

# Transformando los residuos sólidos urbanos en materiales de construcción sostenibles

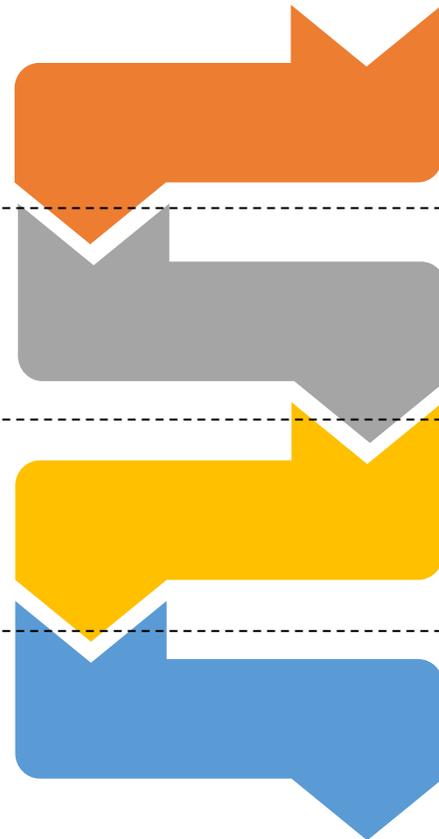
Autoras:

Liliana G. Lizárraga-Mendiola y Gabriela A. Vázquez-Rodríguez

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para  
el diseño y construcción de un futuro  
sostenible*



# Contenido



1

Introducción

2

Los residuos sólidos urbanos y su potencial uso en el sector de la construcción

3

Contribución en la sustentabilidad de la construcción

4

Expectativas en México y conclusiones

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible*



# 1. Introducción

Los residuos sólidos urbanos (RSU) provienen de las casas habitación y cualquier otra edificación o actividad al aire libre donde se produzcan desechos de tipo doméstico.



I  
C  
B  
I

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible*



## 1.1 Efectos adversos

Los RSU se han empleado como fuentes de energía a través de la incineración; sin embargo, este proceso genera gases ácidos, dioxinas policloradas y otros contaminantes orgánicos persistentes (Bukhkalov et al. 2018), por lo que enfrentan una fuerte oposición pública.



*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para  
el diseño y construcción de un futuro  
sostenible*



## 1.2 Problemática en México

1

Se produjeron 43 Mt de cemento.  
3.14 Gt de agregados pétreos, grava y arena (SGM 2021).

2

Esta minería compite cada vez más por espacio con otros usos del suelo. Degrada los ecosistemas.

3

La enorme extracción de agregados no puede ocurrir sin costos ambientales y sociales.

4

Preservar servicios ecosistémicos.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible*

## Objetivo:

Identificar los RSU más utilizados en la elaboración de materiales sostenibles para la construcción, que favorezcan un enfoque de **economía circular** y la disminución de estos en el entorno. Asimismo, se profundiza en la necesidad de **disminuir la extracción de materiales pétreos naturales** que la industria de la construcción mundial realiza en el momento actual.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para  
el diseño y construcción de un futuro  
sostenible*



## 2. Los RSU y su potencial uso en el sector de la construcción.

En 2020, la masa de la materia construida o modificada antropogénicamente superó a la de la biomasa viva, y alcanzó cerca de 1.154 Tt (Elhacham et al. 2020). De esta cantidad, al menos el 94% corresponde a materiales directamente asociados a la industria de la construcción, tales como concreto, ladrillos y asfalto.



*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para  
el diseño y construcción de un futuro  
sostenible*

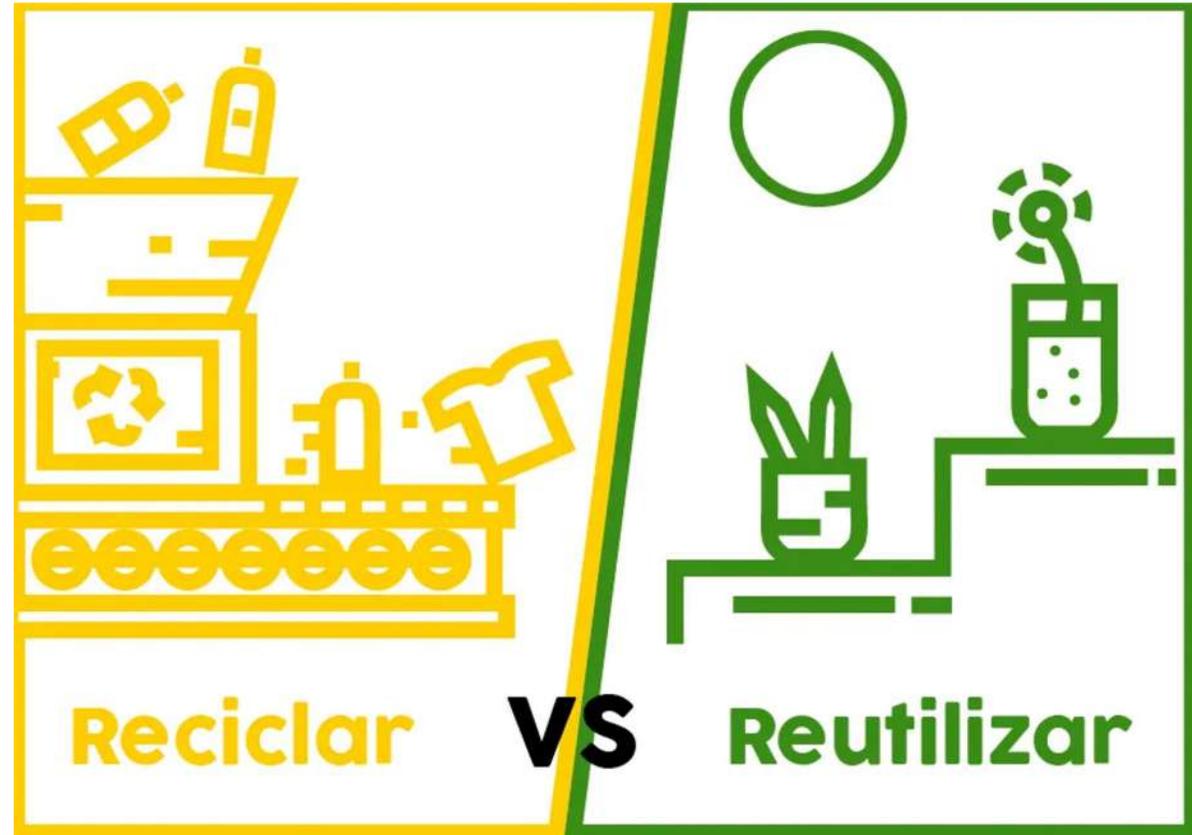
## 2.1 Motivación



Fundición

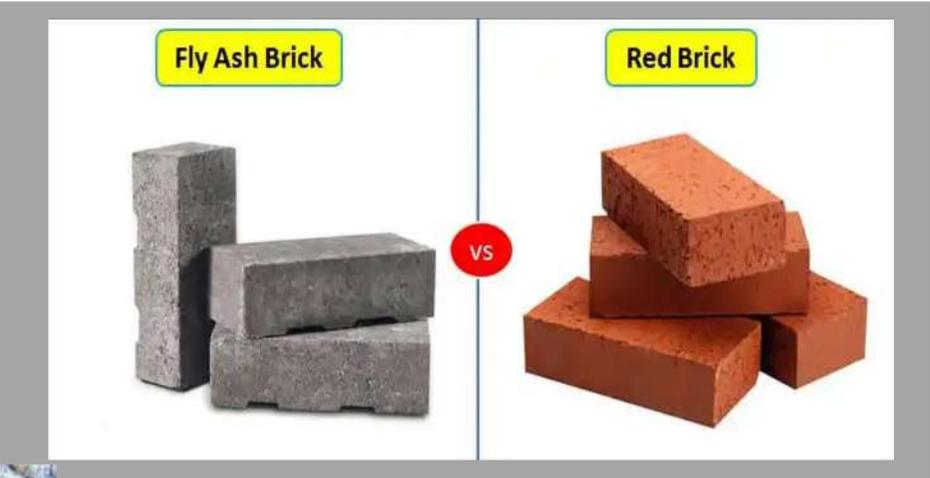


Desintegración



*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para  
el diseño y construcción de un futuro  
sostenible*





*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para  
el diseño y construcción de un futuro  
sostenible*

## 2.1.1 Plástico

### a) Consumo mundial

En el 2019 se generaron 460 millones de toneladas de este RSU (OCDE, 2022).

### b) Características principales:

Maleabilidad, ligereza, estabilidad, capacidad de aislamiento térmico y eléctrico.



### c) Variedad:

Polipropileno (PP).  
Fibras.  
Polietileno de baja densidad (LDPE).  
Polietileno de alta densidad (HDPE).  
Cloruro de polivinilo (PVC).  
Tereftalato de polietileno (PET).

### d) Aplicaciones más comunes:

Sustitutos de agregados o fibras de refuerzo.  
Incorporación al asfalto.  
Base y subbase de carreteras.

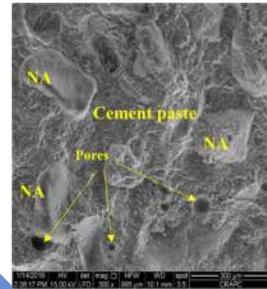


## 2.1.1 Plástico



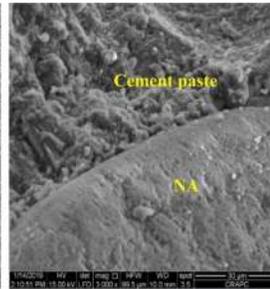
Disposición final

50% en rellenos sanitarios.  
19% se incinera.  
9% se recicla.  
El resto se dispone en cualquier parte



Concreto

Su bajo peso permite reducir la densidad del concreto (Awoyera y Adesina 2020).



Fibras de refuerzo

Longitud de 30 a 60 mm y una sección transversal de 0.6 a 1 mm<sup>2</sup>.  
No impactó en la resistencia a la compresión, pero mejoró significativamente su resistencia a la tracción por flexión.



Mezclas de asfalto

Reemplazo de agregados o como modificador de la mezcla.  
También se usa como bínder en la mezcla de asfalto. Su alta viscosidad evita problemas de drenaje.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible*



## 2.1.2 Vidrio

### a) Consumo mundial

En el 2020 se generaron 689.94 millones de botellas y envases (OCDE, 2022).

Si se reúsa una tonelada en la industria del cemento, se pueden conservar 560 kg de arena, 190 kg de carbonato de sodio, 176 kg de caliza y 64 kg de feldespato.

### b) Características principales:

Si se pulveriza, adquiere propiedades ingenieriles similares a las de la arena y otros materiales finos.



### c) Variedad:

Polvo molido (clínker).  
Triturado.

### d) Aplicaciones más comunes:

Concreto.  
Mortero.  
Pavimento asfáltico.



## 2.1.2 Vidrio



La trabajabilidad del concreto mejoró (propiedades no absorbentes).  
20-30% (finos)  
10-20% (gruesos)

Mejora el rendimiento de fatiga.  
Resistencia a la deformación plástica.  
Reduce la formación de surcos a altas temperaturas.

Su forma irregular puede afectar sus propiedades.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible*



## 2.1.3 Cartón

### a) Consumo mundial

Cada año se talan 4 mil millones de árboles para producir 450 millones de toneladas de papel y cartón (Ahmad et al. 2021).

### b) Características principales:

Contenido de celulosa (material fibroso).  
Permeable, sólido y heterogéneo.  
Facilita la transferencia de calor por conducción.



### c) Variedad:

Polvo molido (clínker).  
Triturado.

### d) Aplicaciones más comunes:

Cemento.  
Mortero.  
Boardcrete (tabique).



## 2.1.3 Cartón



**Boardcrete**

Funge como un material fibroso.  
Muros sin carga.



**Fibras kraft**

No son abrasivas, tienen alta resistencia, baja densidad, son biodegradables y de bajo costo.



**Edificaciones**

Resistencia a la compresión y a la tracción suficientes para estructuras ligeras. Es aislante térmico.



**Vigas**

Son de baja densidad (40% menos que las convencionales). Estructuras ligeras con buena resistencia y rigidez.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible*



## 2.1.4 Cenizas de incineración

### a) Cantidades

Reducen entre 70-90% la masa de RSU al mismo tiempo que se produce energía (Tang et al. 2020).

### b) Características principales:

Partículas heterogéneas (limos, arcillas, hasta gravas).  
Altos contenidos de sílice.  
Composición química similar al cemento Portland.



### c) Variedad:

Cenizas de fondo.  
Cenizas volantes (*fly ash*).

### d) Aplicaciones más comunes:

Clínker.  
Cementos combinados y ecológicos.  
Agregados.  
Baldosas y adoquines de cerámica.  
Bases para carreteras.



## 2.1.4 Cenizas de incineración



Varía desde limos, arcillas, hasta gravas.

Elimina contaminantes metálicos y cloruros. Aptas para su reciclaje.

Cenizas de fondo y volantes.

Tienen fracción amorfa y bajos contenidos de sílice y otros óxidos. Propiedades del cemento Portland.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible*



### 3. Contribución en la sustentabilidad de la construcción.

#### PIB

Países en desarrollo = Producen el 10% del producto interno bruto (PIB).

#### Energía

Consumo cerca del 35% de la energía total.



#### Recursos naturales

Emplea 40% de los recursos naturales del planeta.

#### CO<sub>2</sub>

Libera a la atmósfera alrededor del 40% de CO<sub>2</sub>

I  
C  
B  
I

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura  
el diseño y construcción de un futuro  
sostenible*



### 3. Contribución en la sustentabilidad de la construcción.

**ACV**

Toda modificación de un material con RSU debería acompañarse de un análisis de ciclo de vida.

**Emisiones atmosféricas**

Es posible reducir en 13.7% las emisiones de CO2 derivadas de compósitos de cemento al adicionar 1% de fibra de carbono reciclada.



**Cenizas de fondo**

Morteros con buena resistencia reducen entre 55-75% las emisiones de CO2.

**RSU**

Alternativa para producir insumos y materiales de construcción amigables con la naturaleza.

I  
C  
B  
I

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura  
el diseño y construcción de un futuro  
sostenible*



## 3.1 Algunas barreras en su reúso y reciclaje.

### Irregularidades del vidrio

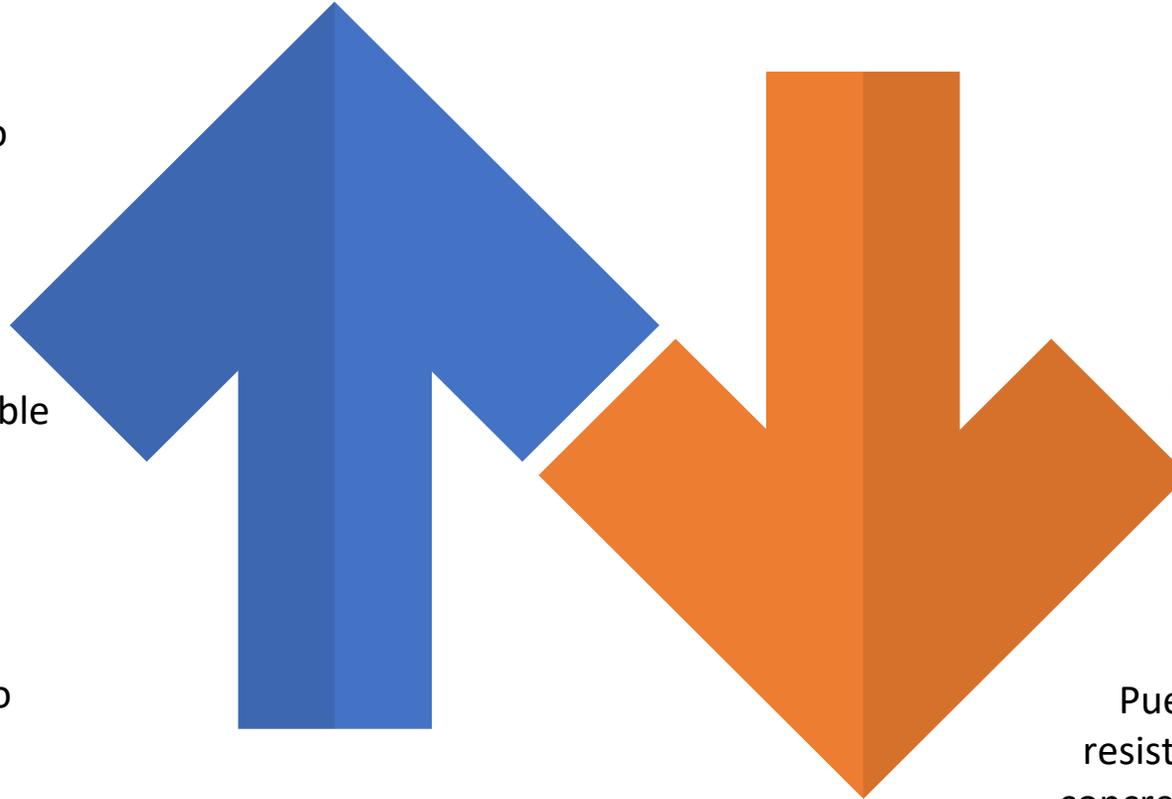
Durante su trituración como agregados.

### Sílice

Es químicamente incompatible con el cemento.

### Plástico

Su forma y proporción como agregados.



### Limitantes:

Alteran la fricción interna en pavimentos y disminuyen su resistencia al deslizamiento (Gedik 2021).

### Limitantes:

Reacción álcali-sílice crea una expansión en el concreto y produce fisuras (Khan et al. 2019).

### Limitantes:

Pueden reducir en un 72% la resistencia a la compresión del concreto (Batayneh et al. 2007). Además, debe evitarse la generación de microplásticos.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible*



## 4. Expectativas en México.

### LGPGIR (2013)

Gestión técnica, ambiental y económica a nivel estatal.

### SEMARNAT (2020)

Las medidas son insuficientes, pues los RSU no se incorporan a una cadena de valor productiva (excepto el PET y las llantas).

### NACDMX-007 (2019)

En la CdMx hay un plan de manejo de los RCD; se hace previa selección *in situ*. Se disponen para su valorización en centros de recolección.

### Conclusión:

No hay un plan eficiente para su gestión y manejo en la cadena productiva.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible*

## Conclusiones.



Considerar opciones que favorezcan su incorporación en cadenas de valor que aporten beneficios a otros sectores como el de la construcción.



Se requiere invertir en investigación destinada a mejorar sus propiedades y beneficios ambientales.



Evaluaciones de desempeño de los materiales modificados con RSU: los lixiviados producidos.  
Beneficio económico.  
Análisis de ciclo de vida.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para el diseño y construcción de un futuro sostenible*

## Referencias

- Ahmad, Afnan, Mohammad Adil, Ahmad Khalil, y Rahman Mujeebur. 2021. Mechanical properties and durability of boardcrete blocks prepared from recycled cardboard. *Journal of Building Engineering*, 33: 101644. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101644>.
- Awoyera, Paul O., y Adeyemi Adesina. 2020. Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective. *Case Studies in Construction Materials*, 12: e00330. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00330>.
- Batayneh, Malek, Iqbal Marie, e Ibrahim Asi. 2007. Use of selected waste materials in concrete mixes. *Waste Management*, 27(12): 1870-1876. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.07.026>.
- Bukhkalov, Svetlana I., Jiří J. Klemeš, Leonid L. Tovazhnyanskyy, Olga P. Arsenyeva, Petro O. Kapustenko, y Oleksandr Y. Perevertaylenko. 2018. Eco-Friendly Synergetic Processes of Municipal Solid Waste Polymer Utilization. *Chemical Engineering Transactions*, 70: 1-6.
- Elhacham, Emily, Liad Ben-Uri, Jonathan Grozovski, Yinon M. Bar-On, y Ron Milo. 2020. Global human-made mass exceeds all living biomass. *Nature*, 588(7838): 442-444. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5>.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para  
el diseño y construcción de un futuro  
sostenible*



## Referencias

- Gedik, Abdulgazi. 2021. An exploration into the utilization of recycled waste glass as a surrogate powder to crushed stone dust in asphalt pavement construction. *Construction and Building Materials*, 300: 123980. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123980>.
- Khan, Qasim S., M. Neaz Sheikh, Timothy J. McCarthy, Mehdi Robati, y Mark Allen. 2019. Experimental investigation on foam concrete without and with recycled glass powder: A sustainable solution for future construction. *Construction and Building Materials*, 201: 369-379. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.178>.
- OCDE. 2022. *Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options*. Organisation for Economic Cooperation and Development. Paris: OECD Publishing.
- SGM. 2021. *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2020*. Servicio Geológico Mexicano, México.
- Tang, Zhuo, Wengui Li., Vivian W. Y. Tam, y Caihong Xue. 2020. Advanced progress in recycling municipal and construction solid wastes for manufacturing sustainable construction materials. *Resources, Conservation & Recycling: X*, 6: 100036. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100036>.

*Desarrollo de la ingeniería y arquitectura para  
el diseño y construcción de un futuro  
sostenible*

