

# LA HUELLA ARQUITECTÓNICA

USO Y FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CEMENTO.  
RESIDUOS DEL SECTOR EN CUAUTLA, MORELOS

Rafael Monroy Ortiz

César Augusto González Bazán



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

# **LA HUELLA ARQUITECTÓNICA**

Uso y fabricación de bloques de  
cemento. Residuos del sector en  
Cautla, Morelos

Monroy Ortiz, Rafael, autor

La huella arquitectónica : uso y fabricación de bloques de cemento. Residuos del sector en Cuautla, Morelos / Rafael Monroy Ortiz, César Augusto González Bazán.

-- Primera edición.-- México : Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2022.

98 páginas : ilustraciones

978-607-8784-56-1

1. Residuos de construcción y demolición 2. Bloques de concreto 3. Construcciones de concreto

LCC TD899.C5885

DC 363.7288

Esta publicación fue dictaminada por pares académicos bajo la modalidad doble ciego.

*La huella arquitectónica. Uso y fabricación de bloques de cemento. Residuos del sector en Cuautla, Morelos*

Rafael Monroy Ortiz, César Augusto González Bazán

Primera edición, marzo de 2022.

D.R. © 2022, Rafael Monroy Ortiz, César Augusto González Bazán

D.R. © 2022, Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Av. Universidad 1001, col. Chamilpa, CP 62209 Cuernavaca, Morelos

publicaciones@uaem.mx

libros.uaem.mx

Corrección de estilo: Raquel Reyes

Diseño y formación: Fabiola García y Rebeca González

Diseño de portada: Jorge Andere

Imagen de portada: Rafael Monroy Ortiz, César Augusto González Bazán, 2017

ISBN: 978-607-8784-56-1

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).



Hecho en México. Derechos reservados.

# **LA HUELLA ARQUITECTÓNICA**

Uso y fabricación de bloques de  
cemento. Residuos del sector en  
Cuautla, Morelos

**Rafael Monroy Ortiz**

**César Augusto González Bazán**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS





# Contenido

INTRODUCCIÓN	7
<b>CAPÍTULO I. CONDICIÓN GENERAL DE LOS RESIDUOS: DE LA ARQUITECTURA A LA CIUDAD</b>	<b>15</b>
Gestión integral de los residuos sólidos y su clasificación	16
Industria de la construcción en México y el mercado de los prefabricados	18
Generalidades del bloque de concreto para su utilización como material de construcción	19
Consideraciones básicas de la industria del cemento portland	20
Regulaciones para los residuos de construcción en México	22
Normatividad aplicable para el cemento portland y bloques de concreto	29
Diferencias entre tratamiento y remediación en el estado de Morelos	33
<b>CAPÍTULO II. CONTEXTO SOCIOTERRITORIAL DEL ESTADO DE MORELOS, CARACTERÍSTICAS DE LA MODERNIDAD</b>	<b>37</b>
Referencias económicas y sociales	40
Contexto urbano y de la industria de la construcción del estado de Morelos	41
Algunas referencias de la degradación ambiental en el estado de Morelos	44

CAPÍTULO III. GENERACIÓN DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN: PARTICULARIDADES EN LA ELABORACIÓN DE BLOQUES DE CEMENTO EN CUAUTLA, MORELOS	47
Un acercamiento al uso de los bloques de cementos en Cuautla	48
Industria de prefabricados para la construcción: el estatus de la elaboración de bloques de cemento en el municipio de Cuautla	52
Bloques de cemento, la estandarización como base de su fabricación	53
Ladrillos de arcilla, una opción artesanal para la construcción	68
CAPITULO IV. CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS EN LA INDUSTRIA BLOQUERA REGIONAL	75
Generación y manejo de residuos en la producción de bloques de cemento	82
Generación y manejo de residuos en la producción de ladrillos de arcilla	85
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES PRELIMINARES	85
Un esquema de manejo para los residuos durante la elaboración de los bloques de cemento	85
LISTA DE REFERENCIAS	89
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	98

# INTRODUCCIÓN

Actualmente, el contexto socio-ambiental a nivel mundial está siendo influenciado por una forma de producción orientada a la generación y acumulación de riqueza que, además, es distribuida inequitativamente, ya que unos pocos se benefician del trabajo de muchos otros que apenas y reciben lo necesario para sobrevivir. Tal distribución diferenciada ha ocasionado una serie de problemas económicos, políticos, sociales y ambientales a escala global, regional e incluso local que, sin distinción alguna, impactan directamente a todas las formas de vida en el planeta.

La acción humana puede considerarse la principal fuente de degradación socio-ambiental, sin embargo, no toda acción, sino sólo aquella derivada de la producción de mercancías y de su comercialización. Satisfacer las necesidades básicas o creadas para el consumo del ser humano ha fomentado una mayor utilización de recursos naturales y generación de residuos, los cuales representan un rastro de la actividad humana, sobre todo, de los procesos económicos que rigen la actuación del ser humano en el contexto de la modernidad.

Al menos durante los últimos 200 años, el avance de las actividades productivas se dio a la par del progreso tecnológico. Ambos procesos sólo fueron posibles gracias a la concentración del conocimiento y mano de obra en un sólo lugar: la ciudad. A causa de esto, las zonas urbanas incrementaron en número y en tamaño, e incluso aumentó la población que las habita. En este sentido, las ciudades

son uno de los principales referentes de la presencia humana en el planeta, porque incentivan la ciencia y la tecnología, pero también porque moldean los patrones sociales de vida a través del condicionamiento territorial y espacial de su población.

No obstante, en las ciudades proliferan criterios de desregulación social, ambiental, económica, política y de privatización de los bienes públicos, que son factores importantes en la conformación de realidades tan complejas y polarizadas como las que se viven todos los días en los países latinoamericanos, donde se han consolidado prácticas económicas basadas en la absorción de los excedentes de capital principalmente financiero. Una de las prácticas más dinámicas es la industria de la construcción, la cual ha cobrado una importancia tal, que naciones enteras sustentan sus objetivos de gobierno en grandes proyectos urbano-arquitectónicos, que van desde la construcción de equipamientos urbanos como escuelas, hospitales, bibliotecas, infraestructura vial, de drenaje, agua potable y electricidad hasta proyectos relacionados con la mitigación de problemas estructurales, probablemente uno de los más relevantes sea la vivienda.

Las condiciones particulares de una sociedad también deben tomarse en cuenta, ya que la mitigación de necesidades básicas como la alimentación, el vestido e incluso la vivienda se resuelve según las posibilidades de cada grupo social. Entre las estrategias de sobrevivencia que han generado los sectores populares destaca la autoconstrucción arquitectónica que, si bien se diferencia en cuanto a consumo de recursos y generación de residuos de la arquitectura industrializada impulsada por la iniciativa pública o privada, también deja una huella visible en cada una de las etapas de su materialización.

En México, los trabajos de investigación sobre residuos de construcción y sus posibles usos son bastos, sin embargo, no

consideran los residuos que se generan desde el proceso de elaboración de los materiales, como es el caso de los bloques de cemento. De hecho, los estudios para identificar y cuantificar los residuos derivados de la construcción que configuran dicha huella están en proceso (Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción [CEESC], 2017a, 2017b). En el caso de la fabricación de los bloques de cemento en particular, los estudios existentes se enfocan a aspectos técnicos, como incrementar la productividad durante su fabricación, establecer parámetros para la estandarización en su elaboración a diferentes escalas empresariales y mejorar la eficiencia de la maquinaria utilizada en empresas certificadas (Alarcón, 2013; Bedoya, 2003; Mejía et al., 2015; Dirección General de Comunicación Social, 2015).

Cabe señalar que en manifestaciones ambientales que las bloqueras presentan a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales para la aprobación de cambio de uso de suelo, se mencionan los residuos y su manejo, sin llegar a identificarlos o cuantificarlos (Semarnat 2007, 2008); en otros casos, se enfocan en la reutilización de residuos de la construcción o agroindustriales para la fabricación de bloques, adocretos, piezas cerámicas e incluso concreto sin considerar las propiedades de los residuos para tal uso. Por el contrario, a nivel internacional sí existen estudios con tales propósitos, que se aseguran de que las características de los residuos para fabricar bloques y concreto reciclado cumplan con la norma estructural, con lo que se demuestra que dichos residuos de construcción pueden ser utilizados también para mitigar una diversidad de problemas, por ejemplo, en la remediación de suelos contaminados (Véliz et al., 2013).

Bajo estas circunstancias, sería fundamental contar con análisis nacionales que permitieran determinar el cómo, por qué y para qué de la reutilización o reciclaje de los residuos de construcción,

con la finalidad de incidir directamente en la producción de los materiales para la edificación, así como en la gestión y manejo para la disposición final de sus residuos, la cual resulta necesaria para la transición poblacional de las últimas décadas, dado que se ha presentado con una mayor dinámica en el sector urbano.

En el caso de México, más del 80% de sus habitantes ya residen en un área urbana (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020), este escenario es similar en el estado de Morelos, lo que implica requerimientos concretos como una mayor cantidad de edificación de vivienda e infraestructura. En consecuencia, la industria de la construcción ha experimentado un incremento necesario para cubrir la demanda del sector, el cual ha sido resuelto en términos del mercado con la utilización de materiales prefabricados, como los bloques a base de cemento, debido a la facilidad con la que se pueden conseguir e instalar, reduciendo costos y tiempo.

De acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, en Morelos la fabricación de bloques se realiza en 56 unidades de este tipo (DENUE, 2017). En prácticamente todas ellas, el proceso de producción es similar: se compone de cuatro etapas que son el almacenaje de los materiales, el mezclado, la compactación y el secado de las piezas. No obstante, entre fábricas existen variaciones debido al grado de tecnificación en cada una de las etapas del proceso, específicamente en las de mezclado y compactación, donde se crea una argamasa derivada del uso de cemento, piedra volcánica y agua, que genera la mayor cantidad de residuos por materia prima utilizada que a su vez no son incorporados completamente al proceso. En esta etapa destaca la cantidad de embalajes de materiales industrializados que, por cierto, no cuentan con un manejo adecuado, ya que básicamente son depositados en tiraderos a cielo abierto, son recolectados por

los servicios municipales o incluso son quemados, ocasionando diferentes desequilibrios en el entorno.

No existen estudios en Morelos que permitan identificar los residuos generados por la fabricación de bloques de cemento ni tampoco del manejo o preparación que se les efectúa para su disposición final, lo que complica la comprensión de los efectos que puedan repercutir tanto en el entorno como en la población. Por tanto, es imperativo identificar los residuos derivados de la fabricación de esa actividad, específicamente los que tienen como base los procesos de la micro y pequeña empresa en la entidad.

En este libro se plantea un panorama general de los residuos derivados de la elaboración de los bloques de cemento, a través de una metodología que permite identificarlos y cuantificarlos desde una perspectiva urbano-arquitectónica. En el capítulo inicial se precisan los criterios de referencia conceptual sobre la generación de los residuos a nivel latinoamericano, así como la operatividad, gestión y manejo de los residuos de la construcción desde el ámbito nacional, estatal y local. Para tal propósito, se hizo una revisión rigurosa de documentos base elaborados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el Banco Mundial (BM), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), el Banco Nacional de México (Banamex), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), la Cámara Nacional del Cemento (Canacem), la legislación y la normatividad existentes en México; así como de análisis previos de diversos autores como Martínez, Freyre y Peñaherrera, Hoyos et al., Jiménez y Palomo, Castro et al., entre otros.

Mostrar la problemática de la generación de residuos de construcción y sus efectos a escala regional, particularmente en el esta-



do de Morelos, plantea la necesidad de reconocer tanto las características físicas como socioeconómicas asociadas a esa industria en la entidad. Por tal motivo, se analizan en el segundo capítulo a partir de la información proporcionada por la cartografía de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), el Marco Geoestadístico Nacional del INEGI; además de datos aportados por el Censo Económico 2014 y el Censo de Población y Vivienda también del INEGI; e información socioeconómica del Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED) y del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval). Como resultado del análisis, se advierte la influencia que tienen dichas características en el crecimiento urbano y la degradación ambiental de la entidad, derivada del incremento en los requerimientos constructivos, el cambio en los usos de suelo, así como de los residuos ocasionados por la actividad urbana.

La consolidación de las actividades asociadas a lo urbano en Morelos ha tenido como consecuencia un incremento en la generación de residuos provenientes de la construcción, principalmente de aquellos productos elaborados en procesos complejos de industrialización, como es el caso de los bloques de cemento. Lo anterior debido a que en el estado, sobre todo en las zonas metropolitanas como la de Cuautla, la producción de dichos bloques es mayor en cantidad que la de otros que conllevan una elaboración más artesanal como el ladrillo. Por tal motivo, resulta fundamental estudiar el proceso de fabricación de los bloques de cemento e identificar los residuos que se generan durante éste para así realizar una comparación con los generados por otros materiales elaborados artesanalmente y obtener un panorama general sobre los residuos y su impacto en la región.

A este respecto, en el tercer capítulo se identifican las unidades económicas enfocadas en los procesos mencionados, se establece una producción promedio para ambos y se identifican las etapas, materiales y tipo de desechos generados. La información que se cotejó para esto provino de ortofotos digitales del INEGI, de la cartografía del catastro municipal elaborada por la Comisión Estatal del Agua, del Marco Geoestadístico Nacional del INEGI, de la cartografía elaborada por la Conabio, del Diccionario Nacional de Unidades Económicas (DENUE), así como de los Censos Económicos 2014 del INEGI y de recorridos locales representativos de la industria bloquera y ladrillera de la región, debido a que la técnica de elaboración en estas unidades económicas es similar en todo el estado.

Sin embargo, conocer las etapas para la fabricación de los materiales antes referidos conlleva de manera intrínseca a un análisis del consumo de materias primas para cada proceso de fabricación, por lo que en el cuarto capítulo se evidencia, además del uso de grandes cantidades de materias primas, la forma de manejo planteada para esos residuos ocasionados por la producción tanto de bloques de cemento como de ladrillos de arcilla en la región. El consumo de materias primas se caracterizó a partir de información recabada en los sitios de producción de bloques y ladrillos de la región, para efectuar cruces de datos obtenidos de análisis realizados por la Canacem y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). De esta manera, fue posible obtener una radiografía a gran escala de las causas y efectos de la fabricación de uno de los productos industrializados más usados por la industria de la construcción, no sólo en el estado de Morelos, sino en todo el país.



## Capítulo I. Condición general de los residuos: de la arquitectura a la ciudad

En la etapa de la economía global, las concentraciones territoriales han estandarizado las condiciones económicas y sociales y, al mismo tiempo, sus respectivos efectos permisivos en el ambiente debido a la sobreextracción de recursos, los patrones de consumo y la generación de residuos. En términos regionales, se estima que el sistema urbano mundial ocupa entre 5 y 6% de la superficie terrestre, es decir, alberga a 54% de la población mundial, en el cual prevalecen ciudades medias<sup>1</sup> y, en menor medida, ciudades con una población de 10 millones<sup>2</sup> (ONU, 2014). En una proyección al 2050, la ocupación sería del 66%, ante este escenario, la contribución del sistema urbano a la generación y diversificación de residuos en el planeta resulta un objeto central de discusión.

De igual forma, los residuos sólidos generados hace más de una década en las áreas urbanas se estimaban en 0.64 kg per cápita; en la actualidad, incrementaron a 1.2 kg por día, lo que significa que se produce un total de 1300 millones de toneladas de residuos diariamente. Para 2025, se estima que 4300 millones de habitan-

---

1 500 000 habitantes.

2 28 ciudades con más de 10 millones de habitantes, de las cuales la más representativa es Tokio que alberga a aproximadamente 38 millones de personas.

tes urbanos generarán alrededor de 2200 millones de toneladas de residuos al día. En términos regionales, América Latina produce cerca de 160 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos por día, cuya composición es: 54% de residuos orgánicos, 16% de papel, 12% de plástico, 4% de vidrio, 2% de metal y 12 % de materiales no especificados (Martínez, 2013).

En la última década, la producción de residuos en México incrementó 43%, pasando de 29.3 a 42.1 millones de toneladas por año; de igual manera, la producción per cápita se elevó a 990 gramos. Debido a la similitud de los patrones de consumo de la sociedad contemporánea, los residuos en los países desarrollados son predominantemente inorgánicos; en contraste, en la mayoría de los países subdesarrollados predomina la composición orgánica, la cual alcanza 52%, seguida por los productos de papel y cartón con 13.8%, los plásticos con 10% y, en menor proporción, los vidrios y metales. Esta configuración está correlacionada con el crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas, así como con el cambio en los patrones de consumo de la población. Evidentemente las áreas urbanas son las principales productoras de residuos y, según su producción, pueden ser clasificadas de la siguiente manera: en primer lugar, se encuentran las zonas metropolitanas con el 42.8%; seguidas de las ciudades medias que producen 37.4% de residuos; las localidades semiurbanas el 11.5%; y las ciudades pequeñas el 8.4% (Semarnat, 2014).

## Gestión integral de los residuos sólidos y su clasificación

La generación y gestión de residuos ocasiona problemas que han llevado a la elaboración e instrumentación de políticas cuyo objetivo principal es la reducción de éstos. De manera general, las po-

líticas establecen una serie de etapas orientadas, en primera instancia, al consumo racional, separación colectiva, recolección, transportación, almacenamiento, uso benéfico, valorización, tratamiento y disposición final, respetivamente. En coincidencia con el resto de América Latina, México registra un proceso particular para la gestión y manejo de los residuos, derivado de las condiciones socioeconómicas en las que se desarrolla su sociedad. Dicho proceso se caracteriza por dos etapas, la primera es representada por la utilización de algún material o producto, mientras que la segunda es la disposición final en algún relleno sanitario (Martínez, 2013).

En este sentido, es primordial entender el concepto de residuo, dado que se utiliza de manera homónima con el de basura, a pesar de que existe una diferencia sustancial. Es decir, residuo es todo aquel material o producto que ha sido desechado por su dueño y que es idóneo para ser valorizado económica o socialmente, o que requiere tratamiento para su disposición final, mientras que basura sería todo aquel producto que no puede ser valorizado (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [LGPGIR], 2018).

Ahora bien, la conceptualización de residuo está asociada a una identificación por tipo en la que a los residuos se les separa en residuos sólidos urbanos, es decir, todos aquellos derivados de las actividades domésticas, así como de la limpieza de las vías y lugares públicos; residuos de manejo especial, que son resultado de los procesos productivos en grandes cantidades (más de 10 toneladas al año) o que sean materiales demasiado voluminosos para ser recolectados por los servicios públicos municipales; y residuos peligrosos, cuya peculiaridad es ser corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables o contener agentes infecciosos (LGPGIR, 2018). En conjunto, esta problemática en su conceptualización y tipificación se aso-

cia directamente a la disposición final en los rellenos sanitarios, en donde la falta de tratamiento ocasiona la contaminación del agua, el aire y la tierra.

## Industria de la construcción en México y el mercado de los prefabricados

La caracterización de los residuos sólidos deriva de una clasificación en la cual se distingue su generación a partir de las actividades productivas de la población. La dinámica urbana actual ha contribuido en la concepción de residuos al incrementarse la industria de la construcción en México, la cual es la cuarta actividad con mayor valor agregado a la producción nacional y alcanzó casi los 1.491 billones de pesos durante 2016, equivalentes al 7.65% del Producto Interno Bruto (PIB) del país (CMIC, 2017; BM, 2018; Banamex, 2018). Se estima que 77% de los recursos fueron propiciados principalmente por la edificación de vivienda, comercio, equipamiento urbano y servicios (CMIC, 2017). Al mismo tiempo, el uso de materiales tradicionales se ha sustituido por el uso de aquellos de tipo prefabricados; en consecuencia, por cada \$100 cerca de la mitad se emplea en la compra de servicios y materiales de construcción de este tipo (CMIC, 2017).

En México uno de los prefabricados más producidos y utilizados son los bloques de concreto que, aunque sólo concentran el 8% del valor de la producción bruta en la rama de fabricación de cemento y productos de concreto, emplean a 43% del personal ocupado en 4 435 unidades económicas (INEGI, 2013b). En cuanto a residuos se refiere, la industria de la construcción generó en 2018 entre 9.7 y 9.9 millones de toneladas de bloques de concreto, según la expansión de la economía nacional. En este contexto, son tres grupos de desechos de la construcción los más representativos: el material

de excavación que significa 39% del total de residuos; el concreto, 24.3%; y los elementos prefabricados y pétreos el 24% (CMIC, 2017). No obstante, se prevé un incremento en estas proporciones ocasionado por el crecimiento de la industria de la construcción, particularmente por la elaboración de viviendas.

## Generalidades del bloque de concreto para su utilización como material de construcción

En la actualidad, el uso de materiales prefabricados ha cobrado relevancia debido a que cubren con rapidez los requisitos tanto constructivos como normativos para la edificación en las ciudades. Con ventajas económicas, los bloques de concreto en particular se han estandarizado en la construcción. Por otra parte, en comparación con otros sistemas tradicionales, destacan por la rapidez de su fabricación, la uniformidad en su medida, su resistencia y durabilidad. En la obra civil, son seleccionados porque tienen un menor costo por metro cuadrado, se utiliza poco mortero para asentar las piezas, demuestran mayor rendimiento de mano de obra por metro cuadrado, se pueden utilizar como sistema estructural ahorrando costos de materiales de refuerzo como el acero y, dado que su terminación es homogénea, no necesitan de un acabado exterior (Freyre y Peñaherrera, 2001).

Los bloques, según la Norma Oficial Mexicana NMX-C-037-1986, son materiales de construcción de forma prismática rectangular, sólidos o huecos, elaborados con cemento portland y agregados apropiados, tales como arena, grava, piedra triturada, piedra pómez, escoria volcánica o tezontle, arcillas y pizarras expandidas. Su textura es rugosa y son de color grisáceo, aunque los acabados pueden variar dependiendo de las exigencias de los proyectos arquitectónicos (NMX-C-037-1986, 1986).



Su proceso de elaboración consta de cuatro etapas. La primera consiste en el almacenamiento de las materias primas, que son el cemento y los agregados, en grandes patios. La segunda es la dosificación y el mezclado, que consiste en el traslado de las materias primas a un sistema de pesado; posteriormente, a un cilindro con aspas de mezclado adheridas a un eje donde las materias primas son dispuestas horizontalmente y se les agrega agua de manera manual o electrónica. La tercera etapa reside en vaciar la mezcla de la etapa anterior en moldes, cuyo tamaño puede variar. Una vez llenos los moldes, son compactados y vibrados para darle consistencia, forma y resistencia a los bloques. Finalmente, una vez compactados son colocados en estibas o columnas, en espacios grandes y abiertos para que se sequen con el sol (IMCYC, 2006).

El procedimiento en cada una de las etapas de fabricación de los bloques de concreto puede variar dependiendo del grado de tecnificación de la empresa que los produce, sin embargo, es importante tener presente que en todos los casos la materia prima está compuesta por el cemento portland, lo que establece que los residuos generados por la fabricación de estos bloques de igual manera están constituidos por este material.

## Consideraciones básicas de la industria del cemento portland

Los materiales prefabricados, cuyo componente principal es el cemento, representan una oferta útil para satisfacer los requerimientos del mercado de la construcción en términos de sus ventajas económicas. Debido a ello, son considerados uno de los materiales más demandados, y su producción una de las industrias económicamente más importantes para el país (CMIC, 2008).

En términos generales, el cemento portland es un conglomerante hidráulico: un material inorgánico molido y amasado con agua, que forma una pasta endurecida por medio de procesos de hidratación. Se obtiene en el proceso de calentamiento de materias primas como piedra caliza, arena de sílice, arcilla, aunque también se le agrega aluminio, hierro en forma de arena e incluso escoria de alto horno. Al resultado de este procedimiento se le conoce como clínker, que es el compuesto principal para la elaboración del cemento (imcyc, 2018).

Derivado del proceso de elaboración en seco del cemento portland, particularmente de la molienda de las materias primas, se genera una emisión de partículas de polvo, aunque también éstas se derivan del horno, incluyendo mayoritariamente gases de combustión con monóxido (co) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), e hidrocarburos, aldehídos, cetonas, óxidos de azufre y nitrógeno en menor cantidad (Hoyos et al., 2008).

Por otro lado, con el proceso húmedo, se retiran residuos de los hornos y, en algunos casos, se utilizan para alimentar los hornos en forma de lechada. No obstante, los contaminantes hídricos se encuentran en los derrames de ambos procedimientos (compuesto por alto pH, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, principalmente potasio y sulfato), así como por el agua de enfriamiento del proceso (calor residual). Además, el escurrimiento líquido lixiviado de las áreas de almacenamiento de los materiales o de eliminación de los desechos es una fuente de contaminantes para las aguas superficiales, freáticas y del mismo suelo (Campos et al., 2017; Estructplan, 2018; NOM-161-SEMARNAT-2011, 2013).

La producción de cemento en grandes cantidades da lugar a una serie de consecuencias particularmente adversas para la población y el ambiente, ya que una tonelada de cemento equivale a 1.5 toneladas de materias primas y, al mismo tiempo, a la generación

de 0.8 toneladas de CO<sub>2</sub>. Como resultado, la contribución de la industria cementera a las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en el planeta se estima entre 6 y 7%, debido específicamente al uso de combustibles fósiles en la fabricación del cemento (Jiménez y Palomo, 2009).

La emisión de contaminantes atmosféricos derivada de la producción de cemento proviene del consumo de energía utilizado para la molienda de la materia prima y el funcionamiento de los hornos. Estos últimos tienen la atenuante de utilizar residuos sólidos como combustible, por ejemplo, yeso, pirita tostada, escoria de los altos hornos, cenizas de plantas termoeléctricas de carbón y llantas, las cuales son trituradas para ser vertidas en los hornos que alcanzan hasta 2000 °C de temperatura. Se estima que en México se utilizan alrededor 16.6 millones de llantas, suficientes para producir hasta 30 millones de toneladas de clínker (Canacem, 2006).

Por tanto, el cemento representa una serie de problemas en prácticamente todas las etapas de su producción; las escalas de afectación incluyen al personal mismo como a la atmósfera debido a la contaminación del aire con gases peligrosos. No obstante, el agua y el suelo también se ven afectados por los lixiviados generados en el proceso húmedo, de forma que el impacto ambiental no se limita al área de la fábrica, también se externaliza a la sociedad. En este sentido, resulta pertinente la generación de políticas de regulación de los procesos productivos de este bien, así como para sus consecuencias en el ambiente y la sociedad.

## Regulaciones para los residuos de construcción en México

El incremento en la cantidad de residuos producidos en el país ha cobrado relevancia debido a los diferentes problemas que ocasionan al ambiente, pero sobre todo a la población. Al respecto, el

Estado ha implementado diversas estrategias para el manejo de los desechos, sin embargo, la administración de estos requiere de una regulación que, en primera instancia, esté determinada por la gestión, la cual diagnostique las condiciones del proceso, asegurando con ello una elección de estrategias para su manejo de forma integral.

Lo anterior es necesario debido a que las estrategias convencionalmente asumidas se han enfocado principalmente en los residuos sólidos urbanos y peligrosos, dejando de lado al grueso de la producción: los residuos de manejo especial, incluidos los generados por la industria de la construcción y equivalentes a una cuarta parte de los residuos sólidos urbanos totales del país (CMIC, 2017).

Como se ha dicho, las áreas urbanas representan la principal fuente de generación de residuos, tanto por el consumo de su población como por la construcción de infraestructura para la subsistencia de los sectores sociales, la operación y funcionamiento de las ciudades mismas y para facilitar el crecimiento económico. Por tal motivo, la industria de la construcción ha crecido hasta volverse una de las actividades productivas con mayor aportación al PIB nacional, pero el grueso de sus procesos no responde a ningún tipo de regulación, en todo caso, se enfoca en la eficiencia de un producto final, sin considerar las consecuencias adversas derivadas de las fases del proceso constructivo.

*En consecuencia, la generación de los residuos de la construcción en México no ha sido una prioridad y se refleja claramente en la cantidad y contenido de las leyes y normas vigentes en nuestro país que la abordan o se instrumentan. Por ejemplo, en la LGPGIR de 2018), los residuos de la construcción y demolición son mencionados tangencialmente en el artículo 19, ya que sólo se alude a ellos en una clasificación que los cataloga de tipo especial. Al respecto, la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 define los residuos especiales como aquellos generados durante la trans-*

formación de materia prima en grandes cantidades, es decir, más de 10 toneladas por año, pudiendo o no contener características domiciliarias, por lo que necesita de un manejo específico para su valorización y aprovechamiento. Esta norma contiene un listado de residuos sujetos a presentar un plan de manejo, en donde se especifica que los desechos de la construcción, mantenimiento y demolición requieren tal plan cuando se generan en una cantidad mayor a 80 m<sup>3</sup> (NOM-161-SEMARNAT-2011, 2013).

Dada la ambigüedad de dichos criterios, el sector representado por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción elaboró un Plan de manejo de residuos de la construcción y la demolición, el cual estima un incremento en la generación de estos residuos de 9.9 millones de toneladas por año a partir de 2018 debido, sobre todo, al crecimiento económico nacional. La composición de los residuos de construcción incluye suelo producto de la excavación o extraído de la limpieza de predios, así como de las cimentaciones; también se consideran productos derivados del cemento, principalmente del concreto premezclado, bloques de cemento, tubocreto, adocreto e incluso carpetas asfálticas (CMIC, 2017).

El plan de manejo de la CMIC plantea, entre otras cuestiones, opciones diferentes de disposición final de los residuos de la construcción, ya que en nuestro país tradicionalmente suele realizarse a cielo abierto, es decir, en sitios sin el diseño ex profeso para ello, lo que ha ocasionado obstrucción de arroyos, ríos, cañadas, así como contaminación del aire, suelo, subsuelo y cuerpos de agua. Las estrategias propuestas por dicho documento están planeadas para ser ejecutadas dentro y fuera de obra por los responsables directos del proceso de construcción. Dentro de obra, se proponen estrategias de cálculo, como identificar los residuos de construcción y demolición (RCD), estimar los volúmenes generados, identificar formas de minimizarlos y darles un posible uso, mientras que en términos

operativos, se propone separar los residuos. Fuera de la construcción, se considera el reúso, reciclaje, acopio, transporte y disposición final (CMIC, 2017).

En el marco de la NOM-161-SEMARNAT-2011 y sin importar su composición, las estrategias mencionadas son aplicables a obras bajo el supuesto de un volumen igual o mayor a 83 m<sup>3</sup> de RCD, en cuyo caso, no se conocen tipos de materiales ni cantidades provenientes de fabricantes formales e informales. Aunque el plan de manejo de la CMIC propone una metodología para estimar y clasificar los RCD, ésta resulta ser paralela a lo que establece la regulación, sin embargo, no es de carácter vindicativo. Esto es contrario a lo que sucede en otras regiones del planeta, como la Unión Europea, donde dichos procesos son obligatorios dado que establecen indicadores para determinar la composición y la cantidad de RCD por m<sup>3</sup> que, a su vez, permiten calcular los residuos generados para establecer estrategias de manejo bajo el conocimiento y consenso de las autoridades (NOM-161-SEMARNAT-2011, 2013).

La regulación de los residuos de construcción y su cobertura en México es relativamente nueva, de hecho, la única normatividad existente está en la capital del país. Se trata de la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2013 y hace énfasis en la gestión, tratamiento y disposición final de los residuos de construcción, consiguiendo una conceptualización operativa de estos y permitiendo una clasificación por composición y volumen.

Dentro de la norma es posible encontrar una propuesta para la mitigación con base en la reducción de las cantidades generadas gracias a su separación desde el origen mismo o, en su defecto, un almacenamiento temporal dentro de obra si el volumen es menor a 7 m<sup>3</sup> o fuera de ésta si lo rebasa. Por su parte, la recolección y el transporte pueden llevarse a cabo por un particular con registros dentro de la norma, que incluye la expedición de un certificado al

contratante sobre la adecuada disposición de los residuos, tratamiento y aprovechamiento. Para dar cumplimiento a la regulación es imprescindible el cálculo de los indicadores de manejo, compuesto por residuos reciclados en obra (RCO), residuos que se reciclarán fuera de obra (RCA), material reusable (RU) y residuos para disposición final (D), los cuales determinarán la cantidad total de residuos producidos en cualquier obra (NADF-007-RNAT-2013, 2015).

Según los principios de manejo básico de residuos en la Ciudad de México, éstos permiten disminuir su volumen emitido y, al mismo tiempo, explorar otras alternativas fuera de lo convencional, entre las que destaca su reincorporación al mercado como una forma de aprovechamiento. A pesar de que esto queda implícito en la norma, no existe algún tipo de sanción para quienes desacaten o violen dicha regulación, por lo que en términos operativos sus inconsistencias la hacen eludible, convirtiéndola en un documento de consulta.

En consecuencia, la generación de residuos de la construcción se complejiza en la mayoría de los estados; por ejemplo, en Morelos se estima una producción de 316 a 341 toneladas de residuos por día, las cuales incrementaron con los residuos provenientes de los derrumbes y demoliciones derivados del daño a las estructuras en el sismo del 19 de septiembre de 2017. A pesar de la situación de los residuos de la construcción en la entidad, la administración actual le dedica solamente dos cuartillas en la Estrategia para la Gestión Integral de los Residuos del Estado de Morelos (EGIREM, 2017). En ese documento, los residuos son planteados como un problema relevante para la salud pública, haciendo énfasis en la necesidad de elaborar una normatividad que permita minimizar su cantidad y mitigar los efectos desfavorables al ambiente. Su aporte se limita a incentivar económicamente a quienes separen los residuos desde el origen y, por otra parte, a la construcción de infraestructura para

el reciclaje, lo cual está implícito en iguales términos en la Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Morelos (2007).

En todo caso, las recomendaciones de la EGIREM se enfocan a residuos sólidos urbanos, más no a los de construcción, por lo que se hace evidente la laxitud del documento en cuanto a este tipo de desechos. En realidad, tampoco establece ningún tipo de plan o método sólido por medio del cual se lleve a cabo alguna de sus propuestas, de modo que no pasa de ser un documento de consulta sin propuesta de regulación que le soporte.

El problema de los RCD se incrementó y, en cierta manera, se evidenció a partir del sismo del 19 de septiembre de 2017, por lo cual la administración en turno se vio obligada a responder con la firma de un convenio entre el Gobierno del Estado, la Secretaria de Desarrollo Sustentable y la Semarnat para la apertura de nueve sitios de disposición final en los municipios de Cuautla, Cuernavaca, Jiutepec, Mazatepec, Tepoztlán, Tlaltizapán y Yecapixtla; de los cuales cuatro son minas, cuatro rellenos sanitarios y uno es denominado sólo como sitio de disposición final. El principal objetivo de estos sitios era evitar daños irreversibles al ambiente que pusieran en riesgo a la población, ya que la forma tradicional de desechar los residuos era depositarlos a cielo abierto, en suelos productivos, áreas protegidas o barrancas. Por lo tanto, se estableció que la disposición de los RCD fuera de alguno de estos sitios predeterminados implicaría una sanción por parte de la Procuraduría de Protección al Ambiente del estado (Gobierno de Morelos, 2017).

A la par de este pronunciamiento, la Semarnat, a través de la Dirección General de Fomento Ambiental y la Subsecretaria de Fomento y Normatividad, emitió un manual de criterios para el manejo de los RCD en los estados afectados por el sismo. La base para los criterios se sustentó en la prevención de problemas de imagen urbana, ambientales y de salud pública derivados del manejo



inadecuado de grandes cantidades de RCD; por esta razón, se vuelve competencia estatal tanto su manejo como su disposición final (LGPGIR, 2018).

Las pautas dispuestas por la Semarnat incluyen, por ejemplo, la ubicación de sitios para la disposición final de los RCD, con restricción para emplazarse en áreas de valor ambiental, histórico, sobre suelos productivos o a menos de 500 metros de cuerpos de agua, pero con la autorización de asentarse en lugares degradados como minas o canteras. Para la operación de dichos sitios, se establece como necesario la construcción de un espacio específico, es decir, un sitio de disposición final sólo para RCD, el cual una vez culminado su tiempo útil, y cuando se hayan regenerado el suelo y su vegetación, pudiera ser usado como espacio de recreación a través de su recuperación.

En caso de no ser posible, los rellenos sanitarios en operación deberán contar con una celda de separación exclusiva para los residuos sólidos urbanos, sin embargo, con ello se reduce el tiempo de vida del relleno. También, se maneja el discurso del aprovechamiento de los RCD, principalmente los de origen pétreo, haciendo énfasis en su trituración para ser utilizados en materiales para la construcción reciclados o simplemente como elementos de relleno, por tanto, es relevante la separación de los residuos desde el origen, con lo que se evita su contaminación y se hace viable su aprovechamiento (Semarnat, 2017).

A pesar de la existencia de una estrategia general para la gestión de los residuos en Morelos, o de criterios para el manejo de los residuos de construcción generados por el sismo del 19 de septiembre, la realidad estatal se reduce al planteamiento de recomendaciones que para nada responden a un creciente problema en términos de volumen y consecuencias en el ambiente y la población; menos aún, estos funcionan como sustituto de un marco normativo útil

para regular la generación o el manejo de residuos de la construcción, limitándose a la imposición de multas para su contención, así como a la instrumentación de convenios con el sector privado para valorizarlos.

Aunque el panorama en materia normativa favorece estrategias de valorización económica, se podría cambiar el esquema si se toma como base el artículo 65 de la Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Morelos (2007), que establece el aprovechamiento de los RCD, para elaborar una norma que determine no sólo el manejo sino la gestión de los residuos. De esta manera, será obligación de cada uno de los constructores encargarse de los desechos de las edificaciones según su tamaño o tipo y, en caso de no hacerlo, serían acreedores a una sanción. Por el contrario, el manejo adecuado podría representarles beneficios económicos; además, la normatividad puede ser el eslabón que engarce el aprovechamiento de los residuos con la valorización, al incentivar la creación de un mercado que permita su comercialización, de otra manera es prácticamente imposible hacer frente a esta problemática que aqueja a cada una de las ciudades del estado y cuyos efectos cada día son más evidentes.

## Normatividad aplicable para el cemento portland y bloques de concreto

Debido a que el cemento portland es un componente importante en la elaboración de materiales de construcción, la mayor parte de los RCD generados en México están asociados a éste. Sin embargo, la mitigación de los impactos derivados de la fabricación misma del cemento dispone de menores restricciones en comparación con las restricciones enfocadas a su calidad y resistencia.

En Morelos, la regularización de los procesos de elaboración del cemento, así como de sus respectivos productos, está normada por el Estado. El caso de la administración y gestión de residuos, en particular, está sujeta a la LGPGIR (2018), la cual establece los principios básicos para la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los diferentes tipos de residuos, garantizando el derecho a un ambiente relativamente saludable y promoviendo la actividad económica. Los instrumentos utilizados para alcanzar tal propósito incluyen el diagnóstico básico de generación de residuos y los planes de manejo especial, estipulados en la NOM-161-SEMARNAT-2011, los cuales son aplicables en prácticamente los tres tipos de residuos generados por la industria de la construcción. Destaca que las normas nacionales aplicables al caso se refieren, en primera instancia, a los criterios de calidad del producto en la Norma Mexicana-C-414-ONNCCE-2014 (IMYC, 2016) y, en términos ambientales propiamente, a los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera resultantes de la fabricación (NOM-040-ECOL-2002, 2002).

El reconocimiento de contaminantes en la NOM-040-ECOL-2002 adolece de una integración normativa para la diversidad y complejidad de las emisiones generadas en la producción del bien y, a pesar de que reconoce componentes como partículas suspendidas, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre, monóxido de carbono, metales pesados, entre otros, sólo establece un límite máximo de emisión y, en todo caso, los porcentajes de sustitución de combustibles convencionales. Por tanto, es indispensable, según lo determina la LGPGIR, tanto la elaboración como la actualización periódica de diagnósticos básicos para conocer la cantidad y disposición de los residuos de la elaboración y, al mismo tiempo, identificar si se cuenta con la infraestructura requerida para su manejo (INECC, 2012). La finalidad es elaborar un plan de manejo que permita facilitar

la administración de residuos, su valoración y disposición final, sin embargo, a pesar de que la NOM-161-SEMARNAT-2011 es de observancia en todo el territorio nacional, alude solamente a su instrumentación, sin determinar consecuencia alguna en el supuesto de que se haga caso omiso a dichas disposiciones (LGPGIR, 2018).

Algunas de las empresas del sector publican un informe de medio ambiente, seguridad industrial y salud, donde plantean algunas estrategias. Cemex, por ejemplo, informó el incremento en el uso de subproductos, la sustitución de 370 000 toneladas por año de clínker por subproductos, la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a 296 000 toneladas por año, la reducción en el consumo de energía calorífica de 2033 gigacalorías por año y la reducción de 720 toneladas de CO<sub>2</sub>. En cuanto al reciclaje del agua tratada, informó que se reutilizaron 68 000 m<sup>3</sup> de agua, correspondientes a 50% del consumo anual en la elaboración del concreto (Cemex, 2000). Por su parte, Cementos Moctezuma presentó información en cuanto a la generación y separación de los diferentes tipos de residuos, pero las cantidades registradas en algunos de los rubros no fueron muy claras, lo que dificulta su completo entendimiento y comparación, no obstante, funcionan como referentes de la industria (Cementos Moctezuma, 2010).

Al igual que para el cemento, a los bloques de concreto les compete directamente la LGPGIR (2018), dado que establece la clasificación y la gestión de los residuos sólidos, sin embargo, todo lo establecido por la ley está en términos generales, sin puntualizar sobre alguna norma oficial mexicana; para tal efecto, pueden observarse algunas normas mexicanas existentes en torno al tema, como la NMX-C-037-1986 y la NMX-C-404- ONNCCE-2014 (IMCYC, 2016). En la primera se establecen las características físicas de los bloques de concreto y los ladrillos de arcilla utilizados en la construcción, así como la cantidad de agua que son capaces de

absorber, mientras que la segunda plantea las especificaciones y los métodos de ensayo que deben cumplir los bloques, tabiques y tabicones para su uso estructural en las edificaciones (Flores-Corona, 2012). En ambas normas, se observa un tratamiento técnico, pero en ninguna existe algún apartado que estipule límites máximos permisivos para el uso de su materia prima o que haga mención de los tipos de residuos generados en su fabricación o incluso para su manejo en la disposición final.

Sin duda, el dinamismo económico de la sociedad moderna ha llevado a incrementar la cantidad de residuos producidos, dada la complejidad que les origina y su administración posterior, ya sean residuos sólidos urbanos, de manejo especial o peligrosos. En esa dinámica, la consolidación y expansión física de la ciudad cumple un papel relevante en el uso de materiales prefabricados para la construcción de edificios en los cuales el cemento es el ingrediente principal. No obstante, en México la normatividad aplicable a este tipo de empresas funciona como sugerencia, pero no establece responsabilidades para quienes la incumplan, a pesar de la relevancia de la industria del cemento y sus derivados.

La realización de diagnósticos básicos, así como de los correspondientes planes de manejo para residuos de manejo especial y peligrosos, es importante en el sentido de ofrecer información susceptible de ser confirmada por las autoridades correspondientes, para así precisar el manejo y la gestión de residuos desde la administración pública, permitiendo una mayor presencia del Estado, lo cual es un objetivo principal de la LGPGIR. En todo caso, las formas de manejar o gestionar los residuos tienen algunas precisiones para las administraciones locales, donde se mencionan algunas consideraciones al respecto.

## Diferencias entre tratamiento y remediación en el estado de Morelos

En el estado de Morelos, los residuos originados en las zonas urbanas requieren de un creciente uso de mano de obra e infraestructura, según el modelo de manejo actual. Es debido a ello, y a la laxitud de las políticas públicas, que la disposición final de residuos se realiza en lugares autorizados, pero operados con deficiencia o en los denominados tiraderos a cielo abierto, sin que se cumpla algún tipo de normatividad. De hecho, Cuautla es la única municipalidad que cuenta con un relleno sanitario que cumple con la norma correspondiente.

El incremento de los volúmenes de residuos requiere mayor cantidad de espacio para su depósito final que, al no ser cubierto, da lugar a la formación de pasivos ambientales; esto significa que de los 35 tiraderos a cielo abierto reconocidos oficialmente, 20 se han remediado y nueve están clausurados administrativamente. Al respecto, resulta necesaria la instrumentación de algún tratamiento según el tipo de residuos, con el objeto de disminuir la cantidad depositada en los rellenos sanitarios (EGIREM, 2017).

En este sentido es posible diferenciar el tratamiento y la remediación por el momento del proceso en que se instrumenta. La remediación, por ejemplo, es un procedimiento que se lleva a cabo cuando los residuos ya están en contacto con algún elemento como el agua, el aire o el suelo; se le considera así porque es a través de una serie de acciones que se restablece la condición o lo más parecido posible al estado original del elemento afectado. Se puede efectuar principalmente de dos formas: conteniéndolo o reduciendo su toxicidad, volumen e incluso su movilidad; para ello, se utilizan estrategias basadas en la alteración de su estructura química, extracción o separación, aislamiento e inmovilización del conta-

minante. En la práctica, la remediación se puede hacer en el sitio contaminado, o ex situ, aunque para ésta se necesitan tecnologías de excavación, dragado o algún tipo de proceso para remover el suelo contaminado antes de su tratamiento (Ortiz, 2017).

Por su parte, el tratamiento es un proceso en el que se aplican técnicas o tecnología a los residuos antes de que lleguen al suelo, agua y aire. Éstas pueden ser de tipo físico o químico, las cuales utilizan dichas propiedades de los contaminantes o del medio alterado para destruir, separar o contener la contaminación. También pueden ser de tipo biológico, cuyos procesos transforman un compuesto en formas más simples por medio de microorganismos que se alimentan de alguna fuente de carbono o térmica, la cual utiliza calor para incrementar la volatilización y, con ello, separar, quemar, descomponer, fundir o inmovilizar los contaminantes (Ortiz, 2017). Todos estos métodos se pueden llevar a cabo a través de nueva tecnología o de las ya tradicionales como son la incineración y la solidificación.

FIGURA 1. EL ESTADO DE MORELOS  
EN EL CONTEXTO NACIONAL



Fuente: Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED, 2010)





## Capítulo II. Contexto socioterritorial del estado de Morelos, características de la modernidad

Como parte de la región central del país, Morelos se localiza en la serranía del Ajusco, dentro de la cuenca del río Balsas,<sup>1</sup> y colinda con Ciudad de México, Estado de México, Puebla y Guerrero, como se aprecia en la figura 1. Sus características físicas y ambientales son relevantes regionalmente por su diversidad; por ejemplo, su uso de suelo y vegetación<sup>2</sup> cuenta con 11 categorías, entre las que predominan el manejo agrícola, pecuario y forestal, el cual ocupa alrededor de 66.4% del territorio; la selva baja caducifolia y subcaducifolia con 22.23%, así como bosque de pino encino (figura 2). Entre las cuatro categorías se alcanza 97% de la superficie estatal; debido a ello, los principales efectos de las transformaciones territoriales se han reflejado en este tipo de áreas, con lo que se observa que el sector agrícola y la cubierta vegetal han sido alterados por factores antrópicos, principalmente el urbano (Balduzzi y Tomase-  
li, 1979; INEGI, 2013a).

---

1 Geográficamente está situado entre los paralelos 18°22'05" y 19°07'10" latitud norte, 93°37'08" y 99°30'08" longitud oeste del meridiano de Greenwich.

2 La información recabada por el INEGI así como por el Instituto Nacional de Ecología (INE) clasifica al territorio nacional en 244 categorías, reducidas posteriormente a 54 por la Conabio.

Los recursos hídricos son determinantes de las particularidades ambientales del estado; se componen por los ríos Amacuzac, Cuautla, Yau-tepec-Jerusalén, Apatlaco, entre los más importantes, así como por cuerpos de agua, como la laguna El Rodeo, la Laguna de Coatetelco y el Lago de Tequesquitengo, que sobresale por su intensa actividad turística. En términos administrativos, todos estos forman parte de la IV región hidrológica del río Balsas,<sup>3</sup> dentro de los límites de las cuencas de los ríos Amacuzac y Atoyac<sup>4</sup> (INEGI, 2013a).

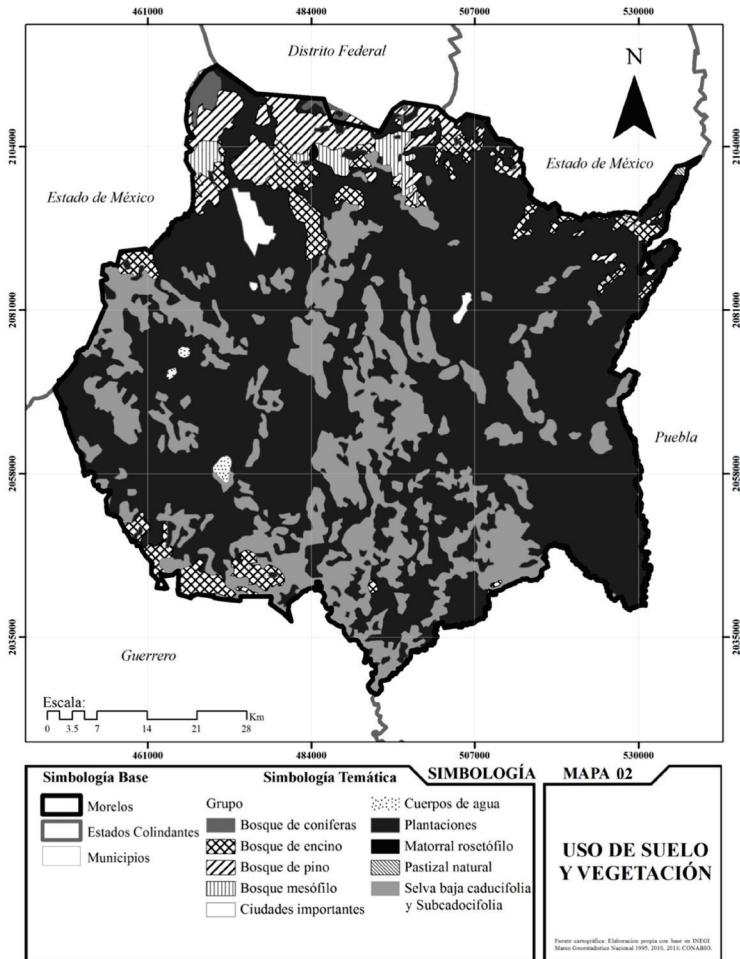
Más de la mitad de la superficie estatal se sitúa en un rango de entre 1500 y 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm) (INEGI, 2013a), dando lugar a un clima particularmente asociado a los ecosistemas locales. De hecho, se registran cuatro zonas térmicas: la zona cálida presente en 48.5% de la superficie estatal, con rangos de temperatura que van de 22 a 24 °C; la semicálida, que ocupa 39% del territorio y alcanza temperaturas de 18 a 22 °C; la templada con rangos de 12 a 18 °C y la semifría, con temperaturas de 5 a 10 °C, siendo las más bajas del estado (García, 1998a). En 87% del estado impera el clima cálido subhúmedo y, en más de la mitad, prevalecen rangos de precipitación pluvial de 800 a 1000 milímetros, benéficos para la agricultura, especialmente para la producción de caña de azúcar, arroz, sorgo, maíz, así como frutas, flores y plantas de ornato (García, 1998b).

---

3 En México, la Comisión Nacional del Agua ha definido 731 cuencas hidrológicas organizadas en 37 regiones hidrológicas que, a su vez, se agrupan en 13 regiones hidrológico-administrativas.

4 Las subcuencas que la integran son Progreso-Huautla, Tepexco, Chavarría, Jolalpan, Atencingo y el Platanal.

**FIGURA 2. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN EN EL ESTADO DE MORELOS**



*Fuente: Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED, 2010)*

## Referencias económicas y sociales

Para la construcción de un panorama más completo sobre la situación física y social del estado de Morelos se requiere conocer, además de las particularidades demográficas que son útiles para entender los fenómenos que modifican el territorio o los patrones sociales, la inmigración procedente principalmente de la Ciudad de México, Guerrero, Estado de México, Puebla y Veracruz (INEGI, 2017a), debido a la cual la población ha incrementado 1.3%, casi igual a la media nacional estimada en 1.4%. Cabe señalar que Morelos es el tercer estado más densamente poblado; alberga a 364 personas/km<sup>2</sup>, cuyo promedio es seis veces mayor que el nacional a pesar de sólo contar con 1 777 227 habitantes, los cuales, además, se distribuyen de la siguiente manera: 84% en áreas urbanas y 16% en rurales (INEGI, 2010, 2017).

En cuanto a las características socioeconómicas, la entidad cuenta con una población económicamente activa de 744 599 personas, 95% ocupadas en 79 404 unidades económicas (INEGI, 2009). El sector terciario prevalece en la estructura económica, porque emplea a 66.71% de la población trabajadora; mientras que el secundario ocupa 22.49% y el primario 10.03% (INEGI, 2010). La aportación al PIB estatal por sector se estima en 96 010, 46 657 y 4290 millones de pesos, respectivamente (INEGI, 2011). Cabe destacar que uno de los factores que influye de forma importante al PIB estatal es la inversión extranjera directa, atraída por la centralidad e infraestructura de la región, la cual alcanzó 1 566.9 millones de dólares en la última década. Los países inversionistas son Estados Unidos, que aportó 1 378.2; España, 90.5; Alemania, 39.4; Francia 37 y Japón 21.8 millones de dólares (Rodríguez, 2011). La principal consecuencia de dicha inversión fue el desarrollo de la actividad comercial, servicios de alojamiento, educativos, médicos, financieros,

inmobiliarios, de preparación de alimentos y bebidas y de transporte (INEGI, 2009).

En contraste con los indicadores de crecimiento económicos, se observa un incremento de los porcentajes de pobreza, la cual alcanzó a 45.5% de la población; caracterizada por problemas asociados a la pérdida progresiva de acceso a la seguridad social, la alimentación, los servicios de salud, los servicios básicos en la vivienda y por el rezago educativo. Aunado a esto, más de la mitad de la población recibe un ingreso salarial debajo de la línea de bienestar mínimo, insuficiente para satisfacer las necesidades alimentarias de 117 300 personas, 6.3% de las cuales se encuentra en condiciones de pobreza extrema, particularmente identificadas en los municipios de Totolapan y Tétela del Volcán (Coneval, 2010, 2012a).

## Contexto urbano y de la industria de la construcción del estado de Morelos

El sector terciario ha sido determinante de la estructuración territorial del estado; prevalece en la producción económica y en el empleo de población, particularmente concentrada en las ciudades. Por tal motivo, el área urbana estatal se ha incrementado en los últimos años; de acuerdo con el Marco Geoestadístico Nacional 2000, ésta abarcaba aproximadamente 160 km<sup>2</sup> y para 2015 llegó a 438 km<sup>2</sup>, es decir, se triplicó en un lapso de 14 años, a un ritmo promedio de 20 km<sup>2</sup> por año (INEGI, 2000).

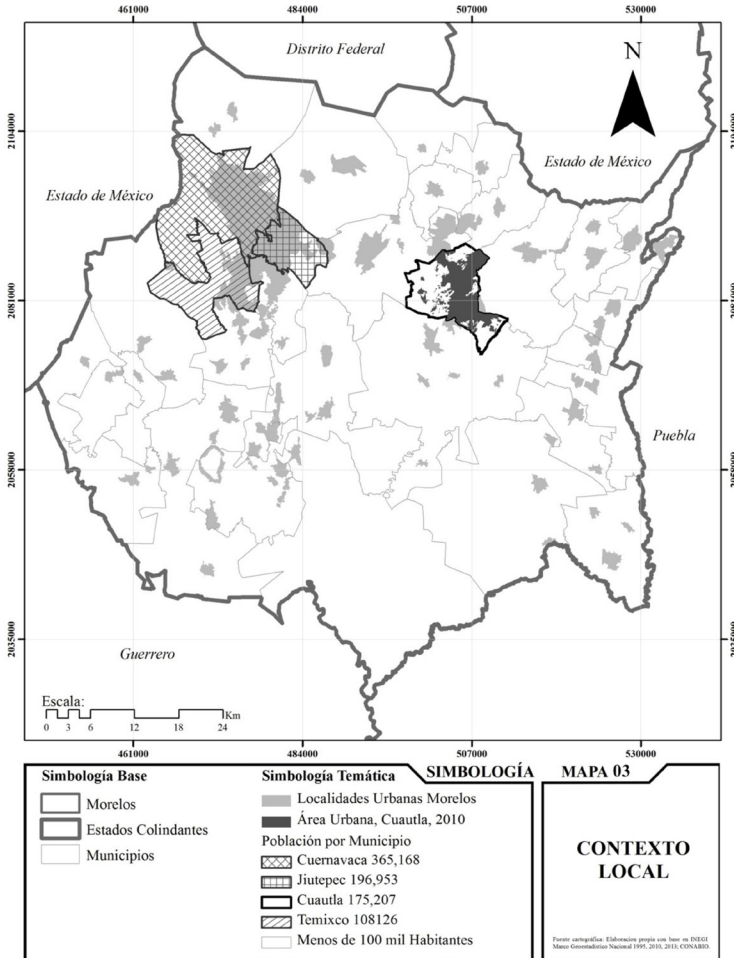
Dicha dinámica ocasionó que más del 80% de los habitantes del estado se considerara población urbana, lo que se intensificó por la interrelación de actividades socioeconómicas de la población, que traspasó límites administrativos y se concentró principalmente en dos áreas metropolitanas: Cuernavaca y Cuautla (ver figura 3). La primera área está conformada por los municipios de Tepoztlán,

Temixco, Cuernavaca, Xochitepec, Huitzilac, Emiliano Zapata, Jiutepec, Tlaltizapán; la segunda, por Yautepec, Yecapixtla, Tlayacapan, Cuautla, Atlatlahucan y Ayala, entre ambas albergan al 77% de la población estatal (Conapo, 2012a).

En función de lo anterior, ocurrió un crecimiento de la actividad constructiva como afirmación del espacio físico urbano sobre el espacio de cultivo o de áreas naturales. Sólo para tener una referencia, de acuerdo con el INEGI, en el año 2000 existían 367 399 viviendas, pero para 2015 ya había 523 231, es decir, se construyeron casi 156 000 casas más en 15 años; esto sin contar los edificios de oficinas, equipamientos urbanos, plazas comerciales e incluso las mismas calles y avenidas (INEGI, 2000, 2015).

Según información oficial del INEGI, durante 2009 el sector de la industria de la construcción en Morelos registró 188 unidades económicas enfocadas a esta actividad, generando una producción bruta total de 2 885 077 millones de pesos, dando empleo a 5328 personas y remunerándoles cerca de 324 812 millones de pesos. A pesar de su relevancia para la actividad estatal, el último censo económico reconoció una reducción de siete unidades económicas, así como de poco más de 500 millones de pesos en su producción bruta, por lo cual también disminuyeron los empleados en el sector y las remuneraciones (INEGI, 2014). Aunque las cifras oficiales revelan una caída de esta actividad, contabilizar su producción resulta complejo, puesto que es una de las actividades económicas más rentables asociada al crecimiento urbano y poblacional, por ende, a su necesidad de vivienda o equipamientos urbanos; cubierta en su mayoría de manera informal, por lo que resulta sumamente complicado el registro de dicha información.

FIGURA 3. CONTEXTO LOCAL DEL ESTADO DE MORELOS



Fuente: Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED, 2010)



## Algunas referencias de la degradación ambiental en el estado de Morelos

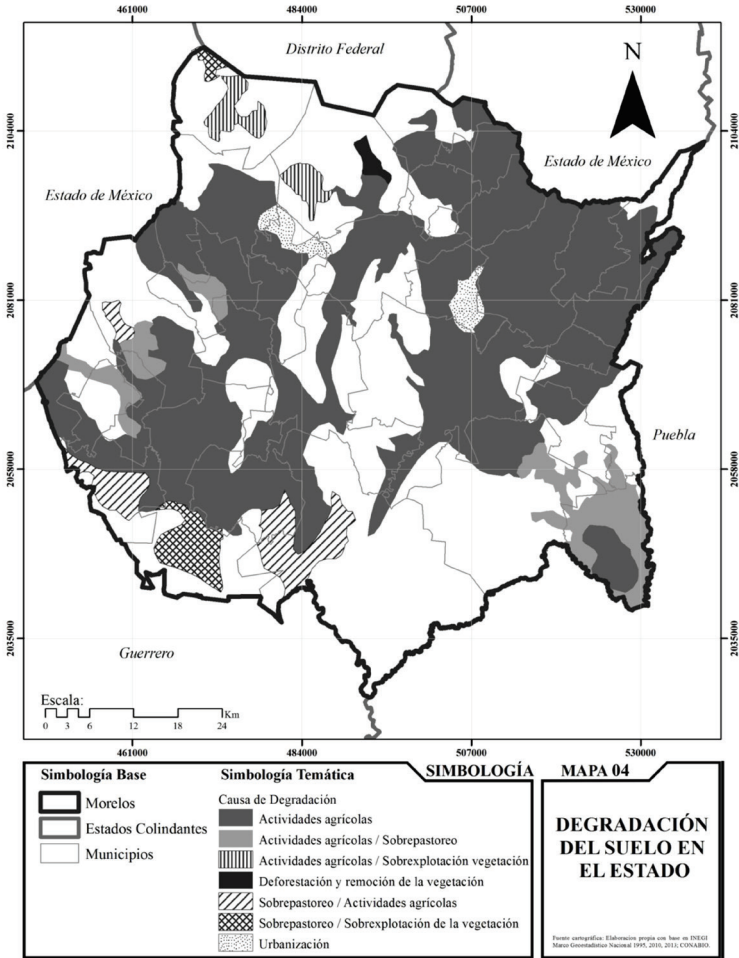
El incremento del área urbana se correlaciona con la transformación de las actividades productivas, entre las cuales prevalece el sector de servicios, particularmente en la etapa contemporánea, que al mismo tiempo intensifica la extracción de recursos naturales. En el caso de Morelos se estima que alrededor de 56% del suelo presenta algún grado de degradación física, como se aprecia en la figura 4, lo que impacta a las actividades agrícolas, y, en algunos casos, elimina la productividad biológica. En este sentido, 22.4% del suelo utilizado para la agricultura o con cobertura vegetal nativa fue sustituido por algún uso urbano, el cual ocupa 8.95% de la extensión estatal (Semarnat, 2004; INEGI, 2017b). Incluso, las áreas protegidas ubicadas en regiones relativamente estables ambientalmente han sido trastocadas por las actividades humanas, entre las que se identifican la Sierra Montenegro, El Texcal, la Sierra de Huautla y el corredor biológico Chichinautzin, cuya cobertura representada por selva baja caducifolia perdió 60% de su superficie original en los últimos años (Dorado et al., 2015).

Existen otros elementos que se incluyen en la degradación ambiental del estado, como los residuos originados por la actividad humana, relacionados directamente con la cantidad de población, urbanización y crecimiento económico. La producción estatal de residuos se estimó en 631.5 millones de toneladas entre 2000 y 2012, mientras que la producción per cápita alcanzó 0.96 kilogramos por persona. Derivado de este proceso, la generación de residuos sin tratamiento adecuado es determinante de los efectos en la salud de la población y el ambiente.

Los productos de desecho derivados de la construcción particularmente industrial, han contribuido como sector a la generación

de 13.08 toneladas de residuos peligrosos anualmente, de las cuales 0.40 toneladas provienen de la elaboración de cemento y cal. De igual forma, el uso de energía genera gases de efecto invernadero responsables de 37.96% de las emisiones totales emitidas, principalmente provenientes de la quema de combustibles fósiles. A éstos le siguen aquellas originadas por los procesos industriales, que aportan 30.44%, provenientes principalmente de la producción de cemento y de cal (Ortiz-Hernández et al., 2013). Cabe destacar, entonces, que la expansión urbana, en términos de densificación y diversificación, es responsable de la expansión misma de la industria de la construcción, en la que es particularmente relevante la elaboración de productos básicos como el cemento; de hecho, este sector se ha convertido en un generador importante de desequilibrios ambientales desde su proceso de producción del cemento hasta la obtención del producto final.

**FIGURA 4. DEGRADACIÓN DEL SUELO EN EL ESTADO DE MORELOS**



*Fuente: Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED, 2010)*

### Capítulo III. Generación de residuos de la industria de la construcción: particularidades en la elaboración de bloques de cemento en Cuautla, Morelos

La transformación urbana en Morelos está vinculada a la actividad económica de la Región Centro del país, con la que guarda múltiples intercambios económicos y de población. Como efecto de dicha dinámica, el municipio de Cuautla ha registrado una expansión territorial y demográfica en las últimas décadas, caracterizada por la tercerización de la economía local y la prevalencia de los sectores de servicios centrales para el mercado regional proveniente de la Ciudad de México.

Según cifras oficiales, Cuautla cuenta con un bajo porcentaje de población económicamente activa desempleada pero, al mismo tiempo, registra una degradación del empleo que ha sido consecuencia de la consolidación misma del sector de servicios, lo que reduce la capacidad de cohesión social entre la población y la privación de elementos básicos para su subsistencia, ya que alrededor de 51% de la población tiene un ingreso menor a la línea de bienestar (González, 2015).

Como consecuencia de ello, se observa una creciente adaptación de estrategias de sobrevivencia como el trabajo informal, al cual se integran más de 46 000 habitantes económicamente ocupados. Tales circunstancias dispares caracterizan socioeconómicamente al municipio, en donde la precarización del trabajo juega un

papel fundamental para su desarrollo económico, social e incluso ambiental.

La expansión territorial de Cuautla es un indicador útil para entender las transformaciones del espacio físico y aquellas vinculadas a patrones sociales, culturales y ambientales, las cuales reflejan un nivel de integración reciente. Estos cambios han sido producto del crecimiento poblacional, la disminución de las actividades del sector manufacturero, sobre todo las relacionadas a fabricación de alimento, y el consecuente incremento de los servicios, que actualmente emplean a la mayor parte de la población cuautlense, además de aportar una mayor producción bruta total.

Esto implica que, para hacer viable urbana y económicamente a la ciudad, la demanda de servicios se incrementó, incluso para los servicios relacionados con la cultura. El incremento del área urbana municipal se multiplicó cuatro veces desde 1970, llegando a ocupar la mitad de la superficie municipal, como se observa en la figura 5. Los efectos de dicho proceso implican, entre otras cosas, la ocupación de 34.6 km<sup>2</sup> de suelo agrícola productivo, lo que coincide con el descenso de las actividades relacionadas directamente con el campo, como la producción de alimentos (González, 2015).

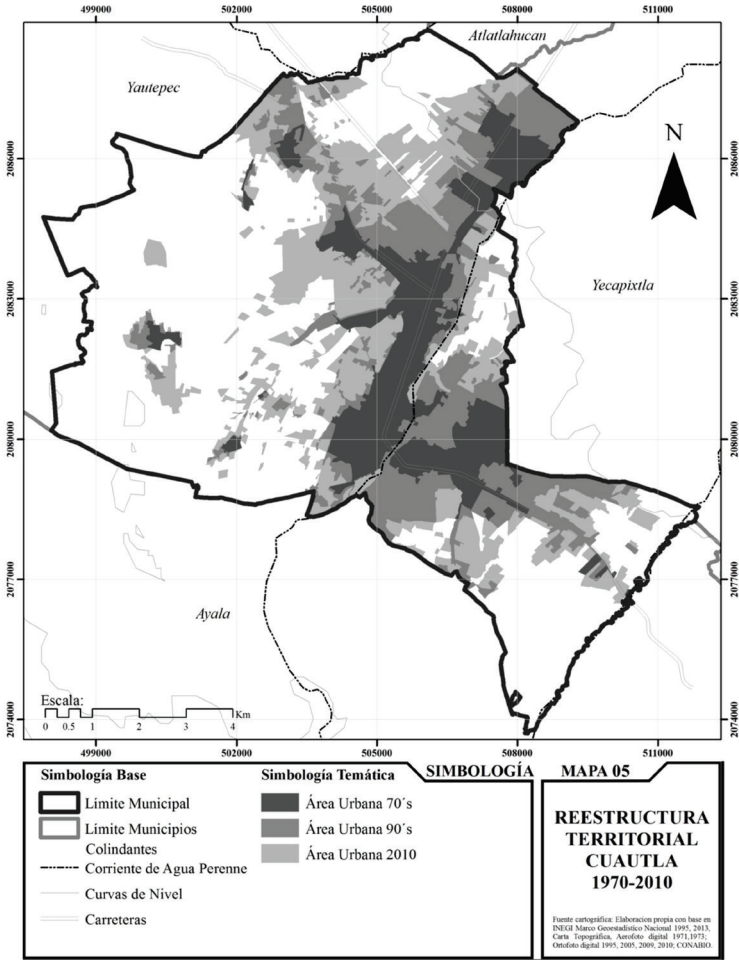
## Un acercamiento al uso de los bloques de cementos en Cuautla

Considerando una dinámica de transformación urbana-territorial de tales características, es posible explicar la creciente demanda de material para la construcción que ha sido utilizado en dicho proceso. La información catastral municipal de la última década permite interpretar la superficie construida del área urbana: en 1970 ésta se estimó en 36% de un área municipal equivalente a 12.39 km<sup>2</sup> (ver figura 6); para 1990, ocupaba 29.6%, es decir, registró una menor

densidad, mientras que para el 2000 alcanzó 20.6%, o bien 47.36 km<sup>2</sup> equivalentes a la mitad del área municipal, como se aprecia en el mapa de la figura 6. Este último período se caracteriza por un nivel mayor de dispersión (Comisión Estatal del Agua [Ceagua], 2014).

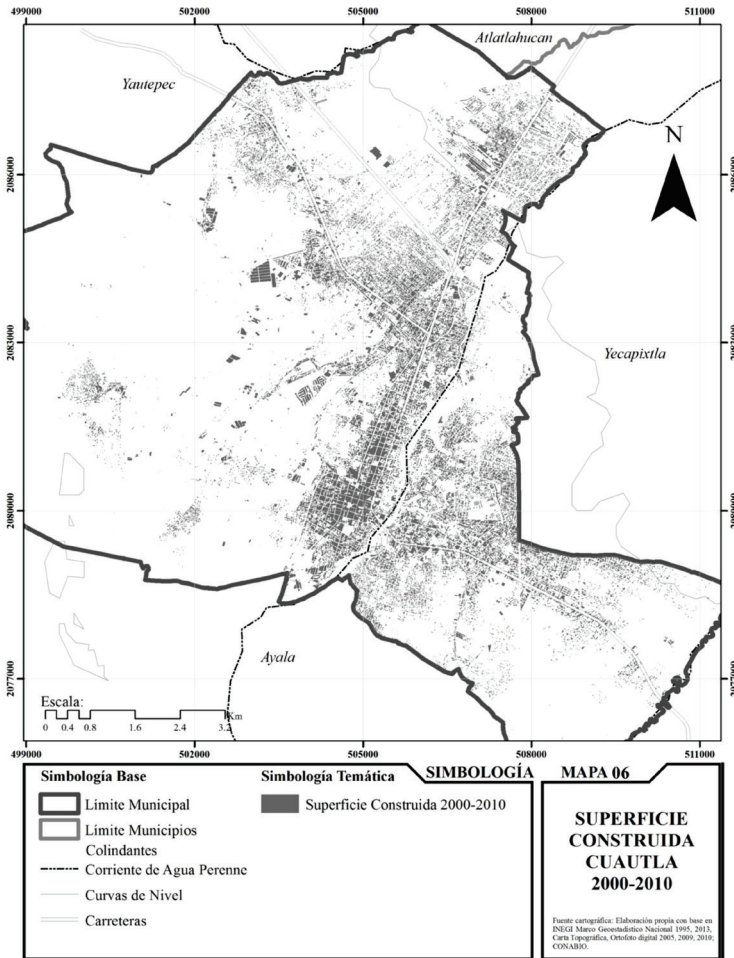
Las condiciones descritas permiten asociar la consolidación de las actividades terciarias con el aumento de la superficie urbana, así como con la industria, aunque en menor medida, ya que de acuerdo con el censo económico de 2009, los servicios duplicaron la producción bruta total del sector secundario cautilense (INEGI, 2009). La consecuencia más importante fue la extensión de la ciudad sobre territorio que antes era ocupado con fines de producción agrícola y la construcción de más de 25 000 edificaciones, estimando lo construido hasta la última década en un total 5 472 984 m<sup>2</sup> (Ceagua, 2014).

**FIGURA 5. REESTRUCTURA TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE CUAUTLA, MORELOS, 1970-2010**



*Fuente: Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED, 2010)*

**FIGURA 6. SUPERFICIE CONSTRUIDA EN EL MUNICIPIO DE CUAUTLA, MORELOS, 2000-2010**



Fuente: Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED, 2010)



## Industria de prefabricados para la construcción: el estatus de la elaboración de bloques de cemento en el municipio de Cuautla

El incremento de las áreas urbanas, así como de la cantidad de edificaciones en el municipio, ha traído consigo el uso de procesos, técnicas y materiales para la construcción diferentes a los utilizados tradicionalmente en la localidad. En gran medida, esto ha sido consecuencia del aumento de las actividades productivas relacionadas con lo urbano (Camagni, 2005), por ejemplo, cada vez más empresas y población se asientan en la ciudad, requiriendo en la misma medida infraestructura, equipamientos, vialidades, además de vivienda. Para dar solución a estos requerimientos, a la velocidad que exige el proceso de urbanización, se introdujeron procedimientos constructivos que tienen como base el uso de materiales industrializados.

Uno de los materiales industrializados más solicitados son los bloques prefabricados de cemento, debido a que su elaboración es fácil, rápida y económica, por lo que se pueden producir en grandes cantidades; su practicidad también se refleja en la construcción, debido a lo sencillo que resulta su colocación, gracias a lo cual es posible levantar estructuras en poco tiempo ahorrando materiales y mano de obra (Freyre y Deza, 2001). Las cualidades de estos bloques han sido aprovechadas en el sector de la construcción, desde el mercado inmobiliario hasta la población de escasos recursos; el primero, con la finalidad de acumular beneficios económicos, mientras que el segundo, para cubrir la necesidad de una vivienda.

En el estado, la fabricación de bloques de cemento es una actividad económica relevante; dentro de su rama, está sólo por detrás de la fabricación de concreto con una producción total bruta de 361 millones de pesos. Si tomamos como referencia regional

su precio actual de \$8500 por millar, se puede estimar que se elaboraron alrededor de 42 470 600 piezas, originando ingresos por 108 millones de pesos. Además, esta subrama emplea oficialmente a 362 personas, con remuneraciones cercanas a los 35 millones de pesos, y su producción se lleva a cabo en 59 unidades económicas repartidas en toda la entidad, de las cuales el 75% se asienta en las áreas metropolitanas: 35 unidades en Cuernavaca y nueve en Cuautla (INEGI, 2014; DENUÉ, 2017).

A pesar de su popularidad como material de edificación, los bloques de cemento también tienen consideraciones adversas, como son la extracción intensiva de recursos naturales para su confección y la contaminación al ambiente a través de la generación de residuos durante la construcción. En este sentido, la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción clasifica sus desechos dentro del grupo de los premezclados prefabricados, estimando su generación en 1456 toneladas (CMIC, 2017). Al igual que los elementos de concreto, representan 24% de lo originado en el país, sólo por debajo de lo producido por el material de excavación. Sin embargo, en Morelos no existen datos que permitan estimar su contribución a los residuos de construcción, menos aún sobre los producidos durante su fabricación, aunque la cantidad de bloqueras establecidas en la entidad y de piezas fabricadas son un número considerable, lo que incrementa posibles impactos relevantes tanto para el ambiente como para la población.

## Bloques de cemento, la estandarización como base de su fabricación

La importancia de los bloques de concreto para la industria de la construcción deriva, en gran parte, de la simplicidad en su proceso de fabricación y de la facilidad para acceder a los materiales que

los componen, razón por la cual se pueden llegar a elaborar varios millares de piezas en una sola jornada laboral, que pueden ser utilizados para la edificación de forma rápida y económica. El punto más complejo para su elaboración se centra en la necesidad de una instalación eléctrica trifásica, así como de maquinaria especializada (Vanguardia, 2016; ver figuras 7 y 8), la cual consta de:

1. Una revolvedora de acero con un eje metálico y aspas añadidas par mezclar el material vertido en ella, la cual funciona a partir de un motor eléctrico de 10 caballos de fuerza.
2. Una banda de caucho con rieles metálicos, que cumple con la función de trasladar la mezcla ya homogenizada desde la revolvedora hasta una tolva de metal, por medio de un motor de ocho caballos de fuerza
3. Una tolva de metal, donde se deposita desde la parte superior la mezcla realizada en la revolvedora, además tiene un sistema de apertura por compuertas en la parte inferior para dejar caer la mezcla dentro de moldes.
4. Moldes metálicos, se pueden construir para darle forma a 2 o 4 piezas. Se colocan atornillados a una plancha de metal, la cual a su vez está sujeta a un sistema que la hace vibrar, a partir del movimiento generado por un motor eléctrico de tres caballos de fuerza.

**FIGURA 7. MÁQUINA VIBRO-COMPACTADORA**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*

**FIGURA 8. BANDA TRANSPORTADORA**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*

Instalada la infraestructura, los pasos para la elaboración de los bloques en la localidad consisten en:

1. Elaborar la mezcla, la cual se lleva a cabo combinando dentro de una revolvedora cemento portland, tepecil o tepojal (piedra porosa de origen volcánico), arenilla y agua. Con excepción del agua, los otros materiales son de uso común y pueden comprarse en cualquier tienda de materiales de construcción. Las cantidades utilizadas varían dependiendo del fabricante, pero rondan los 12 m<sup>3</sup> de tepecil, 5 m<sup>3</sup> de arenilla y 12 bultos de cemento para un millar de bloques, mientras que el agua se dispone de tal manera que permita sólo mantener húmedo el compuesto.
2. Una vez homogenizado el compuesto, es transferido por una banda mecanizada de la revolvedora a una tolva en la que se almacena la mezcla, para posteriormente ser vertida a los moldes en periodos aproximados de dos minutos.
3. Debajo de los moldes se coloca una placa de madera aciata, soportada por una mesa metálica vibradora; después de este paso, se llenan los troqueles con la mezcla para ser compactados con un pisón metálico, al mismo tiempo que se enciende la mesa para hacer vibrar el material. El resultado es un bloque prismático de concreto compactado, cuyas dimensiones oscilan 12 cm de ancho, 18 de alto y 40 de largo (ver figura 9).

**FIGURA 9. PROCESO VIBRADO DEL MATERIAL**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*

4. Una vez compactados, los bloques se sacan de los moldes para iniciar su proceso de secado al sol durante 24 horas, esto se hace de preferencia sobre una superficie plana para facilitar la colocación de estibas, es decir, que se enciman hasta cuatro tablas una sobre otra (ver figura 10).
5. Ya secos, los bloques son retirados de las placas de madera para finalmente ser almacenados o vendidos, puesto que ya alcanzaron su estado óptimo para ser utilizados en obra.



**FIGURA 10. SECADO DE LOS BLOQUES DE CONCRETO**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*



## Ladrillos de arcilla, una opción artesanal para la construcción

En una realidad marcadamente urbano-arquitectónica, uno de los materiales que permanece vigente en los procesos constructivos en todo el planeta es el ladrillo recocido. Si bien su eficiencia varía dependiendo de las particularidades del sitio de donde sea extraída la materia prima para su elaboración, en todos los casos adquiere características de durabilidad y gran resistencia a la compresión, además, su proceso de fabricación artesanal lo vuelve económicamente accesible a la población. Sin embargo, como se ha dicho, el acelerado crecimiento urbano ha incrementado el uso de materiales de construcción prefabricados, debido a que disminuyen el tiempo de edificación y los costos financieros, aunque al mismo tiempo ocasionan el desuso de materiales alternativos e incluso tradicionales como el ladrillo.

En este contexto, la ciudad de Cuautla también ha remplazado el uso del ladrillo recocido por los bloques de concreto; ya sea como recubrimiento o con fines estructurales, el bloque de concreto se convirtió en un elemento fundamental para la edificación. Si bien la elaboración del ladrillo recocido plantea retos ambientales, económicos e incluso sociales, que deben ser identificados detenidamente, lo cierto es que representa prácticamente la única alternativa costeable para la construcción sobre todo de la arquitectura popular. Aunque su producción en números brutos disminuye, no se ha detenido; por ejemplo, en una ladrillera cuautlense tradicional se llevan a cabo dos hornadas al mes con una producción de hasta 32 millares cada una, de las que en promedio salen defectuosas 600 piezas por hornada.

La transmisión de conocimientos para la elaboración artesanal del ladrillo en esta zona convirtió a esta labor en un negocio fami-

liar, que ha utilizado los mismos parámetros durante años consistentes principalmente en:

1. Hacer una revoltura que contenga suelo arcilloso, mejor conocida entre los fabricantes como barro, además de arenilla y agua; las proporciones varían, pero rondan por millar de tabique producido los 3 m<sup>3</sup> de arcilla, 1.4 m<sup>3</sup> de arenilla, mientras que el agua dependerá de la consistencia de los componentes (ver figura 11).

**FIGURA 11. MATERIA PRIMA, ARCILLA**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*

2. Posteriormente, se lleva a cabo la homogenización de la mezcla con medios manuales, utilizando como herramientas una pala, un bote de 19 litros y los pies del artesano para revolver los componentes, por lo que no se requiere de una maquinaria o componentes especializados ni del uso de energía eléctrica (ver figura 12).

**FIGURA 12. MEZCLA DE ARCILLA Y ARENILLA**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*

3. Una vez que se ha pisado la mezcla, se coloca en moldes de tubulares, cuya duración es de hasta dos años. Dichos moldes antes eran de madera, pero sólo duraban aproximadamente cinco meses. También se cambió el material del eje o enrasador por uno de plástico, el cual es utilizado para recortar la mezcla vertida dentro de los moldes desgastándolos menos (ver figura 13).

**FIGURA 13. SECADO DEL LADRILLO**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*



4. Al sacarse de los moldes, las piezas se quedan en el piso para su secado por un periodo de 15 días (ver figura 14). Si al secarse se rompen, entonces es señal de que la mezcla adolece de una mayor proporción de arenilla. Las piezas defectuosas se reincorporan a los materiales vírgenes para realizar nuevamente ladrillos o se almacenan para elaborar viviendas de barro.

**FIGURA 14. MOLDE TUBULAR**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*

5. Ya secas las piezas, se preparan para ser cocidas durante 27 horas en un horno sobre el que se colocan en forma piramidal. Para su cocción, se utiliza como combustible cáscara de coco y restos de tela de mezclilla; esta etapa les confiere su color, acabado y resistencia (ver figura 15). El producto final denominado tabique rojo recocido es un elemento prismático rectangular que mide 5 cm de alto, 13 de ancho y 26 de largo.

**FIGURA 15. HORNO DE LADRILLO**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*



## Capítulo IV. Consumo de materias primas en la industria bloquera regional

La generación y el manejo de residuos son temas que desafían la administración de las ciudades, más aún en lo referente a los residuos generados por una industria poco regulada como es la de la construcción y la fabricación de los materiales utilizados en dichos procesos. Bajo este esquema, la producción de bloques de cemento en Morelos genera un volumen de residuos que no ha sido cuantificado aún, sin embargo, una estrategia útil para tal propósito es su estimación con base en la producción bruta total y el costo promedio por millar de piezas producidas y ofertadas al mercado.

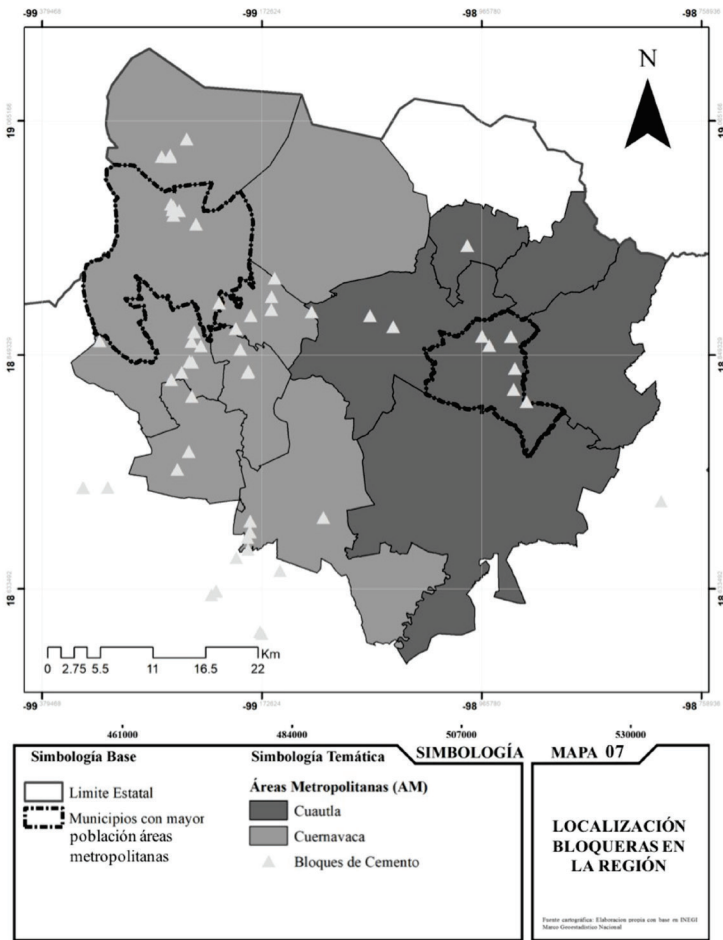
En función de lo anterior, Morelos tiene una producción total bruta de 361 millones de pesos, mientras que el costo promedio por millar de bloques de cemento es de \$8500, lo que equivale a la fabricación de aproximadamente 42 470 600 piezas. De acuerdo con las proporciones utilizadas por sus productores, un millar de estos bloques necesita 12 bultos con 50 kg de cemento, 12 m<sup>3</sup> de tepecil o piedra volcánica y de 5 m<sup>3</sup> de arenilla para cerrar los espacios huecos. Tomando como referencia las cantidades mencionadas, producir más de 42 millones de bloques requiere 25 482 36 toneladas de cemento, 509 647.2 m<sup>3</sup> de tepecil y 212 353 m<sup>3</sup> de arenilla.

Para la zona metropolitana de Cuautla, estos requerimientos se pueden valorar a través de la homogenización de lo producido en las fábricas de la región y los días trabajados. Cada una de éstas produce aproximadamente dos millares de piezas por día de tra-



bajo, en total, casi seis días, lo que arroja una producción mensual de 11 millares. De acuerdo con el DENUÉ (2017), y como se puede observar en la figura 16, en Cuautla existen nueve bloqueras, las cuales manufacturan 99 000 piezas a la semana, 396 000 al mes y 4 752 000 piezas por año; esto significa que necesitan proveerse de 2851.2 toneladas de cemento, 57 024 m<sup>3</sup> de tepecil y 23 760 m<sup>3</sup> de arenilla.

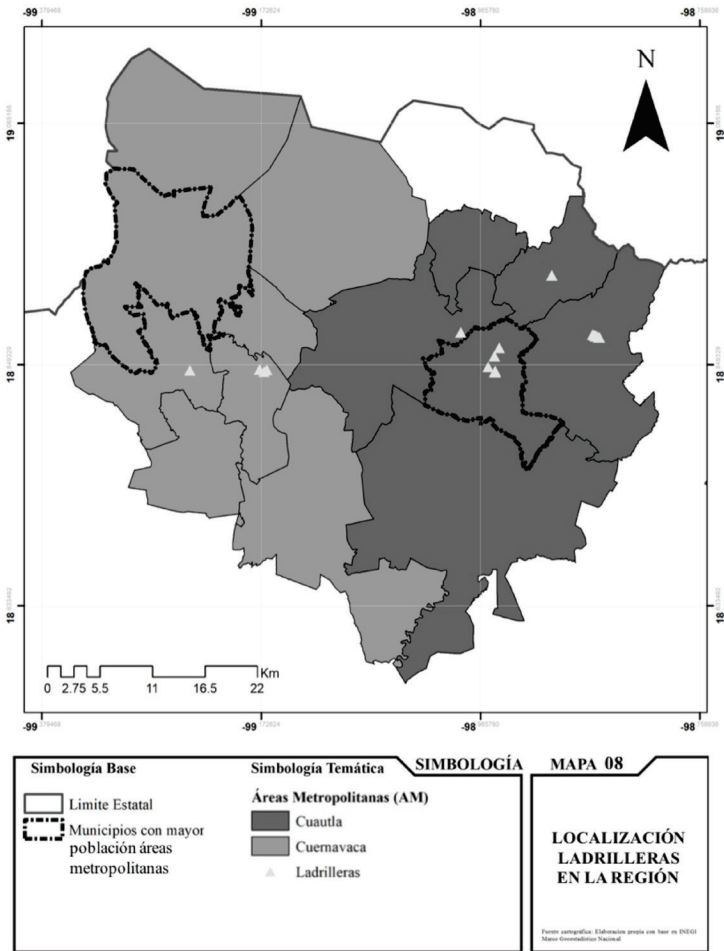
**FIGURA 16. LOCALIZACIÓN DE BLOQUERAS EN CUAUTLA Y CUERNAVACA**



*Fuente: Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED, 2010)*

Para el ladrillo, el cálculo del material utilizado se puede estimar de la misma forma que para los bloques de cemento. A nivel estatal su producción bruta alcanzó los 6.9 millones de pesos, mientras que su costo promedio fue de \$2000 por millar ofertado al mercado, a lo cual corresponde una elaboración aproximada de 3 450 000 piezas. Dicha cantidad, representa el uso de 10 350 m<sup>3</sup> de arcilla y 5 175 m<sup>3</sup> de arenilla. En la zona metropolitana de Cuautla, según el DENUE, se establecieron 17 de las 29 ladrilleras existentes, como se muestra en la figura 17, las cuales queman aproximadamente 64 millares de ladrillos mensualmente. Es importante resaltar la relevancia de la zona para la industria ladrillera morelense, debido al número de establecimientos radicados en ella, y por las 1088 piezas elaboradas ahí. Por supuesto, esta capacidad productiva requiere de una considerable cantidad de materia prima para su fabricación, que ronda los 3264 m<sup>3</sup> de arcilla y 1632 m<sup>3</sup> de arenilla.

**FIGURA 17. LOCALIZACIÓN DE LADRILLERAS EN CUAUTLA Y CUERNAVACA**



*Fuente: Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED, 2010)*

Si bien el número de piezas así como de los materiales requeridos para la fabricación de estos productos es significativo, es necesario establecer una diferencia primordial entre ambos, y es que mientras un metro cuadrado de muro se construye con 12 bloques de cemento, se necesitan 76 ladrillos para cubrir la misma área. Con este dato, se puede establecer la primacía del bloque de cemento derivada de su rendimiento, pues lo manufacturado en el estado alcanza para cubrir más de 3 227 000 m<sup>2</sup>, mientras que el ladrillo cubre sólo el 1.7% de esa cantidad.

Por otra parte, aunque las piezas de cemento resultan más efectivas para cubrir metros cuadrados de construcción, también requieren de mayores cantidades de materiales para su fabricación, como se resume en la tabla 1, lo que justifica extraer grandes cantidades de recursos naturales, en comparación con el proceso de elaboración tradicional del ladrillo de arcilla.

Tabla 1. Consumo de materia prima para el proceso de fabricación de bloques de cemento y ladrillos en Morelos

<b>Bloques de cemento Para fabricar 42 470 600 piezas:</b>	Ladrillos Para fabricar 3 450 000 piezas:
25 482 ton/cemento	10 350 m <sup>3</sup> de arcilla
509 647 m <sup>3</sup> de tepecil	5 175 m <sup>3</sup> de arcilla
212 353 m <sup>3</sup> de arenilla	

*FUENTE: Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED), 2010*

## Generación y manejo de residuos en la producción de bloques de cemento

A pesar de la diferencia entre las cantidades de material consumido a nivel local y regional, el proceso para la elaboración de ambos productos no varía de manera representativa, de igual forma sucede con la generación de residuos, por lo que es posible identificar los más representativos y estimarlos en ambas escalas. Para el caso de los bloques de cemento, se reconocieron los siguientes residuos:

1. Embalaje de los bultos de cemento
2. Restos no utilizados de mezcla, húmedos y secos
3. Piezas de bloques defectuosos o rotos
4. Aceite quemado
5. Planchas de madera

Los residuos más sustanciales están asociados al uso de materiales para la fabricación de los bloques de cemento, entre los que resaltan las bolsas de papel utilizadas de envase para el cemento, los restos de mezcla y las piezas defectuosas de los bloques (ver figuras 18 y 19). En este sentido, se calcula que en la zona metropolitana de Cuautla las bloqueras generan alrededor de 57 024 bolsas de papel, mientras que en el estado este número se incrementa a más de 509 000 residuos de embalajes. Esto representa un problema ambiental, no sólo por la cantidad de residuos generados sino porque la estrategia de disposición final no contempla el hecho de que los envases están cubiertos con remanentes de cemento, y su manejo se remite principalmente a la quema a cielo abierto de miles de bolsas de papel impregnadas con cemento.

**FIGURA 18. GENERACIÓN DE RESIDUOS:  
BOLSAS DE CEMENTO**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*



### FIGURA 19. RESIDUOS DE MEZCLA SECA



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*

Los restos de mezcla no utilizada durante el vibrado mecánico de los bloques son difíciles de cuantificar, dado que se reincorporan a la cadena productiva casi de manera inmediata mientras la mezcla permanece húmeda. Los sobrantes de mezcla seca y los bloques de cemento defectuosos, como los de la figura 19, son recolectados para posteriormente triturarse de manera manual, de este modo pueden integrarse otra vez como materiales aptos para una nueva mezcla. Este manejo de los remanentes en las bloqueras morelenses aumenta la productividad, reduce los costos económicos y, sobre todo, disminuye en gran medida la generación de residuos.

Por el contrario, el aceite quemado y las planchas de madera se desechan en cantidades mínimas, puesto que el primero se man-

tiene confinado en tambos o cubetas cerradas, que sólo se abren para aceitar las placas de madera, y las segundas son desechadas cuando se rompen, aproximadamente una o dos mensualmente. Lo que resulta imprescindible es evidenciar, dentro del contexto de los residuos, que las más de 25 400 toneladas de cementante utilizado en los bloques consumirán aproximadamente 38 224 toneladas de materias primas, liberando 20 386 toneladas de  $\text{CO}_2$  al ambiente; parte del cual es producido por las 11 773 llantas incineradas durante el proceso de fabricación de los bloques (Canacem, 2006).

## Generación y manejo de residuos en la producción de ladrillos de arcilla

Para el caso de los ladrillos recocidos de arcilla, se pudo reconocer que durante las etapas de mezclado de los materiales, en el moldeado de la mezcla e incluso en el secado de las piezas producidas, la generación de residuos es prácticamente nula debido a que la arcilla y arenilla, componentes principales que integran la mezcla, son un tipo de suelo, cuyos restos durante esta etapa pueden ser reintegrados a la argamasa o simplemente quedarse en el sitio sin ocasionar algún efecto adverso relevante. Lo mismo pasa en la etapa en que se da forma a los ladrillos, sólo cambia el hecho de que las características plásticas de la composición la hacen moldeable. En caso de que algunas piezas no tengan la consistencia deseada son enviadas nuevamente a la mezcla, evitando el desperdicio de materiales, pues significan un gasto en la producción.

Durante el secado de las piezas existen algunas mermas usualmente ocasionadas porque las porciones de los materiales en la mezcla no fueron las indicadas para garantizar la cohesión del ladrillo, como se observa en la figura 20. En este caso, los residuos ya secos son triturados con métodos manuales para reincorporarse a

la mezcla o se conservan para construir habitaciones que son unidas con la misma argamasa con la que se elaboró el ladrillo.

**FIGURA 20. ALMACENAMIENTO DE  
LADRILLOS DEFECTUOSOS SECOS**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*

Existen aproximadamente 600 piezas defectuosas por cada 32 millares durante la quema de los ladrillos, lo que suma 1200 ladrillos mensualmente. Las piezas defectuosas son almacenadas (ver figura 21), para posteriormente ser comercializadas como relleno de construcción, pero además son utilizadas para construir muros, e incluso habitaciones, ya que no necesitan ser junteados con mortero, su colocación permite que trabajen por peso propio los muros, como se puede apreciar en las figuras 22 y 23.

**FIGURA 21. ALMACENAMIENTO DE  
LADRILLOS DEFECTUOSOS HORNEADOS**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*



**FIGURA 22. EXTERIOR DE MURO  
REUTILIZANDO LADRILLOS**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*

**FIGURA 23. INTERIOR DE VIVIENDA CONSTRUIDA  
CON LADRILLOS REUTILIZADOS**



*Fuente: fotografía del autor, diciembre de 2017*

A fin de cuentas, el ladrillo recocido y los bloques de cemento comparten algo común: durante su elaboración los dos desprenden cantidades considerables de  $\text{CO}_2$ . En Morelos, se estima que su producción bruta total genera alrededor de 4036 toneladas de  $\text{CO}_2$  al ambiente (Márquez y Cárdenas, 2011).

Al comparar la composición de los residuos resultantes del proceso de fabricación de los bloques de cemento y los ladrillos de arcilla (tabla 2), es posible observar una diferencia considerable de elementos que son desechados durante la elaboración de los bloques, particularmente, por la cantidad de bolsas con restos de cemento que son enviadas a disposición final o quemadas sin ningún tipo de tratamiento, menos aún se somete el sitio a algún proceso de remediación en caso de ser necesario. Mientras que el ladrillo por otra parte recicla o reutiliza lo generado durante su elaboración.

Tabla 2. Composición de residuos generados en el proceso de elaboración de bloques de cemento y ladrillos de arcilla en Morelos

<b>Bloques de cemento</b>	<b>Ladrillos</b>
Embalaje de cemento	Ladrillos rotos en proceso de secado
Restos de mezcla húmeda y seca	Ladrillos rotos en proceso de secad
Bloques secos rotos	Ladrillos rotos en proceso de horneado
Aceite quemado	Ladrillos rotos en proceso de horneado
Planchas de madera	Ladrillos rotos en proceso de horneado

FUENTE: *elaboración propia con información recabada en campo*





## Capítulo V. Conclusiones preliminares

### Un esquema de manejo para los residuos durante la elaboración de los bloques de cemento

La globalización de las actividades productivas incentivó en nuestro país una dinámica económica que ha concentrado sus procesos administrativos y de mercado en las ciudades que, a su vez, están incrementando en número y tamaño. Estas condiciones predominantemente urbanas van dejando un rastro evidente de la masificación constructiva: una huella arquitectónica. No obstante, este concepto no se utiliza dentro del sector, principalmente porque implicaría aceptar los diversos efectos negativos que conlleva.

Uno de esos efectos negativos es la generación de residuos de la construcción, tema que ha quedado de lado cuando se habla de los problemas que aquejan las zonas urbanas. La administración pública ha puesto mayor énfasis en las actividades que le permiten atraer inversiones, construir infraestructura e incluso mejorar la imagen urbana de las ciudades, sin emitir restricciones adecuadas para el manejo de materiales y residuos derivados de la construcción.

Se ha incrementado el número de edificaciones arquitectónicas, pero poco se consideran los efectos de dicho proceso, por eso es importante una discusión urbano-arquitectónica desde una perspectiva metodológica que facilite la comprensión del problema. Todavía no se cuenta con una sistematización de información concreta sobre el sector en términos de la cantidad de residuos generados por

la industria de la construcción en un estatus agregado o por etapa de desarrollo, ni en términos cualitativos; menos aún existe información sobre los procesos indirectos de fabricación de materiales básicos para la edificación de los cuales también resultan desechos.

En el panorama nacional de desconocimiento cualitativo y cuantitativo de los residuos derivados de la edificación, el estado de Morelos contribuye con su dinámica regional y urbana correspondiente. De este proceso, resalta el consumo de materiales que representan ventajas de diferente orden; la producción y el uso de bloques de cemento son ejemplo de estas condiciones, dado que existe registro del incremento en su producción y consumo, debido a su rendimiento conveniente en cantidad de m<sup>2</sup> de edificación, reduciendo costos monetarios y tiempo de edificación, por lo que se convierte en uno de los materiales de construcción más utilizados a nivel estatal.

A pesar del amplio uso de los bloques de cemento, no se han planeado medidas relevantes donde se tome en cuenta al ambiente ni a la población, dando lugar a impactos que, sumándose a otros, terminan convirtiéndose en significativas externalidades negativas. Es necesario desarrollar esquemas alternativos a los convencionales, que permitan mitigar los efectos de los residuos durante su producción a través de una gestión y manejo acorde a las características específicas del problema, dado que los recursos públicos utilizados para su abordaje son limitados.

En este sentido, es imprescindible conocer las condiciones en que se encuentra esta actividad no sólo en la ciudad de Cuautla sino en la entidad, partiendo de la actualización del registro de unidades económicas orientadas a esta actividad. Para después, identificar la cantidad y calidad de los residuos generados durante la elaboración de los bloques de cemento e incluso de los ladrillos de arcilla. Con esa información se podría formular una normatividad

aplicable a todo Morelos, que estandarice los procedimientos de fabricación, los ordenamientos a través de los cuales se reduzcan las emisiones, los embalajes y el uso de materias primas para la elaboración de este material; para lo que ya existen estrategias puntuales.

Con lo anterior, sería posible establecer políticas y estrategias para el manejo de los residuos derivados de la construcción y, por ejemplo, se podrían definir como residuos de manejo especial las altas concentraciones de envases de cemento generadas en cada establecimiento bloquero. Al respecto, en algunos países como Colombia las cementeras dan entrenamiento a quienes utilizan este producto, para que las bolsas sean aprovechadas en la fabricación de subproductos como fibrocemento, aunque también se incentiva la utilización de algún tratamiento de remediación ambiental para mitigar algunas de las consecuencias originadas por la quema de los envases de cemento.

Otra alternativa que puede ser aplicada es la integración de cementantes o agregados reciclados, dependiendo de la granulometría de los desechos de la construcción que se trituraren. Este proceso puede realizarse manual o mecánicamente con la ayuda de maquinaria de bajo costo como hacen los pepenadores en diferentes países de Latinoamérica, para así reincorpóralos al proceso productivo; además, desde la administración pública se podrían incentivar las reducciones fiscales a los establecimientos que usen estas iniciativas. Con las acciones mencionadas se podrían reducir un par de problemas: la liberación de  $\text{CO}_2$  al ambiente, pues cada  $\text{m}^2$  de bloques es igual a 6.24 kg de  $\text{CO}_2$ , más la quema de embalajes, uso de electricidad, así como la extracción de materiales vírgenes.

Sin lugar a duda, el manejo de los residuos desde el origen es la opción más pertinente para mitigar el problema de los desechos, por lo cual es importante incentivar alternativas que permitan a los productores reutilizar, reciclar y, en última instancia, desechar los

residuos sin que se afecte al proceso de producción, el cual se encuentra frecuentemente asociado a una economía de supervivencia en el caso de los micro o pequeños productores.

## Lista de referencias

- Alarcón, C. (2013). Empleo de bloques con basura en la construcción como una alternativa de reciclaje [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. TESIUNAM. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6187/tesis.pdf?sequence=1>
- Banamex. (2018). Histórico dólar americano. Recuperado el 01 de abril, de: <https://www.banamex.com>
- Balduzzi A. y Tomaseli R. (1979). Carta fisionómica-estructural de la vegetación en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Banco Mundial. (abril, 2018). PIB (US\$ a precios actuales). <https://datos.bancomundial.org/indicador/ny.gdp.mktp.cd>
- Bedoya, C. (2003). El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats Urbanos sostenibles: “La ciudad como ecosistema semi-cerrado, una utopía cultural” [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7155/98589947-2003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Camagni, R. (2005). Economía urbana. Barcelona, España: Antoni Bosch Editores.
- Cámara Nacional del Cemento. (2006). Acciones de la industria cementera para la reducción de COPs (PCDD/F). Recuperado de: [http://www2.inecc.gob.mx/descargas/sqre/fc2\\_16\\_miguel\\_ladron\\_guevara.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/descargas/sqre/fc2_16_miguel_ladron_guevara.pdf)

- Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción. (2008). Detonador de Empleo. Cámara Mexicana de la Industria de la construcción. Recuperado el 08 de junio de 2017, de: <http://www.cmic.org.mx>
- Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción. (2017). Plan de manejo de residuos de construcción y demolición. CMIC. Recuperado de: <http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM%20RCD%20Completo.pdf>
- Campos-Avella, J., Lora-Figueroa, E., Meriño-Stand, L., Tovar-Ospino, I., Navarro-Gómez, A., Quispe-Oqueña, E., Vidal-Medina, J., López-Castrillón, Y., Castrillón-Mendoza, R. y Prias-Caicedo, O. (2017). Ahorro de energía en la industria del cemento. Colombia: Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia.
- Castro, P., Gaspar, J. y Palma, N. (2009). Manual de fabricación de tabicón sólido de concreto [Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional]. <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5789/12.1149.pdf?sequence=1>
- Cemex. (2000). La ecoeficiencia. Informe de medioambiente, seguridad y salud 2000. Cemex. Recuperado de: <http://bdigital.binal.ac.pa/bdp/La%20ecoeficiencia.pdf>
- Cementos Moctezuma. (2010). Creciendo juntos. Informe de Sustentabilidad 2010. Corporación Moctezuma. Recuperado de: <https://www.cmoctezuma.com.mx/inline/e7460c680b9a46e58259b58a-d4ea8f53/187/0/0/false>
- Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción. (2017a). Producto interno de la construcción, por entidad federativa 2016. CMIC. Recuperado de: <http://www.cmic.org.mx/cmico/ceesco/2017/PIB%20por%20entidad%20Federativa%202016.pdf>
- Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción. (2017b). Situación actual y perspectivas de la industria de la construcción en México. CMIC. Recuperado de: <https://www.cmic.org.mx/cmico/ceesco/2017/Las%20Tendencias%20Regionales%20del%20Merca>

- do%20de%201a%20Construcci%C3%B3n%20y%20Futuros%20Planes%20de%20Desarrollo\_25\_04\_2017.pdf
- Comisión Estatal del Agua. (2014). Plano Catastral del Municipio de Cuautla Morelos. México: INEGI.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2010). Índice de Rezago Social 2010 a nivel municipal y por localidad. Coneval. Recuperado de: <https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/%C3%8Dndice-de-Rezago-social-2010.aspx>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2012). Informe de pobreza en México 2012. Coneval. Recuperado de: [https://www.coneval.org.mx/Informes/Pobreza/Informe%20de%20Pobreza%20en%20Mexico%202012/Informe%20de%20pobreza%20en%20M%C3%A9xico%202012\\_131025.pdf](https://www.coneval.org.mx/Informes/Pobreza/Informe%20de%20Pobreza%20en%20Mexico%202012/Informe%20de%20pobreza%20en%20M%C3%A9xico%202012_131025.pdf)
- Consejo Nacional de Población. (2012). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010. Gobierno de México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conapo/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2010>
- Dirección General de Comunicación Social. (2015). Fabrican en la UNAM ecoladrillo con residuos de construcción. Boletín UNAM-DGCS-749, [http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2015\\_749.html](http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2015_749.html)
- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. (2017). México – Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2011-2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/335/data-dictionary#page=F7&tab=data-dictionary>
- Dorado, O., Almonte, J., López, K., Ramos, F. y Arias, D. (2015). Vegetación arbórea como indicador ambiental. En Ortiz, L., Sánchez, E., Castrejón, L. y Romero, M. Los indicadores ambientales como herramienta para la sustentabilidad: Estudio de caso en Morelos (pp. 27-56). Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Recuperado de: <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/219>



- Estrategia para la Gestión Integral de los Residuos del Estado de Morelos. Publicado en Periódico Oficial Tierra y Libertad el 10 de febrero de 2017.
- Estrucplan. (2018). Estrucplan Argentina. Recuperado de: <https://www.estrucplan.com.ar>
- Flores-Corona L. (2012). Curso de análisis de estructuras de mampostería. México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. Recuperado de: <https://www.smie.org.mx/archivos/eventos/2012/octubre/curso-analisis-estructuras-mamposteria-leonardo-emmanuel-flores-corona.pdf>
- Freyre, J. y Peñaherrera, E. (2001). Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Recuperado el 12 de junio de 2017, de: <http://www.cismid.uni.edu.pe/wp-content/uploads/2019/12/E01A.pdf>
- García, E. (1998a). Isotermas medias anuales. Escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- García, E. (1998b). Precipitación total anual. Escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Gobierno de Morelos. (29 de septiembre de 2017). Dan a conocer sitios autorizados para la disposición final de residuos por construcción y demolición en Morelos. Recuperado el 10 de noviembre de 2017, de: <https://morelos.gob.mx/?q=prensa/nota/dan-conocer-sitios-autorizados-para-la-disposicion-final-de-residuos-por-construccion-y>
- González, C. (2015). Condiciones de la planeación en el Estado de Morelos. Una aproximación general al municipio de Cuautla [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. TESIUNAM. [https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB\\_UNAM/TES01000735920](https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000735920)

- Hoyos, A., Jiménez, M., Ortiz, A. y Montes de Correa, C. (2008). Tecnologías para la reducción de emisiones de gases contaminantes en plantas cementeras. *Revista de Ingeniería e Investigación*, 28(3), 41-45, <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v23n3/v28n3a05.pdf>
- Instituto Mexicano del Cemento y Concreto. (2006). Las posibilidades del concreto. Bloques, para hacerlos mejor. *Construcción y Tecnología*, (214), 12-15, <http://www.imcyc.com/ct2006/marzo06/POSIBILIDADES.pdf>
- Instituto Mexicano del Cemento y Concreto. (2016). Cementantes Hidráulicos Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCE-2014. *El Concreto en la Obra Problemas, Causas y Soluciones*, (101), 12-15, <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/enero2016/problemas.pdf>
- Instituto Mexicano del Cemento y Concreto. (2018). Proceso de Elaboración del Cemento Portland. Recuperado el 01 de abril de 2018, de: [https://www.academia.edu/37080527/PROCESO\\_DE\\_ELABORACION\\_DEL\\_CEMENTO\\_PORTLAND](https://www.academia.edu/37080527/PROCESO_DE_ELABORACION_DEL_CEMENTO_PORTLAND)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2012). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Recuperado el 10 de mayo de 2017, de: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/Documentos/Ciga/libros2009/CD001408.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2000). Morelos: Perfil sociodemográfico : XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Recuperado de: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825496654/702825496654\\_21.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825496654/702825496654_21.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009). Censos Económicos 2009. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2009/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). XIII Censo de Población y Vivienda 2010. Recuperado de: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2011). Sistema de Cuentas Nacionales de México. Recuperado de: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos//prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/derivada/cuentas/se-cins/2007-2011/702825003961.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos//prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/derivada/cuentas/se-cins/2007-2011/702825003961.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013a). Anuario Estadístico Morelos 2012. [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/anuario\\_multi/2012/mor/702825045951.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/anuario_multi/2012/mor/702825045951.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013b). Estadísticas a propósito de la Industria del cemento. Recuperado el 14 de junio 2017, de: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/economico/a\\_proposi\\_de/Cemento.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/economico/a_proposi_de/Cemento.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). Censos Económicos 2014. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2014/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). Cuéntame. Información por Entidad. Viviendas. Recuperado el 15 de junio de 2017, de: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mor/poblacion/vivienda.aspx?tema=me&e=17>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017a). Cuéntame. Información por Entidad. Movimientos migratorios. Recuperado el 15 de junio de 2017, de: [http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mor/poblacion/m\\_migratorios.aspx?tema=me&e=17](http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mor/poblacion/m_migratorios.aspx?tema=me&e=17)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017b). Marco Geoestadístico Nacional, junio 2017. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463142683>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). México en Cifras. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/>

- Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (2010). Enciclopedia de Municipios y Delegaciones de México. Recuperado el 02 de febrero de 2017, de: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM17morelos/index.html>
- Jiménez, A. y Palomo, Á. (2009). Propiedades y aplicaciones de los cementos alcalinos. *Revista de Ingeniería y Construcción*, 24(3), 213-232.
- Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Morelos. Periódico Oficial Tierra y Libertad, México, 17 de octubre de 2007.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación, México, 19 de enero de 2018.
- Márquez, C. y Cárdenas, B. (2011). Determinación de emisiones de gases de efecto invernadero en base a factores de emisión y monitoreo de eficiencia energética en la Comunidad Ladrillera El Refugio, León Guanajuato. México: Eficiencia energética en ladrilleras artesanales. Recuperado de: <https://www.yumpu.com/es/document/read/36792741/para-descargar-red-ladrilleras>
- Martínez, J. A. (2013). Use and valorization of organic fraction of municipal solid waste in Colombia for sustainable development. *ONTARE. Revista de Investigación de la Facultad de Ingeniería*, 1(2), 243-254.
- Mejía, E., Osorno, L. y Osorio, N. (2015). Residuos de la construcción: Una Opción para la recuperación de suelos. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquía*, 12(2), 55-60, <http://www.redalyc.org/pdf/1492/149240052005.pdf>
- Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2013. Gaceta Oficial del Distrito Federal, México, 26 de febrero de 2015.
- Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCC-2012. Diario Oficial de la Federación, México, 13 de diciembre de 2012.
- Norma Oficial Mexicana NMX-C-037-1986. Recuperada el 10 de junio 2017, de: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/sc/NMX-C/C-037.pdf>

- Norma Oficial Mexicana NOM-040-ECOL-2002. Diario Oficial de la Federación, México, 18 de diciembre de 2002.
- Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011. Diario Oficial de la Federación, México, 01 de febrero de 2013.
- Organización de las Naciones Unidas. (2014). Más de la mitad de la población vive en áreas urbanas y seguirá creciendo. Recuperado el 13 de junio de 2017, de: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>
- Ortiz-Hernández, L., Sánchez-Salinas, E., Castrejón-Godínez, L., Terrazas-Hoyos, H., Rodríguez, A., Quiroz-Castañeda, R. y Lara, J. (2013). Morelos Frente al Cambio Climático. México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Ortiz, L. (2017). Seminario Tratamiento y Remediación. Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Agosto-Diciembre 2017.
- Rodríguez, J. (2011). La especialización terciaria y los aspectos ambientales como factores determinantes en la competitividad del centro histórico de Cuernavaca [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos].
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2004). 'Degradación del suelo en la República Mexicana - Escala 1:250 000.', escala: 1:250000. México, Distrito Federal.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2007). Manifestación de impacto ambiental. Modalidad particular. Proyecto: Ejido Gustavo Díaz Ordaz. Semarnat. Recuperado de: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bcs/estudios/2007/03BS2007FD081.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2008). Manifestación de impacto ambiental. Modalidad particular. Cambio de uso de suelo. Proyecto: Bloquera Todos Santos. Semarnat. Recuperado

de: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bcs/estudios/2009/03BS2009FD024.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). El medio ambiente en México 2013-2014. SEMARNAT. Recuperado el 9 de junio de 2017, de [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen14/07\\_residuos/7\\_1\\_1.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_1_1.html)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2017). Criterios para el manejo de los residuos de construcción y demolición generados por el sismo del 19 de septiembre para los estados de México, Morelos, Puebla y Ciudad De México. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259191/Criterios\\_RIC\\_Sismo\\_19\\_septiembre.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259191/Criterios_RIC_Sismo_19_septiembre.pdf)

Vanguardia. (diciembre, 2016). Las bloqueras de México, un ejemplo para el mundo. Vanguardia, <https://www.vanguardia.com.mx/articulo/las-bloqueras-de-mexico-un-ejemplo-para-el-mundo>

Véliz, J., Zambrano, E. y Rivera, R. (2013). Reciclaje de residuos de construcción en la producción de bloques en la ciudad de Portoviejo. ESPAMCIENCIA, 4(2), 91-98, [https://www.researchgate.net/publication/306550549\\_RECYCLING\\_OF\\_WASTE\\_CONSTRUCTION\\_IN\\_PRODUCTION\\_OF\\_BLOCKS\\_IN\\_THE\\_CITY\\_OF\\_PORTOVIEJO](https://www.researchgate.net/publication/306550549_RECYCLING_OF_WASTE_CONSTRUCTION_IN_PRODUCTION_OF_BLOCKS_IN_THE_CITY_OF_PORTOVIEJO)

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1. El estado de Morelos en el contexto nacional	41
Figura 2. Uso de suelo y vegetación en el estado de Morelos	45
Figura 3. Contexto local del estado de Morelos	50
Figura 4. Degradación del suelo en el estado de Morelos	53
Figura 5. Reestructura territorial del municipio de Cuautla, Morelos, 1970-2010	57
Figura 6. Superficie construida en el municipio de Cuautla, Morelos, 2000-2010	59
Figura 7. Máquina vibro-compactadora	63
Figura 8. Banda transportadora	64
Figura 9. Proceso vibrado del material	66
Figura 10. Secado de los bloques de concreto	67
Figura 11. Materia prima, arcilla	69
Figura 12. Mezcla de arcilla y arenilla	70
Figura 13. Secado del ladrillo	71
Figura 14. Molde tubular	72
Figura 15. Horno de ladrillo	73
Figura 16. Localización de bloqueras en Cuautla y Cuernavaca	77
Figura 17. Localización de ladrilleras en Cuautla y Cuernavaca	78
Figura 18. Generación de residuos: bolsas de cemento	83
Figura 19. Residuos de mezcla seca	84
Figura 20. Almacenamiento de ladrillos defectuosos secos	86
Figura 21. Almacenamiento de ladrillos defectuosos horneados	88
Figura 22. Exterior de muro reutilizando ladrillos	88
Figura 23. Interior de vivienda construida con ladrillos reutilizados	89
Tabla 1. Consumo de materia prima para el proceso de fabricación de bloques de cemento y ladrillos en Morelos	81
Tabla 2. Composición de residuos generados en el proceso de elaboración de bloques de cemento y ladrillos de arcilla en Morelos	91

Con frecuencia, los estudios urbanos concentran su interés en procesos convencionales como la expansión de las ciudades, que han merecido importantes páginas dentro de la disciplina. Sin embargo, el ámbito urbano enfrenta una creciente complejidad funcional que no solo ha pasado desapercibida, sino que también representa una seria dificultad por resolver. Para ello es necesario admitir las aportaciones del pensamiento crítico, e incluso, el uso de un instrumental teórico metodológico inter-transdisciplinar. “La huella arquitectónica” propone aproximarse, desde una perspectiva urbano-ambiental, a los determinantes y las consecuencias de la generación de residuos procedentes de la edificación arquitectónica. Para ello, se reconoce que el mercado ha condicionado los sistemas constructivos basados en materiales prefabricados de cemento, especialmente en bloques de concreto, los cuales ocupan la mayor parte de la oferta de materiales de construcción. Metodológicamente, se aborda la estandarización de su fabricación, con el objeto de estimar los residuos producidos, así como identificar las estrategias de manejo, disposición y desequilibrios ocasionados. La expansión urbana es una manifestación del mercado de materiales de construcción, el cual se concentra en aquellos más rentables, pero dañinos por su uso y fabricación; identificar estas particularidades en Morelos permite replantear su producción y regulación para mitigar la huella ambiental, que en última instancia es arquitectónica.

