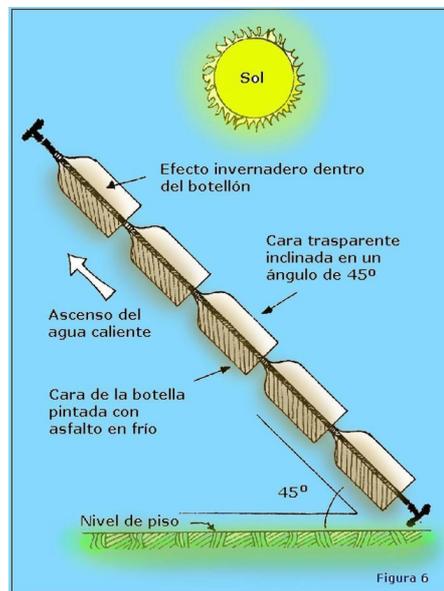


Ilustración 40. Esquema de funcionamiento del calentador solar con botellas de plástico recicladas. <http://papascreativas.blogspot.com/2015/08/como-construir-un-calentador-solar.html>

Para construir un calentador solar hay que llevar a cabo los siguientes pasos:

-Paso 1: Recolectar al menos 30 botellas reutilizadas de un litro y medio, todas iguales y quitarles la etiqueta.

-Paso 2: Comprar una manguera de polietileno de color negro y uniones “T” y codos, un rollo de teflón y dos llaves esféricas.

-Paso 3: Disponer de un taladro eléctrico y una mecha de copa.

-Paso 4: Se hace un orificio en la base de cada botella, igual al diámetro del orificio que tienen la botella en la zona de la boca. Una vez hechos los orificios en todas las botellas, se deben cortar tramos de dos metros de manguera negra de polietileno. A continuación, se une una botella con otra, insertando el cuello de una en el orificio perforada en la base de la otra, para formar una columna de seis botellas, y luego se introduce una sección de manguera de 2 metros dentro de la misma. Se repiten estos pasos en función del tamaño que se quiera conseguir y se dispone de una especie de “parrilla”, que se termina de armar poniendo los codos en los extremos y uniones “T” en el medio. Se arma así el colector del calentador solar (Ilustración 41).

-Paso 5: Se coloca la “parrilla” al sol, en la cubierta que se disponga y así quedará de manera inclinada. Después se introduce agua por la parte inferior. Al cabo de 15 minutos de exposición a los rayos del sol, sale agua por la parte superior a unos 45 o 50 grados, lista para su uso. Esto se produce por un principio físico llamado termosifón.

-Paso 6: Se puede añadir al circuito un bidón para guardar el agua caliente y poder así utilizarla en otro momento.



Ilustración 41. Izquierda. Proceso de montaje del calentador solar. Derecha. Acabado final del calentador solar realizado con botellas de plástico reutilizadas. <http://papascreativas.blogspot.com/2015/08/como-construir-un-calentador-solar.html>

### 5.5.3-Pared recolectora de agua

En el apartado anterior se explica un sistema para obtener agua caliente sanitaria. En este punto se intenta dar solución a otro problema importante en muchos países subdesarrollados, que es la obtención de agua potable. El agua potable es un bien indispensable para sobrevivir y que en numerosos países escasea.

“Ekomuro H2O” es un sistema de Recuperación de Agua de lluvia de fácil construcción. Una idea ingeniosa que combina el reciclado de botellas de plástico junto con la reutilización de aguas pluviales.

El sistema “Ekomuro H2O” fue creado por Ricardo Alba, arquitecto de origen colombiano, junto con sus hijos Ricardo y Jessica. Fue un proyecto para solucionar dos grandes problemas: la gran cantidad de botellas de plástico que se desechan y la gran falta de agua de su zona de origen.

Este sistema ha sido finalista regional en la Feria de la Ciencia de Google 2012, nominado al premio Science in Action de la revista Scientific American y candidato al premio “El agua, fuente de vida de ONU Agua 2014,” entre otros reconocimientos a escala mundial.

En la actualidad, “Ekomuro H2O” se ha instalado en diez escuelas de Bogotá (Colombia), y se ha replicado en otros países de la región como Brasil, Chile, Guatemala y Honduras.

El sistema “Ekomuro H2O” está formado por 54 botellas de plástico PET de 2 litros. Estas botellas se conectan entre sí y forman una estructura que se convierte en depósito. Es una estructura resistente y ocupa un espacio reducido, lo que hace que se pueda instalar en cualquier tipo de construcción.

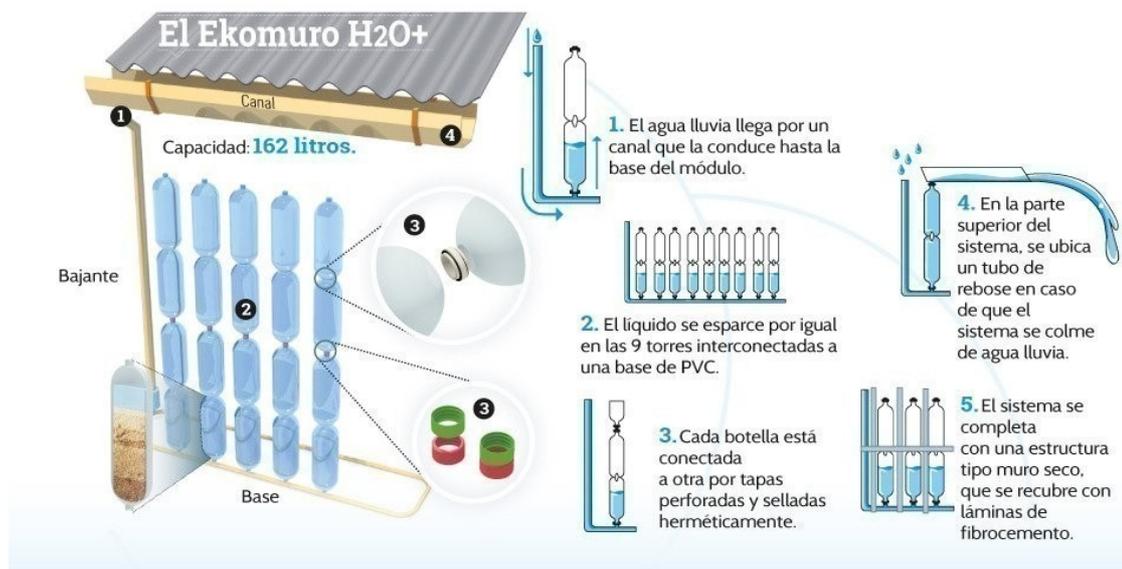


Ilustración 42. Sistema de canalización del agua para el funcionamiento del Ekomuro H2O. <https://www.bioguia.com/notas/como-construir-una-pared-recolectora-de-agua-de-lluvia-con-botellas-de-plastico>

El funcionamiento de esta instalación es sencillo. El agua de lluvia se recoge en la cubierta del edificio y se canaliza a través de una bajante que está conectada con el “Ekomuro H2O”. El depósito, que está formado por la cadena de botellas recicladas, se llena de abajo hacia arriba progresivamente creando un depósito de agua. Al final de todo este circuito de botellas de plástico recicladas se instala un filtro purificador de agua casero, para potabilizar el agua y garantizar su seguridad para el consumo. Finalmente se instala un grifo por el que se puede recoger agua potable (Ilustración 43).



Ilustración 43. Izquierda. Acabado final del Ekomuro H2O. Derecha. Sistema de filtro purificador para potabilizar el agua. <https://www.bioguia.com/notas/como-construir-una-pared-recolectora-de-agua-de-lluvia-con-botellas-de-plastico>

Este sistema de instalación de “Ekomuro H2O” es un gran avance para zonas en las que escasea o es inexistente el agua potable. Con materiales reutilizados y otros de bajo coste se puede llegar a solucionar un problema muy grande.

### 5.5.4-Iluminación

Por último, no puede faltar en una instalación un sistema de iluminación. Muchas de las viviendas del tercer mundo están construidas con materiales metálicos y carecen de ventanas por las que entre la luz al interior.

Alfredo Moser, un mecánico de Sao Paulo, Brasil, ha diseñado una lámpara que funciona sin necesidad de electricidad, construida con una simple botella de plástico reciclada. Su invención surgió de la necesidad de iluminación cuando su barrio sufría largos apagones de electricidad y no podía trabajar en su taller. Experimentando con una botella de plástico llena de agua y usándola como lente llegó a la brillante idea de utilizar este sistema como lámpara.

Hacer una lámpara Móser es muy fácil. Se llena una botella de plástico reciclada de 2 litros con agua, se le añaden 10 mililitros de cloro para evitar la formación de algas y se tapa con el propio tapón del embase. Se hace un agujero en la cubierta de la vivienda por el que pueda pasar la botella, se deja parte de ella fuera expuesta a la luz del sol y el resto dentro de la habitación que se quiera iluminar.

El funcionamiento de esta lámpara se basa en la refracción de la luz. La luz llega a la parte superior de la botella que está expuesta al exterior y se dispersa hacia el interior de la vivienda, proporcionando la luz equivalente a un foco de entre 40 a 60 watts (Ilustración 44). Aunque esta lámpara sólo funciona de día, es muy útil en las viviendas pobres ya que muchas de ellas carecen de ventanas.

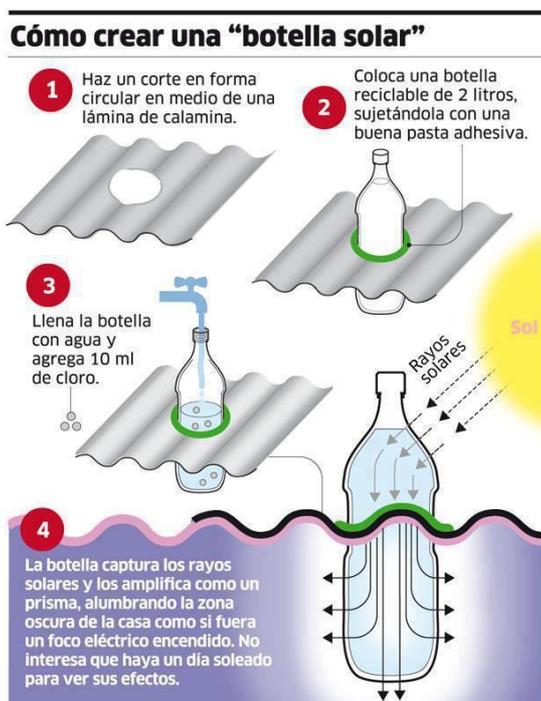


Ilustración 44. Esquema de cómo crear una lámpara Móser.

<https://edificacionpolitecnico.blogspot.com/2014/10/millones-de-litros-de-luz.html>

Al principio, este invento se difundió a través de los vecinos de Alfredo Móser, a los que les ayudó a instalar ahora las llamadas “lámparas Móser”. Actualmente este invento ha traspasado fronteras y ha llegado a Filipinas donde la fundación My Shelter (Mi refugio) las ha instalado en más de 140.000 viviendas. Estas lámparas Móser ya están en uso en cerca de 15 países incluyendo Argentina, India, Bangladesh, Tanzania, entre otros. Se estima que hay un millón de lámparas Móser instaladas en el mundo y el número sigue creciendo.



Ilustración 45. Acabado final de la instalación de una lámpara Móser.  
<http://veritasmédios.org/sociedad/lampara-moser-una-luz-ecologica.html>

## 6 CONCLUSIONES

Desde los años 60 el consumo del plástico se ha visto incrementado. Este consumo desmedido está ocasionando graves problemas en cuanto a la degradación del medio ambiente, así como contribuyendo al cambio climático. Es por ello fundamental que la conciencia social sobre este problema se haga más extensiva, además de intentar atajarlo de alguna manera.

Actualmente son numerosas las estrategias que se están planteando a nivel mundial para mejorar esta situación y frenar el impacto ocasionado, ya que erradicarlo es prácticamente imposible. La Comisión Europea, entre otras muchas iniciativas, ha planteado este año 2018 una Nueva Normativa en la que promueve una economía circular. Esta estrategia ayudará a proteger el medio ambiente y tener un consumo y una producción más sostenibles. Esta normativa se centra principalmente en los plásticos en los que se encuentran las botellas PET.

En el ámbito arquitectónico sería recomendable incrementar el estudio y la divulgación de la construcción “low cost”, ya que se basa en la reducción, el reciclaje y la reutilización de materiales. Este campo arquitectónico está más desarrollado en iniciativas de cooperación y en zonas donde tienen carencias económicas. Pero quizá se pueda enfocar de otra manera. Siguiendo la Nueva Normativa Europea, sería recomendable que los arquitectos también siguieran ese modelo de economía circular y que promovieran el uso de materiales reutilizados en la construcción.

Son numerosos los arquitectos que, como hemos visto, están concienciados con el medio ambiente y están interesados en reducir el impacto de sus construcciones. Pero estos estudios muchas veces se quedan en simples avances teóricos.

Analizando las aplicaciones de los plásticos PET una vez terminada su vida útil he llegado a la conclusión de que es un material con unas características muy interesantes para el ámbito arquitectónico. La dureza, la impermeabilidad y su coste son algunas de las características que hacen atractivo a este material y que hacen posible su aplicación en casi todas las partes de una vivienda.

Es cierto que para llegar a extender este material reutilizado en el campo de la construcción hay que cambiar algunos prejuicios que quizá se hayan visto relacionados con este tema. Hay que intentar entender que un material reutilizado no tiene por qué ser peor que otro que únicamente se haya fabricado para ese fin. Quizá cambiando nuestro pensamiento y ampliando los horizontes seamos capaces de gestionar estos residuos plásticos y darles otra función para así fomentar una arquitectura más sostenible.

Por otro lado, creo que como arquitectos tenemos la responsabilidad de contribuir, en la medida de lo posible, a hacer un mundo un poco más sostenible y que el impacto que tengamos no sea perjudicial para nuestro medio ambiente.

Tenemos la capacidad y los conocimientos necesarios para reinventar este material y también de hacer del “low cost” no sólo una alternativa, sino un elemento fundamental en nuestra construcción.

## 7 LISTA DE ILUSTRACIONES

**-Ilustración 1.** Izquierda. Productos que se comercializan en botellas de plástico. Derecha. Desastre que se ocasiona con la acumulación de los plásticos desperdiciados después de su vida útil. <https://alocubano.wordpress.com/2011/09/26/envases-plasticos-un-dano-duradero-para-el-medioambiente/>

**-Ilustración 2.** Izquierda. Los 10 objetos de plástico que se encuentran en las playas europeas con más frecuencia. Derecha. Imagen publicitaria para concienciación social respecto a la acumulación de plásticos en los océanos. <https://ecobidon.com/nueva-normativa-europea-todos-los-envases-de-plastico-seran-disenados-para-reutilizarse-o-reciclarse/>

**-Ilustración 3.** Acumulación de residuos plásticos a nivel mundial en tierra y en el mar. Pacífico.

[https://www.google.com/search?q=acumulaci%C3%B3n+de+plasticos+en+todo+el+planeta&safe=active&client=safari&rls=en&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjw6ia0JndAhXG2aQKHe9KtCtQQ\\_AUICigB&biw=1680&bih=891#imgsrc=1n36vAL5AjMtCM:](https://www.google.com/search?q=acumulaci%C3%B3n+de+plasticos+en+todo+el+planeta&safe=active&client=safari&rls=en&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjw6ia0JndAhXG2aQKHe9KtCtQQ_AUICigB&biw=1680&bih=891#imgsrc=1n36vAL5AjMtCM:)

**-Ilustración 4.** Explicación con comparativas del problema de los residuos plásticos que se concentran en La Gran Mancha del Pacífico. <http://recursostic.educacion.es/blogs/biosfera/index.php/2012/06/13/la-isla-de-plastico>

**-Ilustración 5.** Gráfico de años que tardan en biodegradarse varios tipos de productos plásticos. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-42304901>

**-Ilustración 6.** Izquierda. Demanda de plástico en Europa en 2015, porcentajes de la European Comisión. Derecha. Gráfico circular de los desperdicios de plástico generados diferentes sectores industriales en 2015. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1516265440535&uri=COM:2018:28:FIN>

**-Ilustración 7.** Logo de la European Commission para promover el reciclaje y la reutilización de los desechos de los envases de plástico. [http://ec.europa.eu/environment/waste/plastic\\_waste.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/plastic_waste.htm)

**-Ilustración 8.** Procedimiento para hacer un Ecoladrillo. <http://puravidaatitlan.org/images/Manual%20%20Sistema%20Constructivo%20Pura%20Vida.pdf>

**-Ilustración 9.** Distintos tipos de tamaños de botellas rellenas. <http://puravidaatitlan.org/images/Manual%20%20Sistema%20Constructivo%20Pura%20Vida.pdf>

**-Ilustración 10.** Vivienda circular realizada con botellas de plástico  
<http://puravidaatitlan.org/images/Manual%20%20Sistema%20Constructivo%20Pura%20Vida.pdf>

**-Ilustración 11.** Colocación de botellas recicladas de plástico en hiladas.  
<http://puravidaatitlan.org/images/Manual%20%20Sistema%20Constructivo%20Pura%20Vida.pdf>

**-Ilustración 12.** Izquierda y derecha. Sistema de muro creado por malla metálica haciendo las funciones de una especie de gavión.  
<https://www.elperiodico.com/es/extra/20161110/primer-pueblo-botellas-plastico-5619886>

**-Ilustración 13.** Revoque de cemento para hacer una superficie lisa y darle un acabado a la fachada de la vivienda. <https://www.elperiodico.com/es/extra/20161110/primer-pueblo-botellas-plastico-5619886>

**-Ilustración 14.** Acabado final de vivienda hecha con gaviones rellenos de botellas PET recicladas. <https://www.elperiodico.com/es/extra/20161110/primer-pueblo-botellas-plastico-5619886>

**-Ilustración 15.** Detalle de los ladrillos ecológicos diseñados por Arthur Huang, [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladas?ad\\_medium=gallery](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladas?ad_medium=gallery)

**-Ilustración 16.** Izquierda. Vista interior del edificio de Arthur Huang en Taiwán con ladrillos ecológicos. Derecha. Vista exterior del edificio de Arthur Huang en Taiwán con ladrillos ecológicos. [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladas?ad\\_medium=gallery](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladas?ad_medium=gallery)

**-Ilustración 17.** Vista exterior del edificio de Arthur Huang en Taiwán con ladrillos ecológicos. [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladas?ad\\_medium=gallery](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladas?ad_medium=gallery)

**-Ilustración 18.** Botellas de la marca A'Gua diseñada para la reutilización en tejados. <https://www.expoknews.com/este-hombre-odia-las-botellas-de-plastico-asi-que-las-fabrica/>

**-Ilustración 19.** Botellas de la marca A'Gua rellena para conseguir el acabado final. <https://www.expoknews.com/este-hombre-odia-las-botellas-de-plastico-asi-que-las-fabrica/>

**-Ilustración 20.** Botellas de la marca A'Gua rellena para conseguir el acabado final. Forma de sujetarlas para darle la inclinación necesaria para los tejados. <https://blogthinkbig.com/botella-agua-reciclable-servir-tras-uso-elemento-construccion>

**-Ilustración 21.** Botellas de una misma marca sujetadas con una malla cuadrículada para crear una cubierta. <https://www.creativespotting.com/2015/03/upcycled-coca-cola-plastic-bottle-pavilion/>

**-Ilustración 22.** Izquierda. Subestructura metálica. Derecha. Acabado final de la cubierta decorativa con botellas de plástico. <https://www.creativespotting.com/2015/03/upcycled-coca-cola-plastic-bottle-pavilion/>

**-Ilustración 23.** Izquierda. Acabado final de la estructura de botellas. Derecha. Botellas recicladas de plástico PET. <https://buildingskins.wordpress.com/category/plastics-etfe/a-summer-space/>

**-Ilustración 24.** Izquierda. Metodo de montaje de la estructura enroscado con el tapón a la malla transparente. Derecha. Detalle de montaje final. <https://buildingskins.wordpress.com/category/plastics-etfe/a-summer-space/>

**-Ilustración 25.** Arriba. Detalle de unión de las botellas de plástico con la pelota de tenis. Abajo. Acabado final de la cúpula geodésica diseñada por Ron Aarons. <https://www.hometowndumpsterrental.com/blog/toys-from-trash-teaches-kids-about-sustainable-design-and-recycling>

**-Ilustración 26.** Cúpula geodésica diseñada por alumnos peruanos de la Universidad Católica Pontificia. [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad\\_medium=widget&ad\\_name=recommendation](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad_medium=widget&ad_name=recommendation)

**-Ilustración 27.** Izquierda. Proceso de montaje de los tubos hechos con botellas recicladas de plástico PET. Derecha. Proceso de montaje del nudo que une todos los tubos reciclados para dar rigidez a la estructura. [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad\\_medium=widget&ad\\_name=recommendation](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad_medium=widget&ad_name=recommendation)

**-Ilustración 28.** Izquierda. Pieza en forma de pentágono. Derecha. Imagen final de cómo queda esa cúpula con las piezas diseñadas. [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad\\_medium=widget&ad\\_name=recommendation](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad_medium=widget&ad_name=recommendation)

**-Ilustración 29.** Izquierda. Acabado final de la cúpula geodésica *Rising Moon* en Hong Kong. Derecha. Entrada a la cúpula de botellas recicladas de plástico. <http://www.morethangreen.es/rising-moon-pabellon-de-luz-hecho-de-botellas-recicladas/>

**-Ilustración 30.** Izquierda. Acabado final de la cúpula geodésica Rising Moon en Hong Kong en su interior. Derecha. Detalle de botellas recicladas de plástico. <http://www.morethangreen.es/rising-moon-pabellon-de-luz-hecho-de-botellas-recicladas/>

**-Ilustración 31.** Prueba de peso humano en las estructuras TrussFab. <https://hpi.de/en/baudisch/projects/trussfab.html>

**-Ilustración 32.** Izquierda. Diagrama de tensiones que intervienen en las estructuras TrussFab. Derecha. Silla de botellas de plástico recicladas utilizando la herramienta TrussFab. <https://hpi.de/en/baudisch/projects/trussfab.html>

**-Ilustración 33.** Izquierda. Unión de las estructuras diseñado con impresora 3D. Derecha. Estructura de botellas de plástico recicladas y nodos. <https://hpi.de/en/baudisch/projects/trussfab.html>

**-Ilustración 34.** Izquierda. Diseño de estructura TrussFab en modelador SketchUp. Derecha. Acabado final de la estructura. <https://hpi.de/en/baudisch/projects/trussfab.html>

**-Ilustración 35.** Izquierda. Derecha. Unión de las dos botellas mediante tornillo de doble cara. <https://www.instructables.com/id/How-to-Connect-PET-Bottles-for-TrussFab-Structures/>

**-Ilustración 36.** Izquierda. Impresora 3D y mobiliario. Derecha. Estructura hecha con unión TrussFab. <https://www.instructables.com/id/How-to-Connect-PET-Bottles-for-TrussFab-Structures/>

**-Ilustración 37.** Esquema de funcionamiento del Eco Cooler. <https://muhimu.es/medio-ambiente/eco-cooler/>

**-Ilustración 38.** Pasos a seguir para fabricar un aire acondicionado, Eco Cooler. <https://muhimu.es/medio-ambiente/eco-cooler/>

**-Ilustración 39.** Izquierda. Logotipo de la marca que diseña este sistema, el ECO Cooler. Derecha. Acabado final y colocación del sistema de aire acondicionado ECO Cooler. <https://muhimu.es/medio-ambiente/eco-cooler/>

**-Ilustración 40.** Esquema de funcionamiento del calentador solar con botellas de plástico recicladas. <http://papascreativas.blogspot.com/2015/08/como-construir-un-calentador-solar.html>

**-Ilustración 41.** Izquierda. Proceso de montaje del calentador solar. Derecha. Acabado final del calentador solar realizado con botellas de plástico reutilizadas. <http://papascreativas.blogspot.com/2015/08/como-construir-un-calentador-solar.html>

***-Ilustración 42.*** Sistema de canalización del agua para el funcionamiento del Ekomuro H<sub>2</sub>O. <https://www.bioguia.com/notas/como-construir-una-pared-recolectora-de-agua-de-lluvia-con-botellas-de-plastico>

***-Ilustración 43.*** Izquierda. Acabado final del Ekomuro H<sub>2</sub>O. Derecha. Sistema de filtro putificador para potabilizar el agua. <https://www.bioguia.com/notas/como-construir-una-pared-recolectora-de-agua-de-lluvia-con-botellas-de-plastico>

***-Ilustración 44.*** Esquema de cómo crear una lámpara Móser. <https://edificacionpolitecnico.blogspot.com/2014/10/millones-de-litros-de-luz.html>

***-Ilustración 45.*** Acabado final de la instalación de una lámpara Móser. <http://veritasmiedios.org/sociedad/lampara-moser-una-luz-ecologica.html>



## 8 BIBLIOGRAFÍA

### -BIBLIOGRAFÍA EN PAPEL

- “Construcción de casas-habitación con material PET”. Área de Conocimiento: Ciencias Biológicas, químicas y de la salud. Lagunas, El Barrio de la Soledad, Oax. A 18 de febrero del 2014.
- “Centros de producción de materiales de construcción en países en vías de desarrollo”. Morris Simon y James E. Upchurch.
- “Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra”. Daniel Ruiz Valencia, Cecilia López Pérez, Eliana Cortes y Andreas Froese. Bogotá, Colombia, julio-diciembre 2012.
- “Investigación y propuesta de mejora del uso de la tierra y materiales de reciclado en la construcción”. Lucía Lainez Carrasco. Dirige Dr. Arquitecto Félix Jové.

### -BIBLIOGRAFÍA WEB

- <https://blogthinkbig.com/botella-agua-reciclable-servir-tras-uso-elemento-construccion> (Junio/14/2018)
- <https://www.expoknews.com/este-hombre-odia-las-botellas-de-plastico-asi-que-las-fabrica/> (Junio/14/2018)
- <http://www.labioguia.com/notas/como-construir-una-pared-recolectora-de-agua-de-lluvia-con-botellas-de-plastico> (Junio/14/2018)
- <https://es.greenpeace.org/es/noticias/la-necropsia-confirma-que-el-cachalote-de-cabo-de-palos-murio-por-los-plasticos/> (Junio/28/2018)
- <http://www.instructables.com/id/How-to-Connect-PET-Bottles-for-TrussFab-Structures/> (Julio/02/2018)
- [https://www.huffingtonpost.es/2018/05/17/la-aplaudida-portada-de-national-geographic-sobre-el-plastico-en-los-oceanos\\_a\\_23436764/](https://www.huffingtonpost.es/2018/05/17/la-aplaudida-portada-de-national-geographic-sobre-el-plastico-en-los-oceanos_a_23436764/) (Julio/02/2018)
- <http://sostenibilidad.semana.com/negocios-verdes/articulo/plastico-pet-un-amigable-pero-no-inofensivo/36282> (Julio/02/2018)
- <https://www.elperiodico.com/es/extra/20161110/primer-pueblo-botellas-plastico-5619886> (Julio/02/2018)
- <http://puravidaatitlan.org/images/Manual%20%20Sistema%20Constructivo%20Pura%20Vida.pdf> (Julio/03/2018)
- <https://greenisawayoflife.wordpress.com/2013/10/12/una-cupula-de-botellas-de-plastico/> (Julio/07/2018)

- <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladas> (Julio/08/2018)
- [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/870437/de-residuos-plasticos-reciclados-a-material-de-construccion?ad\\_medium=widget&ad\\_name=recommendation](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/870437/de-residuos-plasticos-reciclados-a-material-de-construccion?ad_medium=widget&ad_name=recommendation) (Julio/08/2018)
- [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad\\_medium=widget&ad\\_name=recommendation](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875352/tubotella-estudiantes-peruanos-desarrollan-modulo-habitable-reciclado?ad_medium=widget&ad_name=recommendation) (Julio/08/2018)
- <https://www.hometowndumpsterrental.com/blog/toys-from-trash-teaches-kids-about-sustainable-design-and-recycling> (Julio/10/2018)
- <https://muhimu.es/medio-ambiente/eco-cooler/> (Julio/12/2018)
- <https://www.creativespotting.com/2015/03/upcycled-coca-cola-plastic-bottle-pavilion/> (Julio/12/2018)
- <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/875137/este-plugin-de-sketchup-permite-disenar-estructuras-de-botellas-plasticas-y-uniones-impresas-en-3d> (Julio/16/2018)
- <https://www.thingiverse.com/thing:2484557> (Julio/16/2018)
- <http://papascreativas.blogspot.com/2015/08/como-construir-un-calentador-solar.html> (Julio/18/2018)
- <http://veritasmiedios.org/sociedad/lampara-moser-una-luz-ecologica.html> (Julio/18/2018)
- <https://enlacearquitectura.com/arquitectura-low-cost/> (Julio/18/2018)
- <http://arquitectobra.blogspot.com/2012/07/ecoark-edificio-en-taiwan-con-botellas.html>
- <http://un-mundo-podrido.blogspot.com/2017/08/> (Agosto/31/2018)
- <https://ecobidon.com/nueva-normativa-europea-todos-los-envases-de-plastico-seran-disenados-para-reutilizarse-o-reciclarse/> (Agosto/31/2018)
- [http://ec.europa.eu/environment/waste/plastic\\_waste.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/plastic_waste.htm) (Agosto/31/2018)
- <https://www.bbc.com/mundo/noticias-42304901> (Septiembre/01/2018)
- <https://www.creativespotting.com/2015/03/upcycled-coca-cola-plastic-bottle-pavilion/> (Septiembre/03/2018)
- <http://ekomuroh2o.wixsite.com/ecoh2o> (Septiembre/03/2018)
- <https://edificacionpolitecnico.blogspot.com/2014/10/millones-de-litros-de-luz.html> (Septiembre/03/2018)
- <https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/en-que-consiste-la-economia-circular/> (Septiembre/08/2018)

- <https://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/comision-europea/> (Septiembre/08/2018)