

CAPÍTULO 11

El reto de los materiales para la construcción

Abner Sandoval Cortes

Rodolfo Martínez Romero

Valerie Martínez Romero

Estudiantes de licenciatura en Diseño
Molecular y Nanoquímica, Universidad
Autónoma del Estado de Morelos.

Avril Aviña

Estudiante de licenciatura en
Químico Farmacéutico Biólogo,
Universidad de Guadalajara.

Coordinadores:

Carlos Alberto Castellón de León,

Jaime Escalante García y

José Domingo Rivera Ramírez.

<https://doi.org/10.56604/qflaQVERJ2025-11r>

Introducción

Considere el lector la complejidad de estas situaciones al momento de la toma de decisiones en políticas públicas de vivienda, por ejemplo, no será lo mismo edificar construcciones en diferentes zonas climáticas: los requerimientos de una vivienda en zonas de lluvias copiosas no serían los mismos que los de una zona mayormente calurosa y seca. O, por otro lado, en regiones de alta densidad de población económicamente activa donde sus habitantes requieren vivienda cerca de sus centros de trabajo, ¿qué es más conveniente? ¿suministrar agua y retirar la basura y el drenaje de 500 casas que están construidas a nivel del suelo de una sola planta, cada una con su propio jardín y su lugar de estacionamiento?, ¿o es mejor hacerlo de un conglomerado de edificios de 4 plantas cada uno, con un lugar común de estacionamiento? Este tipo de retos y razonamientos son importantes al momento de proponer nuevas alternativas de uso de materiales para la construcción.

El impacto ambiental producido por la industria de la construcción es un problema que se ha manifestado desde la introducción del término “desarrollo sustentable” propuesto por la Organización de las Naciones Unidas en 1987.¹ Sólo para tener una idea clara de su contribución al deterioro ambiental, las construcciones acaparan un sexto del consumo de agua potable, un cuarto de la madera cultivada y un cuarto del consumo de la electricidad; además de que contribuyen como uno de los siete sectores que más emisiones genera con un 21% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial.²

La industria de la construcción y sus problemas medioambientales abarcan una amplia gama de situaciones, etapas, demanda de recursos y usos. Es común encontrar propuestas comerciales que afirman haber resuelto el problema de emisiones en construcciones³ ya sea en desarrollos de uso comercial (como hoteles, parques o conglomerados ejecutivos) o viviendas. Estas propuestas se centran en los supuestos beneficios al ambiente de la construcción concluida y habitada, dando una falsa promesa de economía circular al reciclar agua, aprovechar luz natural y optimizar temperatura interna a través de espacios, vegetación en forma de jardines u ornamentos, así como supuestas dinámicas habitacionales respetuosas con el medio ambiente que más bien son comodidades y amenidades para los usuarios.

1. Organización de las Naciones Unidas. (3 de Abril de 2011). Sustentabilidad. Obtenido de sitio web de la UN: <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>.
2. a) Sandanayake, M. Environmental Impacts of Construction in Building Industry — A Review of Knowledge Advances, Gaps and Future Directions. *Knowledge* 2022, 2, 139-156. <https://doi.org/10.3390/> b) <https://moblaje.mx/category/arquitectura/blog/casas-pasivas-vivienda-social-sustentable>
3. a) <https://idbinvest.org/es/proximamente-vivienda-asequible-con-cero-emisiones-de-carbono>. b) <https://www.ksab.com.mx/casa-0-emisiones-grupo-ksab/>. c) <https://www.mundohvacr.com/2022/12/vivienda-sustentable-en-la-ciudad-de-mexico/>

Sin embargo, esta percepción se centra únicamente en el usuario final y omite medir adecuadamente el impacto de la fabricación de materiales para la construcción, los requerimientos técnicos y también materiales para llevar a cabo los montajes y armado, el uso, recubrimiento y deforestación del suelo.⁴ Así, las construcciones terminan siendo pequeñas burbujas, no de autogestión, sino de consumo y emisión que buscan ser nichos de aislamiento de las condiciones ambientales, consumiendo electricidad y aire acondicionado, por poner un ejemplo. Es cierto que muchas construcciones bien diseñadas y utilizadas pueden permanecer en operación durante decenas de años y sus emisiones totales pueden considerarse mínimas, sin embargo, la disposición de sus materiales cuando haya necesidad de repararlas, modificarlas o demolerlas representa serios problemas de contaminación. Imagine el lector los recursos para disponer de los escombros de un almacén de grasas, de la cocina de un restaurante, de un taller mecánico o de un área para la fabricación de sustancias químicas.⁵ Se ha estimado que cada año en el mundo se generan 11 billones de toneladas de desechos y escombros de construcción y demolición, los cuales representan el 50% de lo que entra a un vertedero de basura.⁶

El reto científico y técnico de la construcción de viviendas

La naturaleza de los desechos de la industria de la construcción está influenciada por los materiales y las técnicas de construcción que se utilizaban sin antes conocer necesariamente todos sus riesgos. Tradicionalmente se tienen en mente el uso de asbesto y plomo,⁷ ya que han representado dos materiales que al contacto humano producen enfermedades catastróficas, sin embargo, es conveniente tomar en cuenta que, si bien los nuevos materiales no representan riesgos tan drásticos, sí contribuyen al deterioro ambiental. Casi la mayoría de los materiales para la construcción de viviendas están enfocados en la comodidad, seguridad y aislamiento que puede brindar la construcción cuando está en uso, lo cual por sí mismo es un reto importante, sin embargo, aspectos como la naturaleza de los materiales, el tiempo de uso y los recursos para producirlos y montarlos deben considerarse también.

4. a) Guggemos, A.A.; Horvath, A. Comparison of environmental effects of steel-and concrete-framed buildings. *J. Infrastruct. Syst.* **2005**, *11*, 93–101. b) Suzuki, M.; Oka, T. Estimation of life cycle energy consumption and CO₂ emission of office buildings in Japan. *Energy Build.* **1998**, *28*, 33–41.
5. Bianchini, G.; Ristovski, I.; Milcov, I.; Zupac, A.; Natali, C.; Salani, G.M.; Marchina, C.; Brombin, V.; Ferraboschi, A. Chemical Characterisation of Construction and Demolition Waste in Skopje City and Its Surroundings (Republic of Macedonia). *Sustainability* **2020**, *12*, 2055. <https://doi.org/10.3390/su12052055>
6. Molla, A.; Tang, P.; Sher, W.; Bekele, D. Chemicals of concern in construction and demolition waste fine residues: A systematic literature review, *Journal of Environmental Management*, **2021**, *299*, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113654>.
7. Symonds; Argus; Cowi; PRC. Construction and demolition waste management practices, and their economic impacts. *Report to DGXI European Commission.* **1999**.

El concepto de *Construcciones Cero-Energía* (*Zero-energy Building*, *ZEB* o *Bet Zero-energy*, *NZE*) fue presentado en 1976 por Esbensen y Korsgaard de la universidad de Dinamarca, tratando de aportar estrategias para aprovechar la luz solar para asuntos domésticos durante épocas de frío. Este concepto derivó, en la práctica, a la búsqueda de balance cero anual entre el consumo y generación de energía en una edificación. Desde entonces se han generado diversas interpretaciones y prácticas sujetas a criterios geográficos, económicos e incluso políticos, muchas de las cuales son parciales, temporales y comerciales; su consumación requiere grandes despliegues técnicos y económicos, los cuales no abarcan a todos los estratos y necesidades sociales, relegándose a construcciones corporativas, gubernamentales o residenciales de alto costo, convirtiéndose así en otro desarrollo cuestionable.⁸

De forma general, podemos decir que el problema medioambiental de la industria de la construcción y del uso de sus productos: las edificaciones, radica en un solo rubro: los materiales. Los materiales más empleados actualmente en este giro son los siguientes:

Concreto. Constituido por arena, cemento y fragmentos de roca, su fabricación requiere agua y energía mecánica para el mezclado y la transportación (hasta 3.79 millones de BTUs se requieren para producir una tolénada de cemento, el 7% de las emisiones de CO₂ global). El concreto es probablemente el componente más abundante y de mayor frecuencia de uso de una construcción. Se estima que 10 billones de toneladas de arena y roca se utilizan cada año en todo el mundo para generarlo. De los 11 billones de toneladas anuales de escombros mencionadas anteriormente, hasta 70% podrían ser concreto.⁹

Acero. Es el segundo material más utilizado en la industria de la construcción. Su resistencia y elasticidad permite edificaciones altas y largas que resistirán condiciones del clima y embates de la naturaleza como temblores e incendios.¹⁰ Junto con la piedra, puede considerarse el material más sustentable de la cadena de requerimientos en la construcción (como no sea por la forma en la que se extrae, produce y procesa, ya que los combustibles fósiles siguen siendo la principal fuente de energía). Las métricas de su uso se concentran en China, quien es el productor del 50 % del acero del mundo; para producir una tonelada se requieren hasta 8 m³ de agua.¹¹

8. Osorio-Ruiz, S.; Carvajal-Quintero, S.; J. Marín-Jiménez, J. "Zero Energy Balance Buildings: Definitions, Current Challenges and Future Opportunities," in *IEEE Latin America Transactions*, vol. 20, no. 3, pp. 417-429, March 2022, doi: 10.1109/TLA.2022.9667140.

9. Jin, R.; Chen, Q. Investigation of Concrete Recycling in the U.S. Construction Industry, *Procedia Engineering*, 2015, 118, 894-901, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.528>.

10. <https://blog.tatanexarc.com/da/role-of-steel-in-construction/>

Madera. La madera en la industria de la construcción se puede emplear de forma estructural para construir casas completas, sobre todo en países anglosajones, asiáticos y africanos. También se puede usar en ornamentos y construcciones no estructurales como pisos, escaleras y jardinería, así como en la cimbra de estructuras de concreto. Contrario a lo que se podría creer, el uso de la madera no necesariamente representa un impacto negativo al medio ambiente ya que es un recurso renovable, cultivable y fácilmente procesado. Por sí misma, si su uso y tratamiento son adecuados, la madera “mantiene” secuestrada su huella de carbono en su propia estructura molecular. Como todo, el problema viene con la sobreexplotación de la fuente y el mal manejo de los residuos que genera; siempre es bueno tener en mente que cada año se deforestan 10 millones de hectáreas de bosques.¹²

Piedra. La roca natural es un material de construcción que por poco aprueba todos los criterios de sustentabilidad de una construcción. Requiere mínima energía en su producción, ya que en muchos casos es el producto de desecho de labores de acondicionamiento de terrenos o vías de comunicación. Ideal para cimentaciones y muros estructurales, tiene durabilidad de décadas e incluso siglos, ayuda en la regulación natural de la temperatura de viviendas, además de que goza de una apreciación estética poco influenciada por modas temporales. Cuando se generan desechos de este material, es prácticamente reutilizable al 100%.¹³ Existen sin embargo prácticas asociadas a la explotación de la roca que contribuyen al deterioro ambiental; la materia prima del cemento es la piedra caliza, de la cual existen en todo el mundo miles de minas a cielo abierto, sólo en Europa se estiman 400. La extracción de este material tiene todas las características de impacto ambiental de la minería: erradicación de la biodiversidad, compactación del suelo, contaminación del aire y auditiva, desplazamiento de mantos freáticos, así como de especies de flora y fauna nativas e incluso de poblaciones.¹⁴ Otra variante de este material es el uso de mármol y rocas cristalizadas, los cuales se emplean casi exclusivamente para fines estéticos y artísticos, y aunque se argumenta que hasta 70% de sus escombros se pueden reutilizar con otros propósitos, estos en realidad

11. Conejo, A.; Birat, J.; Dutta, A. A review of the current environmental challenges of the steel industry and its value chain, *Journal of Environmental Management*, 2020, 259, 109782, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109782>.

12. <https://www.greenmatch.co.uk/blog/is-building-with-wood-badth>

13. <https://www.policor.com/blog/the-impact-of-natural-stone-building-materials-on-sustainability-and-the-environment/>

14. https://ecostandard.org/news_events/quarries-are-temporary-but-their-environmental-impacts-are-forever/

proviene del proceso mismo de extracción, es decir, sólo alrededor del 30% de la producción es comercializable como tal. Muchos mármoles son escasos y geográficamente localizados, generando fenómenos de demanda y oferta de altos costos logísticos.¹⁵

Ladrillo. El material para la construcción más estudiado y motivo de diversas propuestas contemporáneas de mejora y sustitución es el ladrillo. Su motivación surgió del modelaje y estandarización de la función de la roca para la construcción de paredes y estructuras altas. Esta estandarización engloba grandes avances en las técnicas de construcción y también una demanda mayúscula de recursos para su fabricación ya que requiere la remoción de grandes cantidades de arcilla y terreno fértil, logística para su moldeo y transportación, y por último, energía para su cocción (en este último aspecto, para dimensionar la cantidad de energía requerida podemos citar que durante la edificación del primer imperio maya, la selva Lacandona en México, fue "salvajemente" deforestada debido a la alta demanda de madera).¹⁶ Actualmente la industria del ladrillo contribuye con un 2.7 de las emisiones totales de CO₂ a la atmósfera y si bien las fuentes energéticas de cocción son en su mayoría combustibles fósiles, en muchas regiones de Asia, África y Latinoamérica se sigue usando madera y carbón para la cocción.

Desde un punto de vista del uso y del tipo de material que requiere una edificación, Abdelkareem¹⁷ propone que se considere:

1. **El clima.** Este influye en la eficiencia de intercambio de calor y resistencia a la humedad y la irradiación que deben cubrir los materiales de construcción.
2. **El tipo de estructura.** Llevar a cabo un balance entre los requerimientos de servicios y la extensión o altura de una edificación. Esto incluye altura y área de los techos y los pisos, áreas verdes, áreas y rutas de acceso a servicios y vías de comunicación. Estas consideraciones permitirán seleccionar los materiales apropiados para la instalación de servicios, disipación de calor proveniente de irradiación, material de ventanas, pisos, puertas y paredes internas y externas.

15. <https://www.marmoelite.com/en/marble-and-sustainability/>

16. <https://es.gizmodo.com/los-mayas-deforestaron-sus-selvas-de-manera-tan-salvaje-1828516078>

17. Wilberforce, T.; Olabi, A.; Sayed, E.; Elsaid, K.; Maghrabie, H.; Abdelkareem, M. A review on zero energy buildings – Pros and cons, *Energy and Built Environment*, **2023**, 4, 25-38. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.06.002>.

3. **Actividades humanas en el edificio.** Muchas estructuras consumen energía por el simple hecho de existir o construirse, sin albergar actividades humanas. Muchos centros deportivos y de espectáculos, espacios públicos o artísticos, así como edificios gubernamentales o institucionales deberían usarse al máximo posible para evitar los desperdicios de energía asociados a su mera existencia. Vale la pena mencionar el uso de energía para fines comerciales en centros de venta donde por las noches los corporativos utilizan electricidad para exhibir sus productos mientras el establecimiento está cerrado.
4. **Estructuras nuevas.** Deben ser desarrolladas para que se cubran requerimientos de seguridad, diseño, uso, localización y operatividad.
5. **Electrodomésticos, gadgets y equipos de acondicionamiento de aire y temperatura.** Estos equipos usualmente representan altos consumos de energía, pero además tienen requerimientos de instalaciones eléctricas. También debería considerarse si las paredes de una habitación aíslan apropiadamente el clima y el ruido externo para que la eficiencia de estos aparatos sea óptima.

Alternativas contemporáneas de materiales para la construcción amigables con el medio ambiente

Frente a la titánica tarea de resolver el impacto ambiental que representa la industria de la construcción, las mejores aportaciones y soluciones se centran en dos rubros: 1) reciclar los escombros de edificaciones demolidas y 2) elaborar materiales para la construcción a partir de desechos de otras actividades humanas; algunos especialistas han sugerido incluso la implementación de técnicas radicalmente nuevas donde sea posible deconstruir cuando sea necesario.¹⁸ A continuación, se ilustran algunos ejemplos destacados de estas propuestas.

18. Bertino, G.; Kisser, J.; Zeilinger, J.; Langergraber, G.; Fischer, T.; Österreicher, D. Fundamentals of Building Deconstruction as a Circular Economy Strategy for the Reuse of Construction Materials. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 939. <https://doi.org/10.3390/app11030939>.

Reúso de materiales para la construcción

La **Figura 1** ilustra los porcentajes con los que contribuyen los desechos de la construcción y la demolición.

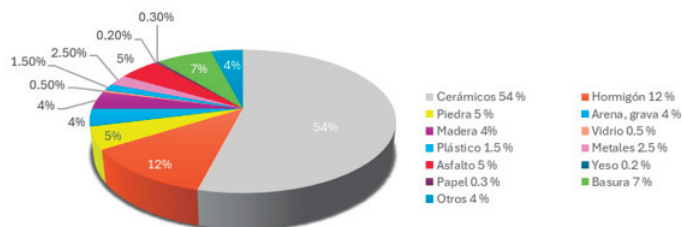


Figura 1. Porcentajes de materiales de desecho y demolición en la industria de la construcción.

Los desechos de construcción y demolición se deben dividir en dos categorías: materiales inertes (arena, ladrillos y concreto) y materiales no inertes (plástico, vidrio, papel, madera, vegetación, entre otros), y es importante señalar que los productos de excavación (tierra, arena o piedra) no se consideran desechos. También es importante considerar que el proceso de demolición y generación de escombros no está destinado a la generación de materias primas y que el proceso de separación y selección es usualmente manual y muy laborioso, así sólo el 30% podrían ser separables mientras que el 70 % restante está mezclado íntimamente y su separación resulta compleja y costosa¹⁹

A lo largo del mundo existe una necesidad generalizada e incluso regulada de que este tipo de desechos no vayan a vertederos de basura debido a que ocupan mucho espacio y producen filtración química al suelo, degradación anaeróbica, gases contaminantes y acidificación de mantos acuíferos. Si bien existe la adopción de regulaciones por parte de los gobiernos, en la práctica los generadores de estos desechos los tiran en lugares clandestinos y escondidos.

El reciclaje de desechos de construcción data en Europa desde los 1970's aunque el establecimiento como actividad comercial es de mediados de los 1990's.²⁰ En muchos países en vías de desarrollo, por no decir que en todos, el establecimiento de prácticas adecuadas de desecho y disposición de estos materiales ha sido poco valorado y adoptado debido a que implican gastos

19. Ulubeyli, S.; Kazaz, A.; Arslan, V. Construction and Demolition Waste Recycling Plants Revisited: Management Issues, *Procedia Engineering*, 2017, 172, 1190-1197. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.139>.
20. Brunner, P.; Stampfli, D.; Material balance of a construction waste sorting plant, *Waste Manag. Res.* 1993, 11, 27-48.

a muchas escalas, desde las gubernamentales hasta las de los usuarios que los generan, ya que se requieren el establecimiento de plantas tratadoras, especificaciones y regulaciones, así como el pago de los servicios correspondientes; instalar una planta que trate 20 toneladas de desechos por hora requiere una inversión inicial de aproximadamente 250,000 euros.²¹ Para darnos una idea de las áreas de oportunidad que esta tarea tiene, en Estados Unidos, uno de los líderes en regulación de esta actividad, existen alrededor de 3500 centros de reciclaje que apenas procesan entre el 20 y 30 % de los desechos generados.²² Otro problema con las plantas tratadoras es la contaminación auditiva y por polvo que generan; cada una ocupa en promedio 40,000 metros cuadrados de superficie. Todo esto debe ser analizado al momento de elegir su localización, la respuesta lógica podría ser construirlas lejos de centros urbanos y agrícolas pero esto implica verificar si los costos de traslado son accesibles.²³

Unidades de construcción: ladrillos y cerámicos

Uno de los materiales que se podrían reciclar con una poca variedad de intervenciones técnicas son los ladrillos y los cerámicos, ya sea su rescate como piezas completas o semicompletas o moliéndolos y procesándolos para generar nuevas piezas o materiales.

En términos aprovechables, las piezas defectuosas o mal cortadas que no fueron montadas serían los más adecuados para reusarse en el sitio de construcción para rellenar huecos, edificar paredes que serán cubiertas o paredes internas, sin la necesidad de trasladar estas piezas desechadas a otros sitios. Las limitaciones para implementar esta práctica casi corresponden a factores estéticos, sin embargo, con la gestión adecuada puede representar una contribución importante para el reúso de estos materiales. Otros usos inmediatos son en el relleno de desniveles y nivelación del suelo, así como en el pavimento, este último sí implica cierto grado de molienda y mezclado con arena y adherentes, pero aun así podría ser accesible en muchos casos.²⁴

21. Duran, X.; Lenihan, H.; O'Regan, B. A model for assessing the economic viability of construction and demolition waste recycling—the case of Ireland, *Res. Cons. Rec.* **2006**, *46*, 302–320.
22. EPA (Environmental Protection Agency), Buildings Savings: Strategies for Waste Reduction of Construction and Demolition Debris from Buildings, EPA-530-F-00-001, Environmental Protection Agency, USA, 2000.
23. Coelho, A.; de Brito, J. Environmental analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal – part I: energy consumption and CO₂ emissions, *Waste Manag.* **2013**, *33*, 1258–1267.
24. a) Can, G.; Öztas, S.; Taş E. Kerpici'23 – Gain Information from the Traditional Earthen Architecture 10th International Conference Diyarbakır Turkey, 26-27-28 October / **2023** b) https://oa.upm.es/50511/1/TFG_Bueno_de_la_Cuesta_Barbara.pdf

Reciclaje de concreto

Los concretos de forma general se elaboran mezclando cemento, agua y ciertos aditivos que le dan densidad, como arena, piedras trituradas o fibras. Usualmente se prepara con grandes cantidades de agua ya que su aplicación es por vaciado en moldes o cavidades donde se combina con estructuras metálicas que le darán resistencia mecánica a la estructura. Cuando es desechado como sobrantes de fabricación en plantas productoras, en el sitio de construcción o bien en la generación de escombros es un material corrosivo.²⁵

El reúso de este tipo de material no es nuevo, ya que al igual que las unidades de construcción, se puede utilizar para el relleno y nivelación de suelo; también es posible triturarlo y emplearlo como aditivo de densidad con otros concretos, un uso en el que muchos estudios se han centrado a diferentes niveles de manufactura y tratamiento químico,²⁶ aunque esta última alternativa requiere un procesamiento adecuado porque se tiene el riesgo de mezclar elementos como plástico, papel o pintura seca que acompañaba a la construcción de donde proviene. Así, el reúso del concreto se puede complicar conforme se van buscando estándares de calidad y seguridad reproducibles y costeables.²⁷

Uso de materiales de desecho y reciclaje en aplicaciones para la construcción

Existe una tendencia, e incluso aprobación social, generalizadas de poder reciclar materiales desechados en la elaboración de materiales para la construcción. Desde la simple mezcla de materiales triturados o molidos con arcillas y cemento para construir paredes, hasta el reprocesamiento, con sus implicaciones logísticas, para elaborar nuevos materiales. Esta alternativa no siempre termina de resolver todas las problemáticas y exigencias que el sector requiere ya que muchos materiales carecen de compatibilidad, resistencia, adhesividad, termoestabilidad o termoaislamiento, resultando así en

25. Wan Renpu, W.; Chapter 5 - Production Casing and Cementing, Editor(s): Wan Renpu, Advanced Well Completion Engineering (Third Edition), Gulf Professional Publishing, 2011, 221-294, ISBN 9780123858689, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385868-9.00009-9>.
26. a) Yadhu, G.; Aiswarya D. An Innovative Study on Reuse of Demolished Concrete Waste. *J Civil Environ Eng* **2015**, 5:5 DOI: 10.4172/2165-784X.1000185. b) Xuan, D.; Zhan, B.; Poon, C.; Zheng, W. Innovative reuse of concrete slurry waste from ready-mixed concrete plants in construction products, *Journal of Hazardous Materials*, **2016**, 312, 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.03.036>. c) N.; Saha, A.; Sarker, P. Reuse of waste glass as a supplementary binder and aggregate for sustainable cement-based construction materials: A review, *Journal of Building Engineering*, **2020**, 28, 101052, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101052>. d) Faisal Junaid, M.; Rehman, Z.; Kuruc, M.; Medved, I.; Bačinskis, D.; Curpek, J.; Čekon, M.; Ijaz, N.; Ansari, W. Lightweight concrete from a perspective of sustainable reuse of waste byproducts, *Construction and Building Materials*, **2022**, 319, 126061, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126061>.
27. Ruoyu Jin, Qian Chen, Q. Investigation of Concrete Recycling in the U.S. Construction Industry, *Procedia Engineering*, **2015**, 118, 894-901, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.528>.

esfuerzos parciales y circunstanciales para una problemática que se desplaza todos los días.

Un ejemplo sencillo de estos esfuerzos lo representan los ladrillos ecológicos de botellas de plástico implementados en muchos países subdesarrollados (*Figura 1*). La motivación de estos ladrillos surge de la necesidad de manejar y reutilizar la gran cantidad de desechos plásticos en forma de botellas, bolsas y empaques que se acumula en ciertas regiones del planeta,²⁸ sin embargo, las propiedades mecánicas de estos ladrillos impiden que se puedan hacer edificaciones resistentes y duraderas. Las propiedades intrínsecas del plástico fueron desarrolladas con propósitos muy específicos y no es sencillo evitarlas en la búsqueda de construcción de viviendas, por ejemplo, la falta de adherencia de la superficie de las botellas de plástico es lo que las vuelve seguras para envasar alimentos, y es precisamente lo que impide que se adhieran materiales como cemento, arcilla o concreto; por otro lado, la micronización del plástico es un fenómeno que se presenta en apenas unos años, impidiendo que dichos ladrillos tengan gran resistencia, poniendo en riesgo la seguridad de los usuarios.



Figura 1. Ejemplo de una edificación con larillos ecológicos.
<https://ccsbestpractice.org.uk/entries/turning-plastic-into-eco-bricks/>

Existen sin embargo esfuerzos sostenidos y mejor fundamentados del uso de materiales de desecho en la elaboración de materiales para la construcción. Son dos los beneficios principales de esta alternativa: 1) la disminución de la demanda de materiales “vírgenes” y 2) la disposición de desechos. Esto a su vez en muchos casos disminuye el consumo energético de fabricación de

28. <https://allianceforscience.org/blog/2024/01/developing-countries-victims-of-plastic-injustice-as-wealthier-nations-turn-them-into-dump-sites/>

muchos materiales y lo abarata. Muchos especialistas²⁹ sugieren que esta gestión sea geográficamente localizada, para que los costos de logística de transporte, almacenaje y comercialización puedan ser disminuidos al máximo: esto a su vez obliga a que cada región pueda proveer de infraestructura humana y científica para generar el conocimiento adecuado para gestionar los desechos particulares de cada ciudad, provincia o estado.

Por otro lado, es siempre recomendable tener una buena cantidad de caracterizaciones frente al uso de desechos como materia prima de materiales para la construcción. Para generar materiales competitivos en cuanto a calidad y costos es necesario llevar a cabo pruebas de laboratorio o al menos en plantas piloto para estandarizar procedimientos de manufactura. Mucho se habla del reúso de polímeros de llantas y envases para enriquecer concretos o elaborar ladrillos y tabiques, sin embargo, por simple que parezca, implementaciones como esta requieren procedimientos como limpieza de las piezas de plástico, estandarización del tamaño de partícula y probablemente aditivos de adherencia, los cuales puede que generen costos de operación no tan competitivos con las alternativas tradicionales. Es necesario también tener en cuenta la regulación vigente o la que pudiera surgir: ¿será conveniente utilizar envases de plástico donde estuvieron contenidos medicamentos o alimentos? ¿Los materiales generados serán aptos para todos los tipos de construcción? ¿En qué estado se deben encontrar los plásticos aptos para ser reusados?

A continuación, se enlistan ejemplos del uso de ciertos materiales de desecho en la elaboración de materiales para la construcción.

Uso de plástico y caucho

Para 2023, de las 330 millones de toneladas métricas de plástico producidas en el mundo, 9% fueron recicladas, 12% incineradas y 79% tiradas en basureros. Las principales tipos de plástico son polipropileno (PP), polietileno (PE), polietileno tereftalato (PET), poliestireno (PS) y poliolefinas. Aproximadamente 202 billones de botellas de PET se fabrican en un país como Korea. Por su parte, la mayor parte del caucho proviene de llantas desechadas, por ejemplo 100,000 toneladas de este material son generadas en Taiwan cada año, o bien, Europa produce el 24% del caucho del mundo. Pensando en tales cantidades de plástico almacenadas como desechos y en los grandes requerimientos que tiene la industria de la construcción se puede pensar en los siguientes implementos:³⁰

29. <https://offloadit.com/blog/Pros-and-Cons-of-Using-Recycled-Materials-in-Construction/>

30. a) Nadia Ahmed, N.; Utilizing plastic waste in the building and construction industry: A pathway towards the circular economy, *Construction and Building Materials*, 2023, 383, 131311, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131311>. b) Alyousef, R.; Ahmad, W.; Ahmad, A.; Aslam, F.; Joyklad, P.; Alabduljabbar, H. Potential use of recycled plastic and rubber aggregate in cementitious materials for sustainable construction: A review, *Journal of Cleaner Production*, 2021, 329, 129736, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129736>.

- Aditivo, como fibras o aglutinante para producir concreto.
- Impermeabilizante de mezclas y asfaltos.
- Estabilizante y reforzante de suelo para construcción
- Elaboración de ladrillos, pastas, bloques de piso, pavimento y sustituto de madera.

Dentro de las propiedades más estudiadas cuando se enriquecen ladrillos y concretos con plásticos están: resistencia a la tracción, manejabilidad, resistencia a la compresión, densidad en seco, módulos elásticos, resistencia a la ruptura, ductilidad, ligereza, absorción de agua, conductividad térmica, contenido de aire, resistencia al congelamiento, absorción de energía, resistencia al impacto, migración de cloruros, resistencia alcalina, resistencia al corte, carbonatación y descascaramiento. Se ha reportado que el reciclaje mecánico es el más amigable con el medio ambiente y genera productos competitivos, ya que el uso de materiales poliméricos en la generación de concreto y ladrillos depende de si estos tuvieron otros tratamientos previos o su constitución intrínseca, ya que muchos plásticos contienen halógenos o metales como plomo, antimonio o cadmio; esto abre la necesidad de establecer si no implican un riesgo a la salud pública.³¹

Dentro de las técnicas de reciclaje se distinguen:

- a) **Reciclaje mecánico.** El más equilibrado en cuanto a calidad, logística y costos.
- b) **Modificación química.** Implica el uso de materiales de desecho como materias primas para nuevos productos a través del reprocesamiento o modificación molecular. Esto requiere una selección detallada del tipo de polímero a procesar y cantidades grandes de masa para que sea rentable.
- c) **Procesamiento térmico.** Para fines de reciclaje no es aplicable a todos los polímeros y se tienen siempre emisiones intrínsecas a este proceso.

31. a) Marinelli, S.; Marinello, S.; Lolli, F.; Gamberini, R.; Coruzzolo, A.M. Waste Plastic and Rubber in Concrete and Cement Mortar: A Tertiary Literature Review. *Sustainability* **2023**, *15*, 7232. <https://doi.org/10.3390/su15097232>.
b) Jalaluddin, M. Use of Plastic Waste in civil constructions and Innovative Decorative Material (Ecro-Friendly), *MOJ civil Engineering*, **2017**, *3*, 1-10

Ejemplo de uso de plásticos en materiales para la construcción son el unicel en enriquecimiento de alfalto. Se utilizan partículas de poliestireno expandido EPS (unicel), un material plástico espumado, derivado del poliestireno y utilizado en el sector del envase y la construcción. Su cualidad más destacada es su higiene al no constituir un sustrato nutritivo para microorganismos. Es decir, no se pudre, no se enmohece ni se descompone. Otras características son su ligereza, resistencia a la humedad y capacidad de absorción de los impactos. Esta última lo convierte en un excelente acondicionador de productos frágiles o delicados. Los tabiques que han resultado de los estudios son de baja densidad y tienen una menor absorción de agua comparado con los tabiques convencionales, pues mientras que el cemento tiene entre 24 y 25% de absorción, el que desarrollaron en la Universidad Autónoma de Querétaro absorbe solo 7%, lo que lo convierte en un material impermeable y ya se pueden utilizar en la industria de la construcción.³²

A pesar de que las observaciones y mediciones de las ventajas del uso de plásticos en materiales para la construcción llegan a parecer concluyentes y una solución inmediata para ejercer una economía circular en este tipo de materiales (plásticos y construcción), algunos investigadores han señalado que dichos reportes sólo se enfocan en los casos positivos o en las propiedades favorables, desestimando aspectos como la incompatibilidad de materiales, y lo tradicionalista que es la industria de la construcción.³³

Uso de fibras naturales, celulosa y papel

Las fibras son los filamentos responsables de la composición de tejidos de origen animal, vegetal o sintético, su uso como refuerzos para materiales compuestos se debe a propiedades como resistencia mecánica, resistencia al agua, maleabilidad, biodegradabilidad y bajo costo.³⁴ Sin embargo, no todas las fibras tienen las características adecuadas para ser usadas en la construcción. Por ejemplo, una desventaja que presentan algunas fibras es que tienen una permeabilidad alta, y al absorber una gran cantidad de agua provocan una pérdida de estabilidad cuando son mezcladas con el concreto.³⁵

Algunas características físicas de las fibras se muestran en la tabla 1.

32. a) Heredia Flores, R. (2021). Evaluación del efecto del unicel con acetato de etilo en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la mezcla bituminosa en frío con agregados de la cantera Matahuasi en la provincia de Huancayo-2021. b) <http://www.teorema.com.mx/residuos/unicel-una-nueva-materia-prima-asfaltos-concreto/>
33. Kara De Maeijer, P.; Craeye, B.; Blom, J.; Bervoets, L. Crumb Rubber in Concrete—The Barriers for Application in the Construction Industry. *Infrastructures* 2021, 6, 116. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6080116>
34. Majewski, T.; Błędzki, A. Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales. *Memorias del XIX Congreso Internacional Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, 2013, reproducción*, 2, 4.
35. Juárez-Alvarado, C.; Rodríguez-López, P.; Rivera-Villarreal, R.; Rechy-de Von Roth, M. Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. *Ciencia UANL*, 2003, 4, 7-19.

Tabla 1. *Propiedades mecánicas de algunas fibras.ⁱ*

Propiedades	Tipos de Fibras						
	Carbono	Lino	Cáñamo	Yute	Sisal	Abacá	Algodón
Resistencia a la tracción (Mpa)	2400-5600	800-1500	550-900	400-800	600-700	400-1300	400
Módulo de Young ^a (Gpa)	300-500	60-80	70	10-30	38	45	12
Elongación a la rotura (%)	0.3-2	1.2-1.6	1.6	1.8	2-3	2-7	3-10
Densidad g/cm ³)	1.75	1.4	1.48	1.46	1.33	1.5	1.51
Absorción del agua (%)	-	7	8	12	11	8-10	8-25

i. Tomada de Majewski, T., & Błędzki, A. (2013). Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales. Memorias del XIX Congreso Internacional Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, reproducción, 2, 4. a) Módulo de Young: es un parámetro utilizado para describir el comportamiento de un material elástico. Cuanto mayor sea su valor, más rígido es el material.

Uno de los primeros materiales en ser reforzado con fibras naturales fue la mezcla de un material árido (arcilla) con las fibras vegetales (paja), para crear el primer bloque de construcción, el adobe. Este ladrillo primitivo se secaba al sol y cuando secaba tenía la consistencia de una piedra arenisca, pero mucho más ligera. Las construcciones de adobe se remontan alrededor del 13.000 a. C. y aún se construyen estructuras siguiendo esta técnica, **Figura 2**.

**Figura 2.** *Vivienda construida a base de bloques de adobe.*

Estas fibras son obtenidas a partir de desechos de cáscaras de algunos frutos que se utilizan en la elaboración de alimentos y otras son obtenidas a partir de plantas.⁴ Entre estas se encuentran las que se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. *Tipos de fibras que se producen en el mundo y que han sido estudiadas para la elaboración de materiales.ⁱⁱ*

Fuente de la Fibra	Producción Mundial (10 ³ ton)
Bambú	30.000
Bagazo de caña de azúcar	75.000
Yute	2.300
Kenaf	970
Lino	830
Césped	700
Sisal	375
Cáñamo	214
Bonote	100
Ramina	100
Abacá	70

ii. Tomada de Mohammed, L., Ansari, M. N., Pua, G., Jawaid, M., & Islam, M. S. (2015). "A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications". *International Journal of Polymer Science*, 2015.

A continuación se presentan algunas de las aplicaciones que tienen el uso de las fibras naturales; éstas se dividen en dos grupos:

–**Celulosas:** algodón, lino, yute, cañamo, entre otras. Todas estas son derivadas de fuentes vegetales y constituidas principalmente por celulosa, materia estructural de las plantas.

–**Proteicas:** lana, seda y fibras de pelo de animales. Proviene de distintas proteínas estructurales, como por ejemplo la queratina.

El soporte de la constitución química de todas las fibras vegetales es la celulosa (**Figura 2**) y la lignina.⁵ La ventaja principal de estos materiales es que se incorporan bien a las unidades de concreto y absorben el estrés mecánico. Para los materiales compuestos con fibras vegetales, la celulosa

proporciona resistencia a la tracción y flexibilidad, mientras que la lignina posee propiedades de impermeabilización y proporciona dureza y resistencia a los materiales que se constituyen de fibras vegetales.³⁶

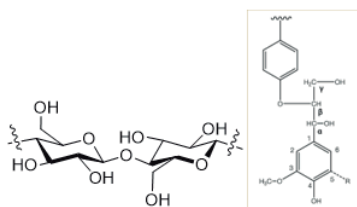


Figura 2. Cadena celobiósica de las fibras celulósicas.

La celulosa está en proporciones más o menos grandes y mezclada con otros compuestos, dando una serie de fibras que se extienden desde su forma más simple como el algodón, hasta los compuestos llamados fibras bastas (aquellas obtenidas de tallos).³⁷

Las fibras de la planta de cañamo han sido útiles para este tipo de estudios. Se ha reportado el tratamiento de estas fibras con solución de hidróxido de sodio (NaOH), para después ser agregadas a volúmenes de concreto a diferentes porcentajes volumétricos para la elaboración de bloques de construcción. Después de las pruebas mecánicas que se les aplicaron, presentaron buenas propiedades para aplicaciones en mampostería, baldosas, adoquines, entre otros materiales.³⁸

Por el contrario los resultados que se tienen del uso del bagazo de caña y la estopa de coco para elaborar paredes falsas, no tuvieron los resultados esperados, pues al realizar las pruebas mecánicas no pasaron la prueba de porosidad, por lo que sirven para ser colocados en el interior de las construcciones, ya que no resisten la humedad. Además pudieron observar que el adicionar goma arábiga y carbonato de calcio permiten la adhesión y fraguado (endurecimiento) de los materiales, siendo importantes para la elaboración de los materiales buscados.³⁹

36. a) Hospodarova, V.; Stevulova, N.; Briancin, J.; Kostelanska, K. Investigation of Waste Paper Cellulosic Fibers Utilization into Cement Based Building Materials. *Buildings* **2018**, *8*, 43. <https://doi.org/10.3390/buildings8030043>. b) Salem, R.; Al-Salami, A. Preparation of waste paper fibrous cement and studying of some physical properties. *Civil and Environmental Research*, **2016**, *8*, 42-54. c) Delcassee, M.; Rahul, V.; Abhilash, C.; Pavan, M. Papercrete bricks an alternative sustainable building material. *Int J Eng Res App*, **2017**, *7*, 9-14.
37. Cabezali-Hernández, M. Iniciación en materiales, productos y procesos textiles. IC Editorial. ISBN: 9788491984658.
38. Awwad E.; Mabsout M.; Hamad B.; Talal F.; Khatib H. Studies on fiber-reinforced concrete using industrial hemp fibers. *Construction and Building Materials*. **2012**, *35*, 710-717. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.119>
39. a) Álvarez, J., Huicochea, R., Martín, M., Meza, G., Romero, C. Elaboración de material para la construcción de paredes falsas en interiores con una base de bagazo de caña saccharum officinarum l y estopa de coco cocos nucifera l. *Instituto Irlandés*. **2012**. Tesis profesional. b) Maraveas, C. Production of Sustainable Construction Materials Using Agro-Wastes. *Materials* **2020**, *13*, 262. <https://doi.org/10.3390/ma13020262>

El clima es un factor que muchas veces no se tiene contemplado cuando se va a usar un material para la construcción, tal es el caso del concreto. Este material muy utilizado en la construcción tiene una gran fragilidad, que le proporciona una desventaja para su uso, por lo que tiene que ser reforzado con barras de acero que toman resistencia a la tracción. Sin embargo, este material se adaptó con dificultades al clima desértico debido a su ambiente seco y caluroso; disminuyendo su resistencia a la flexión y que le proporcionó un alto nivel de contracción y agrietamiento con el paso del tiempo. Debido a esto, el reforzamiento de los hormigones usando fibras de palmeras datileras resultó de gran interés y proporcionó buenos resultados mejorando las propiedades mecánicas en la limitación y control de las grietas, mejorando la resistencia a la flexión y la resistencia a la tracción. Además, se sustituyeron las fibras de amianto (asbesto), que presentan un peligro para la salud humana, pues se considera un agente cancerígeno.⁴⁰

Las pastas Kraff de residuos de sisal y banano, así como las plantas de celulosa de *Eucalyptus grandis*, también pueden ser usadas en el reforzamiento de la base de cemento. Un estudio de este tipo se realizó con estas fibras por un método de deshidratación al vacío. Una vez que se obtienen ciertas placas de estos materiales se realizaron las pruebas mecánicas, que dieron un rendimiento óptimo de estos materiales, lo que indica que pueden sustituir al cemento blando, además de su bajo costo.⁴¹

Las fibras de yute químicamente modificadas (agente de refuerzo), mezcladas con látex de polímero (modificador de superficie para fibra y matriz) y tanino (mezcla reductora de agua), han sido relevantes para ser usadas como tubos que transportan el agua subterránea, ya que dan una mejor resistencia en comparación con los tubos comerciales.⁴²

También se pueden utilizar fibras de coco y bagazo de caña para el refuerzo de materiales, ya que son más resistentes que los que sólo tienen en sus componentes materias primas convencionales. Estos materiales compuestos no presentan fracturas debido a la flexibilidad y ductilidad que adquiere la estructura formada por la mezcla y las fibras vegetales. La adición de goma arábiga y carbonato de calcio son importantes en la elaboración del material

40. a) Abani S.; Kriker A.; Bali A. Effect of curing and mix design types on performance of date palm fibres reinforced concrete under hot dry environment. *11th Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference (IIBCC)*, 2008. b) Kriker, A.; Debicki, G.; Bali, A.; Khenfer, M.; Chabannet, M. Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate. *Cement & concrete composites*, 2005, 27, 554-564. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.015>
41. Savastano Jr., H.; Warden, P.; Coutts, R.; Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites. *Cement & concrete composites*, 2000, 22, 379,384. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00034-2](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00034-2)
42. Kundu, S.; Chakraborty S.; Roy, A.; Majumder, A. Chemically modified jute fibre reinforced non-pressure (NP) concrete pipes with improved mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 2012, 37, 841-850. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.082>

propuesto ya que permiten la adhesión y fraguado de los materiales. Aunque se observa que el material compuesto no es resistente al contacto del agua, sin embargo se puede utilizar para interiores.⁴³

Así, se pueden encontrar empresas que tienen como ideología crear productos utilizando fibras naturales para reducir el daño medio ambiental. Una de ellas es Cannabric, fundada en Alemania a finales del siglo pasado, cuyo motivo es la fabricación de bloques de bio-construcción a base de subproductos del Cáñamo. Cuentan con una amplia gama de productos como son el cannapapel, cannabrick, tableros de cáñamo, fieltros de cáñamo, entre otros. Otra empresa dedicada a las nuevas técnicas de reutilización de las fibras, es la empresa *RMT-NITA*, dedicada a la creación de mantas de fibras para aislamiento. Esta empresa utiliza diferentes fibras de materiales como lana, algodón y cáñamo.

El manejo de los residuos generados por la industria de la construcción en México se lleva a cabo por empresas como *Concretos Reciclados*. Este tipo de empresas se dedican al reciclaje de materiales de construcción. El costo es de 40 pesos por metro cúbico para cualquier camión de desechos de construcción, mientras no se encuentre mezclado con residuos que procedan de otras actividades.⁴⁴

43. Álvarez-Molineros, D. Caracterización físico-mecánica de morteros fibroreforzados de matriz cementicia y fibra de coco. En (1 ed. pp. 3-59). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008

44. Ramírez, J. Guía para el manejo de residuos sólidos generados en la industria de la construcción. *Universidad de las Américas, Puebla*. 2007. Tesis profesional.

Conclusión

El uso de fibras, aporta una nueva forma de abordar la manera en que se fabrican los materiales para construcción de tal forma que se disminuyen los daños medio ambientales, a la vez que se obtiene un material consistente con los requerimientos para una edificación segura. También se elaboran materiales ecológicos a partir de escombros y de residuos sólidos industriales, que sustituyen el consumo creciente de materias primas, escasas o ubicadas en sitios distantes, reduciendo el incremento de costos y resultando más económicos que los materiales tradicionales de construcción. El uso de materiales compuestos se ha visto fuertemente impulsado por el interés de conservar recursos no renovables y utilizar materiales de desecho de otros procesos. Las fibras naturales como el kenaf, el lino y el bonote del coco, entre otras, son materiales de fuentes renovables, de menor costo, menor densidad, menor peso y menos abrasivas para el proceso, pero aún quedan algunas barreras por superar en el desarrollo de estos materiales como son la baja estabilidad térmica y su tendencia a absorber la humedad del ambiente.

Finalmente, también el uso de agregados poliméricos puede ser ventajoso, aunque existen problemas por resolver para alcanzar las condiciones óptimas de resistencia mecánica y electroquímica.