

Gestión de Residuos de la Construcción y la Demolición en Brasil y México: Ideas de regulación, cambios, procesos e innovación

Construction and Demolition Waste Management in Brazil and Mexico: Ideas for regulation, changes, processes and innovation

Ibarrias González José Fernando¹

Jalomo Aguirre Francisco²

Fecha de recepción: 12/04/2024

Fecha de aprobación: 15/05/2024

Resumen: En Latinoamérica la industria de la construcción es uno de los principales motores económicos de la región, que consume una cuantiosa cantidad de elementos naturales y a su vez genera una gran cantidad de residuos que se envían al ambiente, contaminándolo. Brasil y México son referentes en la creación de legislaciones, normativas y procesos para la correcta gestión de los Residuos de la Construcción y la Demolición; Por ello, ante la carencia de una revisión disciplinar sobre el estado de la cuestión al respecto, este artículo busca analizar que se ha hecho en estos dos países en aspectos legislativos, normativos y académicos, para su correcta gestión y la innovación en su uso en nuevos materiales, empleando una revisión bibliográfica. Los resultados demostraron que Brasil lleva un avance significativo al contar con una ley a nivel federal, innovando en sus procesos de gestión. Mientras que en México solamente dos Estados tienen una reglamentación adecuada basada en la normativa, desarrollando una mayor experimentación.

¹ Doctor en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad y profesor base de la Universidad Autónoma de Guadalajara jose.ibarrias@edu.uag.mx

² Doctor en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad, profesor investigador de la Universidad de Guadalajara y abogado ambientalista francisco.jalomo@academicos.udg.mx

Palabras Clave: construcción, demolición, normatividad de residuos, gestión.

Abstract: In Latin America, the construction industry is one of the main economic drivers of the region, which consumes a large amount of natural elements and in turn generates a large amount of waste that is sent to the environment, polluting it. Brazil and Mexico are leaders in the creation of legislation, regulations, and processes for the correct management of Construction and Demolition Waste; Therefore, given the lack of a disciplinary review on the state of the matter, this article seeks to analyze what has been done in these two countries in legislative, regulatory and academic aspects, for their correct management, using a bibliographic review. The results showed that Brazil has made significant progress by having a law at the federal level, innovating in its management processes. While in Mexico only two states have adequate regulations based on regulations, developing greater experimentation.

Key words: construction, demolition, waste regulations, management.

Introducción

De acuerdo con la CEPAL (2022) el 81% de la población en Latinoamérica vive en ciudades, lo que entre otros factores ha provocado la necesidad de adaptar y renovar los espacios de acuerdo a las necesidades de la creciente población, a través de la construcción y demolición de distintos tipos de edificaciones e infraestructuras. A consecuencia de estas actividades, uno de los principales retos para los países latinoamericanos es la gestión de los Residuos de la Construcción y la Demolición (de aquí en adelante RCD), debido a que su incorrecta disposición final trae consigo problemas ambientales (sociales, económicos, ecológicos, políticos, culturales y éticos).

Los Residuos de la Construcción y la Demolición (RCD) son todos aquellos subproductos generados en actividades tales como excavaciones, demoliciones, ampliaciones, remodelaciones,

modificaciones o construcciones públicas o privadas, que se desechan, siendo susceptibles a una valorización o a un tratamiento para su correcta disposición final. Suelen estar constituidos por fragmentos o restos de piedras, tabiques, tierras, concretos, morteros, maderas, alambres, resinas, plásticos, yesos, cales, cerámicas, tejados, pisos, entre otros. (CMIC, 2017)

En el mundo se estima que anualmente la industria de la construcción genera alrededor de 6.5 mil millones de toneladas de residuos de los cuales 3 mil millones de toneladas, **es decir 46%**, corresponden a residuos inertes que generan contaminación del agua, tierra, aire y afectación de los ecosistemas. (Alianza verde juntos por la ciudad, 2022, negritas propias)

En Brasil, de acuerdo con la Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, por sus siglas ABRELPE (2015) en su publicación denominada Panorama dos resíduos Sólidos no Brasil, menciona que más del 40% de los residuos sólidos son producidos por la industria de la construcción y la demolición. Pereira et al. (2020) menciona que las alcaldías en Brasil han reportado que durante un año se producen 45 millones de toneladas de RCD.

En México, no se cuenta con un dato de la generación total de RCD, pero Molina et al. (2015) menciona que se generan 30 millones de toneladas de residuos de concreto hidráulico al año. También se cuenta con registros de la cantidad de RCD que se generan en los Estados de Jalisco y la Ciudad de México. Siendo en el primero de ellos, de acuerdo con el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos de Jalisco, contabilizados alrededor de 7 millones 119 mil toneladas al año en promedio (SEMADET, 2017). Mientras que, en la Ciudad de México, de acuerdo con la Alianza verde Juntos por la Ciudad (2022), se estima que produce alrededor de 16 mil toneladas de residuos diarios, lo que significan 5 millones 840 mil toneladas anuales.

La disposición final inadecuada de los residuos mencionados, trae consigo una serie de problemáticas ambientales, que a decir de datos de la Organización Mundial de la Salud u OMS, ha generado que 12.6 millones de personas murieran por vivir o trabajar en ambientes poco saludables,

donde factores de riesgo como la contaminación de aire, agua, tierra y suelo, la exposición a productos químicos, el cambio climático y la radiación ultravioleta, contribuyen al padecimiento de más de 100 enfermedades asociadas a dicha contaminación y por consiguiente a la degradación del ambiente. (WHO, 2016)

Así, a pesar de que el informe denominado La evolución económica de los países miembros de la FIIC 2018-2019, presentado por la Federación Interamericana de la Industria de la Construcción (FIIC, 2017), estima que en dichas naciones las ganancias superan los 4 billones 395 mil millones de dólares, aportando el 7.7% del PIB, no se tiene un verdadero registro y control en el destino de los RCD, lo que pone de manifiesto que las ganancias para los particulares son altas, en detrimento de la degradación ambiental que dicha labor ocasiona y, donde se suman como se ha señalado, serios problemas a la salud de diversas poblaciones.

Por lo anterior, como idea puntera, este trabajo pretende analizar que se ha hecho en Brasil y México en aspectos legislativos, normativos y académicos, para la correcta gestión de los RCD y la innovación en su uso en nuevos materiales.

Metodología

Para el desarrollo de este artículo se revisaron dos tipos de documentos: primeramente, la legislación y normativa existente dentro de Brasil y México, a nivel nacional y estatal; en un segundo plano se analizaron investigaciones realizadas dentro de estos dos países entre 2015 y 2020, categorizadas en gestión de RCD, creación de materiales, y experimentación o caracterización de agregados. A través de esta comparativa se puede analizar cómo la legislación y la normativa afectado la gestión de los RCD y los procesos de innovación en los materiales creados con estos residuos.

Dinámicas y procesos entre tequilas y caipirinhas relacionados con la construcción y la demolición

En el artículo Nueve de cada 10 viviendas de América Latina y el Caribe son de baja calidad, publicado por El país, se menciona que Latinoamérica es la segunda región más urbanizada del planeta, tiene 242 ciudades de menos de 2 millones de habitantes cada una, éstas producen el 30% del PIB de la región, que en 2025 será el 40%. En los últimos 20 años países como: Brasil, Colombia, Perú, Chile, Paraguay y Argentina, han entregado más de 6 millones de viviendas a personas de escasos recursos, pero a consecuencia del aumento poblacional se ha ido requiriendo más inversión en este tipo de vivienda. (Rossel, M; 2018)

A consecuencia del aumento poblacional, varios países han tenido que hacer diversos proyectos estratégicos para solventar las necesidades de la población. Entre los cuales destacan Brasil y México, que en el imaginario de los bebedores de tragos típicos de cada país pueden ser representados como caipirinhas y tequilas, pero además son dos de las principales economías en la región de Latinoamérica, que tienen desarrollos sobresalientes apuntalados por la industria de la construcción, con proyectos estratégicos. Pero a consecuencia de estas actividades se generan una gran cantidad de residuos que han traído diversas problemáticas sociales, económicas, ecológicas, políticas, culturales y éticas.

Para comprender las dinámicas de estas dos naciones, como punto de partida se deben de entender sus características geográficas; Brasil o la República Federativa de Brasil, se encuentra al sur del continente americano, está habitado por 203.1 millones de personas, su principal idioma es el portugués; cuenta con 26 Estados más Brasilia como capital. (Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación; 2024). En el caso de México o los Estados Unidos Mexicanos, se encuentra en el norte del continente americano, está habitado por 126 millones de personas, su principal idioma es el español; cuenta con 32 entidades federativas más la Ciudad de México como capital nacional. (Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación; 2024).

Para el caso de México uno de sus diversos proyectos estratégicos para solventar las necesidades de una población cada vez más creciente, es el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles, teniendo desde

el 2019 avance de más del 50%; la construcción de su pista principal necesitó de alrededor de 3,200 metros cúbicos de concreto de acuerdo con el artículo Finalizan construcción de pista central en AIFA. (Redacción A21, 2021)

En el caso de Brasil tienen 4 proyectos de mejoras en Río de Janeiro: Primero la concesión de la carretera BR-040 que representa una ampliación de 450 km y una inversión de 9.2 millones de reales; Le sigue el proyecto vial Transbaixada que incluye una vía de 12 km, entre las carreteras de Washington Luiz y Presidente Dutra, seis viaductos y siete puentes; En tercer lugar la vía férrea Rio-Vitória de 578 km que incluye seis túneles, 171 viaductos viales, 130 puentes ferroviarios y 177 pasos a desnivel y pasos de peatones y; Finalmente el proyecto del gasoducto conocido como Rota 4b que es un gasoducto de 300 km con una inversión de 4,850 millones de reales. (Bamericas,2023)

En la construcción de estos proyectos estratégicos en estos dos países se han empleado una gran cantidad de elementos naturales que se transformaran para su tangibilización, pero a su vez se generaran una gran cantidad de impactos ambientales en los que resalta la generación de los RCD, que si no se lleva de manera adecuada traerá consigo efectos negativos ecológicos, económicos, sociales y políticos.

La cuantiosa generación de RCD a consecuencia de la intensidad con la que se lleva las actividades productivas de la construcción ha provocado diversos impactos negativos a causa de su disposición final inadecuada, entre los que destacan la pérdida de los ecosistemas estratégicos, la contaminación del aire, agua y suelo por los polvos y lixiviados que estos generan. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2021)

Existe la creencia de que los RCD al estar compuestos principalmente por materia inorgánica generan poca o nula contaminación a diferencia de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), pero la realidad es que bajo ciertas condiciones pueden llegar a ser biodegradados, convirtiéndose en sustancias contaminantes en diversas formas: Gaseosas, lixiviados y sedimentos. (Mejía et al.; 2013)

Las escombreras o lugares donde se almacenan los RCD tienen una alta producción de sulfuro de hidrogeno, resultante de la reducción biológica de los paneles de yeso al ser expuestos al agua. Entre las propiedades físicas del sulfuro de hidrogeno resaltan su desagradable olor, su naturaleza corrosiva y su toxicidad en altas concentraciones, los efectos que producen a las personas son irritación en los ojos o la garganta. (Plaza et al.,2006; Weber et al.,2002; ATSDR,2006)

Una pequeña cantidad de los RCD puede contener plomo, mercurio, sustancias para el tratamiento de la madera, contenedores de solventes y asbestos. A consecuencia del contenido nocivo que puede contener los RCD para el medio ambiente y la salud, se han hecho estudios para determinar la toxicidad de los residuos inertes de las escombreras. Distintos elementos constructivos tienen sustancias peligrosas en su desecho: tejas, baldosas y cemento contienen asbestos; lámparas fluorescentes contienen mercurio, maderas tratadas contienen arsénico, cromo, pentaclorofenol, cresota y lindano; algunas pinturas y tubos contienen plomo; juntas y selladores contienen policlorobifenilos. (Roussat et al.;2008)

Resultados

En Latinoamérica, en el ámbito normativo y legislativo, Brasil y México son de los países con un mayor avance a consecuencia de los grandes volúmenes de RCD generados por sus industrias de la construcción. En Brasil, de acuerdo con Bocanegra (2022) la Cámara Brasileña de la Industria de la Construcción (CBIC) estima que sus costos aumentaron un 7.53%, y en junio de 2022 el Índice Nacional de Costos de la Construcción (INCC) aumentó en 2.14% respectivamente. La CBIC indicó que el costo de la mano de obra aumentó un 3.35%, el PIB de la construcción en 2021 aumentó un 9.7%, el mayor registrado en 11 años. La industria de la construcción, de acuerdo con el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), aporta el 5.8% del PIB nacional, empleando 3 millones de personas. (Dalla, 2017)

Por su parte en México la industria de la construcción es uno de los principales pilares de su economía, que atrae una gran cantidad de inversión pública y privada, que genera un alto número de empleos. Esta industria en 2021 contribuyó con el 6.8% al PIB nacional, mientras que en 2022 generó 464,157 empleos, con 26,760 empresas registradas en este ramo. (Statista Research Department, 2023)

Con base a las cifras anteriormente mencionadas, se puede inferir que la industria de la construcción en las dos naciones señaladas representa un motor de la economía, por su impacto en el PIB y su generación de empleo, pero al mismo tiempo también es una industria que tiene una alta demanda de elementos naturales, para emplearlos en sus procesos que generan una gran cantidad de residuos. Ante esta situación se vuelve vital la existencia de una legislación, normativa o reglamentación que regule los procesos de disposición final y aprovechamiento de los RCD.

De acuerdo con Favaretto et al. (2017) en Brasil se cuenta a nivel nacional con la CONAMA 307, que clasifica los RCD en 4 categorías: A, B, C y D. Los clase A contienen los residuos reusables y reciclables producidos por la construcción, demolición y renovación de pavimentos, entre ladrillos, bloques, losetas, pisos, morteros, concretos, etc. En el caso de los clase B estos contienen residuos de plástico, papel, cartón, metales, vidrio y madera, entre otros. Y los C son residuos que no pueden ser reciclados y deben ser mandados a un sitio de disposición final autorizado. Siendo finalmente los D, aquellos peligrosos por estar contaminados con petróleo, solventes o pinturas, es decir, que tienen alguna característica corrosiva, reactiva, explosiva, tóxica, inflamable o biológica/infecciosa.

En el caso de México no se cuenta con una ley a nivel nacional especializada en la gestión de RCD como en Brasil, sino que pertenecen a la categoría de Residuos de Manejo Especial (RME), que se incluyen en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LPGIR) aplicable a nivel nacional, en donde se especifican las maneras en las que deben ser gestionados. Por otro lado, dos de los Estados que integran México, Jalisco y la Ciudad de México, cuentan con documentos que regulan a nivel local la gestión de los RCD.

La Ciudad de México cuenta con la Ley de Economía Circular, apenas del 2023, que busca un desarrollo restaurativo, regenerativo y sustentable, mediante incentivar las acciones de producción sostenible a través del rediseño, reducción, reúso, reparación, reciclaje y recuperación; fomenta modelos de negocios sostenibles que minimicen los impactos negativos al medio ambiente. También cuenta con la normativa NACDMX_007_RNAT_2019 que tiene como objetivo la clasificación de los RCD, para establecer las especificaciones y requisitos para su manejo integral, así mismo también los requisitos para la elaboración de un Plan de Manejo de RCD. Mientras que el Estado de Jalisco cuenta con la NAE-SEMADET-001/2016 en la que se especifican los criterios y técnicas en la que los RCD deben ser separados, clasificados y valorizados. De resto del país, nada se tiene en específico como lo antes señalado, aunque como ya se refirió México cuenta con una Ley que aplica de forma general a todo el territorio nacional.

Al ser necesaria una gestión adecuada para este tipo de residuos, en Brasil Giordano y Peixoto (2016) desarrollaron un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) al sur de Brasil en el que se determinó lo beneficioso del reciclaje de los RCD, partiendo de una clasificación en obras y una transportación menor a 30 km. En México, para el Área Metropolitana de Guadalajara Ibarrias (2020) definió un plan para la gestión de los RCD en obras, demoliciones y construcciones, que, mediante un incentivo económico al constructor, como lo son las condonaciones de los costos de permisos de construcción, logra que el constructor separe sus RCD en obra.

En la gestión de los RCD es importante saber las características que deben de tener las plantas de reciclaje, por esta razón Pereira et al. (2020) evalúa los costos que tienen estas plantas en Brasil, haciendo una revisión de la literatura, inventario de los insumos, análisis de indicadores económicos y un análisis de sensibilidad de soluciones alternativas. En su resultado llega a la conclusión de que el desarrollo de una planta de reciclaje de RCD no es económicamente atractivo para un inversor a consecuencia de sus

altos costos de operación, un subsidio gubernamental podría ayudar, pero el avance tecnológico sería la solución más adecuada a la necesidad de hacerlo económicamente viable.

Por otro lado, mediante el uso de un software especializado Dalla et al. (2017) hacen un Análisis de Ciclo de Vida o ACV de dos edificios al sur de Brasil mediante 5 indicadores: El generador de altura de residuos, costo por área construida, Índice de Calidad de Segregación de los Residuos, Índice Efectivo de la Gestión de Residuos e Índice de la Calidad de la Gestión de Residuos. Con este software las empresas constructoras detectaron debilidades en sus procesos de gestión de RCD, que al ser corregidas trajeron beneficios económicos.

El uso de tecnología para la clasificación y el análisis de la generación de RCD es esencial para su correcta gestión, por esta razón, en México Erazo (2024) empleó un Sistema de Información Geográfico (SIG) que registra el área edificada con la expansión del uso del suelo habitacional de densidad baja, media y alta, calculando la cantidad de residuos generada entre 1990 y 2020, permitiendo analizar los impactos que estos residuos han provocado en Cuernavaca, capital del Estado de Morelos, para tomar decisiones a futuro sobre la correcta gestión de los RCD.

En México Benoit (2020) identificó e hizo una propuesta de alternativas viables para la reutilización, uso y manejo de materiales de residuos de la construcción, mediante objetivos específicos como: La armonía ambiental, la gerencia del manejo de residuos, minimizar el desperdicio constructivo, utilización de tecnología constructiva y la resistencia-calidad.

En la búsqueda de desarrollar una metodología para la evaluación del impacto ambiental de la disposición ilegal de los RCD, Fernandes et al. (2018) desarrolló un estudio en 7 municipios de Pernambuco, Brasil: Cabo de Santo Agostinho, Jaboatão Dos Guarrapes, Sao Lourenco da Mata, Recife, Olinda, Paulista y Camaragibe. Evaluó aspectos negativos de la contaminación al hacer uso de estos sitios, indentificando 1,252 sitios irregulares distribuidos entre estos municipios, algunos de alto riesgo

por la contaminación producida por los RCD. Esta herramienta permite tomar acción en contra de los riesgos que representan estos sitios.

A consecuencia de la gran superficie ocupada por zonas urbanas y reservas naturales en la Ciudad de México, se ha dificultado la búsqueda de sitios para la disposición final de RCD. Por esta razón Hernández et al. (2019, **negritas propias**) definió una metodología para ubicar sitios de disposición final para RCD, para esto se evaluaron 12 sitios localizados en el sur y oriente de la ciudad. Se utilizó la técnica de Análisis Jerárquico conocida como AHP, en la cual se eligen las variables por un grupo de expertos interdisciplinario, dividiéndose en tres criterios: **ecológicos**, técnicos y socioeconómicos.

En sintonía, Ferreira et al. (2020, **negritas propias**) desarrolló una herramienta para gestionar los RCD en las ciudades brasileñas, facilitando la obtención de datos cuantitativos sustanciales. Para ello utilizó el Índice de Evaluación para la Gestión de Residuos de la Construcción, que combina información cuantitativa y cualitativa, compuesto por 49 indicadores y 19 criterios: Operacional, **ecológico**, político-económico, educativo, y sociales. Esta herramienta se probó en 4 municipios: Santa Rita do Sapucaí, Pouso Alegre, Machado, Tres Coracoes y, en los 4 la gestión de RCD resultó ineficiente.

Ante la necesidad de contrastar la gestión de los RCD que se realiza en Brasil, Nunes y Mahler (2020) realizaron una investigación de los procesos que se llevan a cabo en el país para compararlos con los que realizan la Unión Europea y Estados Unidos. En esta investigación se concluyó que los procesos de gestión de RCD que se llevan en Brasil están muy por debajo de los desarrollados en los países analizados, identificando diferencias y similitudes, a la vez que también potencialidades de mejora.

Otro de los estudios que analiza los impactos ambientales de los RCD en una población, es el que realizó Campos y Armendoeira (2021), así estudiaron la situación que se está suscitando en Cabo Frío, Brasil, donde se sufren importantes afectaciones en sus áreas protegidas por la disposición inadecuada de los RCD, lo que derivó en acciones como la eliminación de estos residuos en dichos sitios y la

implementación de una aplicación móvil para el registro de su producción y seguimiento, para un mejor control en su disposición final.

Rodríguez (2020) analizó la generación de RCD en vivienda de interés social en el Estado de Morelos, México, principalmente lo generados en la colocación de loseta cerámica. Para esto se caracterizaron los materiales utilizados en la colocación del piso de loseta cerámica, se diseñó una metodología para medir su generación de residuos y se construyó una base de datos para un diagnóstico básico de residuos.

Ante la necesidad de modelar los procesos municipales de gestión de RCD en Brasil, Esguicero et al. (2021) a través de una revisión de la literatura, identificó las funciones y el flujo lógico de los procesos de gestión de RCD, y las actividades realizadas desde la generación de los residuos hasta su disposición final, incluyendo los procesos de generación de residuos, recogida/transporte, inspección, reciclaje y reutilización. Este estudio reveló áreas de oportunidad en los procesos de reciclaje de los RCD y también limitaciones en el marco legal para la aplicación de los RCD en aplicaciones constructivas.

Ante la generación tan cuantiosa de los RCD en Brasil se vuelve indispensable la aplicación de la Economía Circular, por sus siglas EC. Por lo que en el mismo canal, Hentges et al. (2021) evaluaron las políticas públicas existentes en Brasil, en la búsqueda de la incorporación de la Economía Circular en ellas, proponiendo mejoras a las etapas de planificación y diseño, fabricación de materiales, procesos constructivos, uso y demolición.

Lamego et al. (2021) en su investigación identificó estrategias para la gestión de RCD a nivel regional, involucrando a distintos actores de la industria de la construcción, lo que le llevó a identificar como se tenía éxito operativo al respecto en el municipio de Manaus, Brasil, en el centro de la selva Amazónica. Dicha investigación reveló ineficiencia en la supervisión de la disposición de los RCD, la falta de oportunidades de reutilización y reciclaje y la eliminación en sitios ilegales.

En Brasil mediante una evaluación de la aplicación de la legislación existente acerca de los RCD entre los constructores, haciendo uso de una encuesta, Thives et al. (2022) llegó a la conclusión de que estos residuos se componen principalmente de mortero, hormigón, madera y vidrio. Los materiales reciclados carecen de un control de calidad cuando se producen a gran escala, existiendo una desigualdad en la distribución de las plantas de reciclaje en Brasil, teniendo en el sureste el 65% de las plantas y en el norte ninguna.

La caracterización y la experimentación de los materiales creados a base de los RCD se vuelve esencial para la correcta gestión de estos residuos, por esta razón Espino et al. (2019) realizaron una sustitución de agregados pétreos naturales, por agregados de concreto reciclado, implementando una sustitución de entre el 10% y 20%, brindando características similares a las de las mezclas asfálticas naturales. Por otro lado, Hidalgo (2020) realizó la elaboración de un mortero con cemento y agregados provenientes de RCD generados en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas en México. Y luego de diversos ensayos en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, se demostró que los resultados obtenidos cumplen con las normativas NMX-C-486-ONNCCE-2014 y NTC, 2017, haciendo a este mortero apto para la construcción de estructuras de mampostería, recubrimientos o aplanados.

En Brasil, Favaretto et al. (2017) en región de Passo Fundo de Rio Grande do Sul utilizó RCD para la creación de concreto celular, utilizando solamente procesos de tamizados para su caracterización, mostrando características regulares de los RCD para la creación del concreto celular ya que su resistencia a la compresión y su densidad disminuyeron. Por otro lado, Da Silva et al. (2021) realizó una caracterización de RCD de 24 sitios de construcción en sus fases de estructuras, albañilería y acabados. Se realizaron 4 tipos de mezclas tomando como referencia el concreto C25, reemplazando al 50% y 100% sus áridos; los morteros mostraron mayor adherencia y resistencia mecánica, los concretos mostraron

mayores densidades, mayor resistencia a la penetración de cloruro, pero con una pequeña reducción en su resistencia mecánica.

Serralde et al. (2021) mediante la caracterización de los RCD determinó un uso alternativo de este material en la elaboración de bloques de pumicita con agregados se obtuvieron de la planta de Concretos Recicladados SA de CV. En el análisis de RCD y diatomita en la búsqueda de mejorar sus propiedades mecánicas se demostró que están compuestos principalmente de aluminio, silicatos y carbonatos, produciendo con estos materiales bloques, con resistencias de 22 a 24.4 kg/cm², siendo superiores a los comerciales.

También Tahuitom et al. (2022) realizó el diseño de mezclas de concreto de 150 kg/cm² mediante el método de los coeficientes de ACI del American Concrete Institute, utilizando agregados reciclados y naturales en diferentes porcentajes, comprobando que si bien con sustitución de agregados al 100% no se cumplía con la normatividad, con agregados parciales si se cumplieron solamente cuando se mantenían el 100% de las arenas naturales, sustituyendo únicamente el total de las gravas con agregados reciclados.

Por otro lado, Jiménez (2022) analizó el uso de agregados gruesos en concretos $F'c=200$ kg/cm², a través de ensayos que determinaron el esfuerzo de fractura y su resistencia, concluyendo que pueden ser utilizados estos agregados en estos materiales con seguridad.

Asimismo, Bucio y Flores (2022) realizaron un análisis cuantitativo de los agregados finos reciclados en las propiedades mecánicas del concreto no estructural, haciendo variaciones en su aplicación de entre el 50% y el 100%, con el fin de generar alternativas para este material.

En el norte de México, Rivera (2022) da a conocer el uso y destino de los RCD en Hermosillo, Sonora, mediante una encuesta realizada a constructores. Los resultados arrojan que el principal residuo es del concreto y que las constructoras están preocupadas por el aprovechamiento de estos residuos. Esta investigación propone la creación de un centro de acopio y/o transferencia de materiales como parte de las ideas que surgen entre los propios constructores.

Como alternativa para el uso de los RCD, Hernández et al. (2023) reusó 1 m² de un muro verde y sus macetas con concreto ecológico, así como el relleno de estas, sustituyendo cantidades parciales del concreto empleado en el muro y sus 15 macetas con 10% de concreto triturado en sustitución del cemento, 30% de vidrio en lugar de arena, con las macetas y con sus rellenos se sustituyeron las gravas. Todo ello dio como resultado un muro ecológico 7.37% más económico que uno con agregados naturales, concluyendo que los RCD son una opción económicamente viable para este fin por citar un caso.

Por otro lado, Maldonado (2023) fabricó bloques de mampostería con RCD a través de ensayos en laboratorio, con el objetivo de comprobar que se cumpla con el Reglamento de Construcción y la normativa de mampostería de la CDMX, teniendo una comparativa con los elementos que comúnmente se utilizarían. En una primera etapa no se obtuvieron las resistencias deseadas, pero si las absorciones. Así, en una segunda etapa se obtuvieron las resistencias y las absorciones.

A manera de conclusiones: Algunas ideas para la gestión de los RCD

A través de este texto se ha dado cuenta que la industria de la construcción es uno de los principales motores económicos en Brasil y México, aportando significativamente al PIB de cada nación y generando una gran cantidad de empleo. Pero también que como consecuencia de esto, dicha industria requiere una constante transformación de elementos naturales que trae consigo una cuantiosa generación de RCD, que en una disposición final trae múltiples problemáticas ecológicas, económicas, políticas, sociales, culturales y éticas. Pues estos residuos al ser depositados en sitios de disposición final inadecuados, a consecuencia de su biodegradación producen compuestos químicos como el sulfuro de hidrogeno que no solamente contamina el suelo, el aire y el agua, sino que también causa daños físicos a la población que está en contacto con este compuesto. Por ello, y otras razones que se han explicado a lo largo de estas reflexiones, se vuelve esencial la existencia de leyes, reglamentos y normativas que gestionen, no

solamente administren, los Residuos de la Construcción y la Demolición en todas sus etapas, desde la producción, aprovechamiento y reaprovechamiento, hasta su destino final.

Ante esta situación, en Latinoamérica, Brasil cuenta con una de las leyes más avanzadas en el tema de la gestión de los RCD, la CONAMA 306. Dicha normativa describe como se deben de gestionar este tipo de residuos, basado en 4 categorías que se enfocan en su aprovechamiento. Pero a pesar de esto, las investigaciones analizadas en este artículo evidencian que no se lleva de la manera más adecuada la gestión de los RCD, haciendo necesaria la investigación y generación de nuevos procesos de gestión y por ende la mejora a su vez de las regulaciones legales existentes.

Basado en las investigaciones analizadas, para realizar una evaluación de la legislación vigente en un país acerca de la gestión de RCD, es necesario entender los procesos que conllevan la correcta disposición de los RCD en la búsqueda de su aprovechamiento, para en segundo término contrastar como se gestionan en las localidades. Esto permite realizar modificaciones y retroalimentación de normas jurídicas, que sean aplicables de mejor forma por la industria de la construcción, para obtener un ganar ganar en un territorio específico.

El uso de las tecnologías y las metodologías para analizar los procesos de gestión de los RCD, permiten analizar puntos estratégicos en los que se pueden detectar las principales áreas en las que se tienen impactos ambientales, dando la posibilidad de mitigarlos. Pero en este caso es necesario el involucramiento de todos los actores que participan en los procesos de gestión de RCD para que dichos cambios tengan éxito.

Así, las normativas y políticas públicas deberían tener vinculación con las Instituciones de Educación Superior, para incorporar en las legislaciones existentes, lo que incluye normas técnicas, mejoras basadas en las investigaciones que desarrollan los académicos, como es el caso de las APP de rastreo de residuos, o de la sustitución de ciertos materiales en las obras de construcción, con sus

correspondientes incentivos fiscales, por citar algunos casos que se desprenden de la revisión de la literatura aquí presentada.

Asimismo, una evaluación constante de áreas de oportunidad en la gestión de los RCD tanto en Brasil como en México, permitiría que la legislación existente se pudiera mejorar como proceso continuo, al igual que las políticas públicas, bajo un enfoque de mejoras centradas en la implementación.

Es de recalcar que a diferencia de Brasil, México no cuenta con una ley especializada a nivel nacional para la gestión de los RCD, lo que en procesos de mejoras en la gestión de RCD se traduce en una debilidad, a consecuencia de que no se tiene una guía como tal que marque cuál es el proceso adecuado para la correcta gestión y aprovechamiento de los RCD a nivel nacional, lo que provoca un desconocimiento generalizado de procedimientos de disposición final y aprovechamiento, y en consecuencia un alto índice de uso de sitios de disposición final ilegales.

Pero como ya se vió, a pesar de esto, existen Estados como la Ciudad de México y Jalisco, en los que se han hecho leyes y normas en la búsqueda de que la industria de la construcción local entienda como gestionar de manera adecuada sus RCD bajo la idea de lograr una disposición final adecuada y su aprovechamiento. Normativas que como se mostró en las investigaciones presentadas en este artículo, han permitido que la investigación académica acerca de los procesos de gestión y aprovechamiento de RCD surja en el país del tequila con un mayor impulso.

Por lo expresado en general, es de hacer notar que la selección de sitios de disposición final adecuados y planes de manejo son importantes tanto para el país de las caipirinhas como para el del tequila, pero también las aplicaciones que esta clase de residuos van a tener para su aprovechamiento. En este caso desde la caracterización de los RCD, hasta su empleabilidad en diversas aplicaciones constructivas son de suma importancia, haciendo especial énfasis en el cumplimiento de las normativas existentes por los nuevos materiales.

Particularmente en México, se vuelve indispensable la creación de una ley nacional especializada en los RCD a consecuencia del impacto que tiene la industria de la construcción y sus residuos. Esta ley como tal no solamente permitiría que se gestionarían de mejor manera los RCD a nivel nacional, impidiendo sus impactos ecológicos, económicos y sociales; sino que impulsaría una línea de investigación basada en mejorar el proceso propuesto en esta ley en cada estado, tomando en cuentas sus características y necesidades, buscando la generación de nuevas alternativas.

Así, Brasil y México, se encuentran cada uno en un punto distinto en la búsqueda de la gestión eficaz y eficiente de los RCD, con miras a lo que algunos llaman sustentabilidad. Brasil por su parte critica la aplicación de su legislación existente en cada parte del país, proponiendo una mejora constante de sus leyes basado en las características que tiene su industria de la construcción, y señalando que los territorios que lo conforman son múltiples y diversos, lo que hace necesario encontrar bajo el paraguas de la ley nacional, normativas especiales para las diferentes realidades. Por su lado, México, está en una etapa de experimentación, en la que se busca demostrar que los agregados y los materiales creados con RCD cumplen con las normativas y características necesarias para ser reintegrados por la industria de la construcción, lo que da una excelente oportunidad para desarrollar normas en materia de gestión integral de RCD, basadas en estos descubrimientos.

Por tanto, al estar cada uno de estos dos países en un punto diferente, la cooperación internacional para la mejora de las leyes y la transferencia tecnológica por aprovechar los RCD se vuelve factible. Pues en México, el desarrollo de su ley nacional para los RCD basado en las experiencias que se tienen con la CONAMA 306 le permitiría tener las ideas base de una ley ya probada en otro contexto latinoamericano, lo que quizás podría traer no solamente mejoras en la gestión de dichos residuos, sino distintos puntos de avance basados en las realidades que se viven en la industria de la construcción mexicana. Y para el caso de Brasil, un área de mejora para la CONAMA 306 sería adoptar los procesos de aprovechamiento que actualmente se están desarrollando en México, dando alternativas para la empleabilidad de estos

residuos en aplicaciones constructivas que cumplen con distintas normatividades, algunas referentes a nivel internacional, como las del American Concrete Institute .

Bibliografía:

Alianza verde juntos por la ciudad. (2022). *Iniciativa con proyecto de decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la ley de residuos sólidos del distrito federal y de la ley ambiental de protección a la tierra en el distrito federal, en materia de reciclaje de RCD.*

Ciudad de México: Congreso de la Ciudad de México.

ATSDR. (2006). Resumen de Salud Pública. Ácido Sulhídrico. *Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU.*

Betancourt, C., Correa, V., & Bentancourt, B. (s.f.). Estudio de factibilidad para el aprovechamiento de re Residuos de Construcción y Demolición en la industria de la construcción de la Ciudad de México Distrito Federal. *AIDIS*.

Bnamericas. (30 de Enero de 2023). Obtenido de <https://www.bnamericas.com/es/noticias/los-proyectos-de-infraestructura-prioritarios-de-los-tres-principales-estados-de-brasil>

Bocanegra, R. (11 de Agosto de 2022). *Real State Market*. Obtenido de <https://www.realestatemarket.com.mx/noticias/infraestructura-y-construccion/38622-construccion-en-brasil-sigue-afectada-por-altos-costos-de-insumos#:~:text=En%20el%202021%2C%20el%20PIB,PIB%20crecer%C3%A1%20un%20%25%20aproximadamente.>

Brandao, R., Edwards, D., Melo, A., & Macedo, A. (2023). Reverse supply chain practices for construction and demolition waste in the Brazilian Amazon: a multi- stakeholder view. *Material Cycles and Waste Mangement*.

- Bucio, M., & Flores, A. (2022). Agregados finos de concreto reciclado y su influencia en concreto no estructural. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 66-75.
- Bucio, R. (2023). Aprovechamiento de los residuos de la construcción y la demolición: Influencia de los agregados reciclados en la elaboración de adoquines para su uso en pavimentos. *UNAM*.
- Cámara de diputados del Honorable Congreso de la Unión. (2015). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Ciudad de México: DOF.
- Campos, F., & Amendoeira, A. (2021). Characteristics and patterns of inappropriate disposal of construction and demolition waste in the municipality of Cabo Frio, Brazil. *Revista Brasileira de Gestao Urbana*.
- CEPAL. (5 de Mayo de 2022). *Hablar a los territorios y a las ciudades es fundamental para repensar el modelo de desarrollo en América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/comunicados/hablar-territorios-ciudades-es-fundamental-repensar-modelo-desarrollo-america-latina#:~:text=Precis%C3%B3que%20Am%C3%A9rica%20Latina%20y,20.000%20habitantes%20o%20m%C3%A1s%2C%20a%C3%B1adi%C3%B3>.
- CMIC. (2017). *Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y la Demolición* . CDMX: CMIC.
- Da Silva, F., Franco, J., Grotti, G., Cordeiro, V., & Fiorotti, R. (2021). Application of Construction and Demolition Waste in Civil Construction in the Brazilian Amazon-Case Study of the city of Rio Branco. *Materials*.
- Erazo, L. (2024). Hacia una valoración económica de los Residuos de la Construcción en Cuernavaca, Morelos. *Universidad Autónoma del Estado de Morelos*.

- Esguícero, F., Mattos, R., Battistelle, R., Martins, B., & Stolte, B. (2021). Construction and demolition waste management process modeling: a framework for the Brazilian context. *Journal of Material Cycles and Waste Management*.
- Espino, C., Lara, C., Trujillo, I., Tafolla, E., & Nuñez, E. (2019). Elaboración de mezaclas asfálticas en caliente con adición de residuos de construcción y demolición (concreto hidráulico) en un 10% y 20% como sustitución de agregado petreo natural. *CONPAT 2019*.
- Favaretto, P., Navarro, G., Hoffman, C., De Almeida, R., & Lermen, R. (2017). Characterization and Use of Construction and Demolition Waste from South of Brazil in the Production of Foamed Concrete Blocks. *Applied Sciences*, 1-15.
- Fernandes, D., Vaz, K., Oliveira, M., Martins, M., & Ramos, L. (2020). Assesment of environmental impact risks arising from the illegal dumping of construction waste in Brazil. *Environment, Development and Sustainability*.
- Ferreira, F., Tenório, A., Palma, J., & Da Silva, R. (2020). An assessment tiik for municipal construction waste management in Brazilian municipalities. *Waste Management & Research*, 762-772.
- FIIC. (2017). *La Evolución Económica de los Países Miembros de la FIIC: 2018-2019*. Santiago.
- Giordano, C., & Peixoto, L. (2016). Comparison of scenarios for the integrated management of construction and demolition waste by life cycle assesnebt: A case study in Brazil. *Waste Management & Research*.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2023). *Ley de Economía Circular*. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- Gobierno del Estado de Jalisco. (2016). *NAE-SEMADET-001/2016*. Jalisco: Periodico Oficial.

- Henández, S., Vazquez, G., Aguirre, E., López, L., & Lizarraga, L. (2023). Reúso de residuos de la construcción y la demolición en un muro verde. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 72-79.
- Hentges, T., Machado, E., De Lima, T., Moraes, D., Acir, M., Fabiani, M., & Spiering, J. (2021). Circular economy in Brazilian construction industry: Current scenario, challenges and opportunities. *Waste Management & Research*, 642-653.
- Hernández, E., Moreno, J., & Gutiérrez, C. (2019). Aplicación del proceso de análisis jerárquico para la ubicación de sitios de disposición final de Residuos de la Construcción y Demolición: Caso de estudio Ciudad de México. *AIDIS*, 195-208.
- Hidalgo, M. (2020). Evaluación mecánica de morteros elaborados con residuos de concreto en Tuxtla Gutiérrez, Chiapa. *Universidad Autónoma de Chiapas*.
- Ibarrias, J. (2020). Plan de manejo integral para el aprovechamiento de Residuos del Concreto provenientes de construcciones, laboratorios y demoliciones en el Área Metropolitana de Guadalajara. *Repositorio del ITESO*.
- Izquierdo, F., Mora, R., & Mora. (2022). Uso del vidrio molido como sustituto del agregado fino en mezclas de mortero de albañolería. *Espacio I+D, Innovación mas desarrollo*.
- Jimenez, J. (2022). Reintegración de los RCD como agregado grueso con base al análisis de sus resistencias mecánicas en concreto $f'c_{200}$ kg/cm². *Universidad Autónoma del Estado de Morelo*.
- Lamego, M., Arantes, E., & Margarida, A. (2021). Strategies to promote circular economy in the management of construction and demolition waste at the regional level: a case study in Manaus, Brazil. *Clean Technologies and Environmental Policy*.

- Lindmeier, C. (15 de Marzo de 2016). *WHO*. Obtenido de OMS: [https://www.who.int/es/news/item/15-03-2016-an-estimated-12-6-million-deaths-each-year-are-attributable-to-unhealthy-environments#:~:text=Se%20estima%20que%20en%202012,de%20la%20Salud%20\(OMS\)](https://www.who.int/es/news/item/15-03-2016-an-estimated-12-6-million-deaths-each-year-are-attributable-to-unhealthy-environments#:~:text=Se%20estima%20que%20en%202012,de%20la%20Salud%20(OMS).).
- Maldonado, J. (2023). Bloques de mapostería elaborados con residuos de la construcción y requerimientos normativos para mapostería de la CDMX. *UNAM*.
- Marisela, R. (2020). Optimización en la Gestión de los desechos en la Construcción. *Universidad Autónoma de Santo Domingo*, 59-67.
- Martinez, C. (2017). ¿A dónde van los residuos de la construcción y la demolición? *Ciencia UNAM*.
- Martínez, W., Torres, A., Alonso, E., Chavez, H., Hernandez, H., Lara, C., . . . González, F. (2015). Concreto reciclado: una revisión. *ALCONPAT*, 224-237.
- Mejía, J., Giraldo, J., & Martínez, L. (2013). Residuos de construcción y demolición Revisión sobre su composición, impactos y gestión. *CINTEX*, 105-130.
- Ministerio de Asuntos Exteriores, U. (2024). *México*. Madrid: Gobierno de España.
- Ministerio de Asuntos Exteriores, U. (2024). *Brasil*. Madrid: Gobierno de España.
- Nunes, K., & Mahler, C. (2020). Comparison of construction and demolition waste management between Brazil, European Union and USA. *Waste Management & Research*, 415-422.
- Pereira, R., Gshwenter, V., Kanno, R., & Tubino, R. (2020). Cost assessment of the Brazilian construction and demolition waste recycling plant: a case of Porto Alegre. *Revista AIDIS*.
- Plaza, C., Xu, Q., Townsend, T., Bitton, G., & Booth, M. (2007). Evaluation of alternative landfill cover soils for attenuating hydrogen sulfide from construction and demolition (C&D) debris landfills. *J. Environ. Manage*, 314-322.

- RedacciónA21. (8 de Enero de 2021). A21. Obtenido de Finalizan construcción de pista central en AIFA: <https://a21.com.mx/aeropuertos/2021/01/08/finalizan-construccion-de-pista-central-en-aifa#:~:text=Las%20pistas%20central%20y%20norte,a%20trav%C3%A9s%20de%20un%20vi>deo.
- Rivera, E. (2022). Estado actual de la gestión de los Residuos de la Construcción y Demolición en Hermosillo Sonora de acuerdo del punto de vista de sus constructoras. *Universidad de Sonora*.
- Rodríguez, J. (2020). Generación de residuos de loseta cerámica generados en la construcción de casas habitación de interés social en la región de Morelos. *Universidad Autónoma de Estado de Morelos FCB*.
- Rossel, M. (27 de Octubre de 2018). *El país*. Obtenido de Nueve de cada 10 viviendas de América Latina y el Caribe son de baja calidad.: https://elpais.com/elpais/2018/10/27/planeta_futuro/1540600189_307714.html
- Roussat, R., Méhu, J., Abdelghafour, M., & Brula, P. (2008). Leaching behaviour of hazardous demolition waste. *Waste Manag.*, 2032-2040.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (28 de Octubre de 2021). *Ambiente Bogota*. Obtenido de [https://www.ambientebogota.gov.co/historial-de-noticias/-/asset_publisher/VqEYxdh9mhVF/content/-sabes-que-son-los-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd-y-como-disponerlos-desde-tu-casa-o-empresa-#:~:text=Principal%20\(EEP\).-El%20inadecuado%20manejo%20](https://www.ambientebogota.gov.co/historial-de-noticias/-/asset_publisher/VqEYxdh9mhVF/content/-sabes-que-son-los-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd-y-como-disponerlos-desde-tu-casa-o-empresa-#:~:text=Principal%20(EEP).-El%20inadecuado%20manejo%20)
- SEDEMA. (2021). *NACDMX_007_RNAT_2019*. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.

SEMADET. (2017). *Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos del Estado de Jalisco*. Guadalajara: Gobierno de Jalisco.

Serralde, J., Hernández, J., Cerecedo, E., Rosales, R., Salinas, E., & Barrientos, F. (2021).

Caracterización de la materia prima para la elaboración de un material de construcción utilizando diatomita y Residuos de la Construcción y la Demolición(RCD). *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 213-221.

Statista Research Department. (13 de Marzo de 2023). *Statista*. Obtenido de

<https://es.statista.com/temas/6622/el-sector-de-la-construccion-en-mexico/#topicOverview>

Tahuiton, A., Muciño, A., & Guillén, C. (2022). Desempeño mecánico de concretos con agregados

RCD, por método ACI y por volumen. *Academia XXII*, 181-195.

Thives, L., Ghisi, E., & Thives, J. (2022). An outlook on the management of construction and

demolition waste in brazil. *Cleaner Materials*.

Weber, W., Jang, Y., Townsend, T., & Laux, S. (2002). Leachate from land disposed residential

construction wast. *J. Environ. Eng*, 237-245.