

## Capítulo 2

# Contribuciones de las prácticas constructivas a la emisión de contaminantes atmosféricos PM2.5 en Cuernavaca de 1980 a 2020

---

Rafael Monroy Ortiz, Laura Yerith Erazo Najera, César Augusto González Bazán

---

### Resumen

La contaminación atmosférica es una característica que se atribuye a la ciudad; su contribución es fundamental para en la tendencia creciente de esta en la escala global. Los mecanismos que le dan origen están asociados a la dependencia de combustible fósil y a las múltiples actividades que lo requieren. La edificación es en particular, una de los más importantes determinantes de dicho proceso; es interés de este trabajo, comprender la dinámica de la actividad constructiva que contribuye a la emisión contaminante de PM2.5, en Cuernavaca entre 1980 y 2020. Esto implica la estimación de la tasa de crecimiento urbano por tipo de suelo habitacional bajo el supuesto de que este es proporcionalmente mayor en las ciudades y cuyas prácticas son responsables de una emisión constante para la que no existe todavía la aplicación de estrategias urbanas de mitigación, que reduzcan sus impactos.

Palabras clave:  
Contaminación atmosférica;  
expansión urbana;  
usos del suelo habitacionales;  
prácticas constructivas.

Monroy Ortiz, R., Erazo Najera, L. Y., González Bazán, C. A. (2026). Contribuciones de las prácticas constructivas a la emisión de contaminantes atmosféricos PM2.5 en Cuernavaca de 1980 a 2020. En J. A. Ramírez Pérez, B. G. Hernández Jaimes, R. Flores Velázquez, N. Lara Ruiz, & L. E. García Pascacio, (Coords). *Problemas urbanos en Morelos* . (pp. 71-116). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.405.c871>



## Introducción

Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, la emisión de gases de efecto invernadero mantiene una tendencia creciente, siendo la década entre 2010 y 2019, la de mayor registro históricamente (IPCC, 2022). Dados los riesgos que esto representa para la sociedad, es pertinente discutir la racionalidad que sostiene su dinámica expansión, así como la posibilidad para adoptar estrategias de mitigación, reduciendo la vulnerabilidad y sus respectivos costos sociales. Las emisiones antropogénicas provienen principalmente del consumo de combustible fósil, de forma que existe trabajo pendiente para lograr una transición energética en los procesos productivos y los patrones de consumo, dado que estos son responsables de la racionalidad intensiva y, por ende, contaminante. Sin embargo, los patrones productivos y de consumo están condicionados por el contexto económico donde se lleva a cabo, de forma que existe una contribución diferenciada respecto al volumen contaminante. Los países industrializados representan una carga relativamente mayor al hemisferio sur; esto puede ilustrarse con el Índice de Desarrollo Humano (PNUD, 2025) mismo, el cual se ha ajustado con indicadores de presión planetaria, incluyendo las emisiones de dióxido de carbono per cápita y que demuestra en países clasificados con un IDH muy alto, una producción de 24 toneladas per cápita correspondiente a Emiratos Árabes Unidos o de 14 toneladas per cápita en Canadá, Estados Unidos, Australia, los cuales son reconocidos convencionalmente como países industrializados.

Visto desde el Ingreso Nacional Bruto (INB), países con los mayores registros, ubicados entre 54 mil y 73 mil dólares per cápita alcanzan una emisión 4 veces mayor que aquellos con un INB de 18 a 21 mil dólares IDH muy alto y alto. Con base en ello, se demuestra

relativamente, la hipótesis de que existen contribuciones diferenciadas a la contaminación, dadas las condiciones de desarrollo económico. México registra una emisión contaminante dióxido de carbono de 3.8 toneladas per cápita. El IPCC también describe una correlación entre Producto Interno Bruto (PIB) per cápita o crecimiento de población con la contaminación atmosférica; visto en términos generales, esta sería proporcionalmente mayor en la sociedad del norte hemisférico, donde los patrones de consumo intensivos son posibles debido al nivel de ingreso promedio de la población y a la capacidad productiva instalada (IPCC, 2022a). Al mismo tiempo, la espacialidad de dichos procesos económicos se manifiesta en las aglomeraciones humanas, por lo cual estas son consideradas responsables de un volumen contaminante mayor; se estima que consumen 78% de la energía mundial y producen más del 60% de las emisiones de gases de efecto (Un Environment, 2017).

Considerando el papel de las ciudades en la contaminación atmosférica, resulta pertinente discutir las principales fuentes de dicha emisión; se estima que el sector de la construcción en particular emite 5.6 % del total global, es decir 3.3 GtCO<sub>2</sub>-eq, sin embargo, teniendo en cuenta la demanda energética directa e indirecta derivado de su emplazamiento y operación, esta proporción alcanza 16% (IPCC, 2022a, p. 218). Dicha contribución es condicionada por la demanda de productos y servicios que implica alcanzando 66% del total mundial, pero es de destacar que las emisiones son una consecuencia de varios procesos asociados, incluyendo no solo la demanda de materia prima o productos manufacturados, sino también, la tendencia global del crecimiento de suelo habitable per cápita, el servicio de energía para ello, las distancias de viaje y el incremento del parque vehicular (op. cit), los cuales son particularidades de las ciudades en el sur hemisférico.

En el caso de México, el sistema urbano registra 48 zonas metropolitanas, en las que residen 67.6 millones de personas (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, 2020), las cuales manifiestan las condiciones de demanda de materia prima, productos manufacturados, incremento de suelo habitable per cápita o el consumo de energía que contribuye con la emisión contaminante característico de las ciudades, como sitio de concentración de procesos económicos y de una proporción mayor de población. En términos de la contaminación atmosférica se observa que de 51 zonas metropolitanas y ciudades que son monitoreadas en el país, solamente 5 cumplieron con los límites normados (SEMARNAT, 2022, p. 34). Cuernavaca se identifica como una de las ciudades que no cumplió con la Norma Oficial Mexicana de Salud Ambiental de PM10 en particular, la cual refiere una concentración que compromete la salud de la población y dada su frecuencia en días, propuesta en 70 mg/m<sup>3</sup> para 24 hrs o 36mg/m<sup>3</sup> anualmente (SEMARNAT, 2022), tiene una relación directa con los factores observados en el sistema urbano mismo.

En consecuencia, se considera que tal dinámica requiere una comprensión política como sociedad, la cual permita modificar las causalidades de los patrones de contaminación atmosférica; esto se enmarca en una perspectiva global consensada en los acuerdos de París, donde se le categoriza como "justicia climática" (Naciones Unidas, 2015, p. 2) e incluso, es reconocida en el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2022), planteándose como una estrategia de manejo para el caso particular de las ciudades como resultado de la reunión de Habitat III (Naciones Unidas, 2017).

En este trabajo se plantea como objetivo de investigación, estimar la contribución del sector de la construcción de la ciudad de Cuernavaca de 1980 a 2020 a la emisión contaminante de PM10, desde el incremento

del uso del suelo habitable per cápita y agregado por cada década, con el objeto de abrir una discusión técnica en términos de las posibilidades cualitativas de mitigación desde el programa de desarrollo urbano de centro de población.

### *Precisiones metodológicas*

En la estrategia metodológica se propone:

- Foto interpretar imágenes satelitales de libre acceso en google pro, con el objeto de estimar el área urbana total de Cuernavaca entre 1990 y 2020, así como su tasa de crecimiento con base en  $teu = \sqrt[n]{\frac{vf}{vp}} - 1$ , dibujando un mapa de expansión urbana en arc gis;
- Calcular el área del uso del suelo habitacional por subtipo residencial (H1), nivel medio (H2) e interés social (H4), obtenido del programa de desarrollo urbano de centro de población vigente;
- Calcular el área del uso del suelo habitacional de la expansión urbana y subtipo H1, H2, H4 entre 1990 y 2020, con base en el plano catastral de Cuernavaca;
- Estimar el volumen de residuos generado por etapa constructiva en la densidad edificada promedio en mts<sup>2</sup> por subtipo, a saber, H1, H2, H4, equivalentes a 120 m<sup>2</sup>, 91 m<sup>2</sup> y 60 m<sup>2</sup>, respectivamente considerando ejemplos de cada uno del análisis unitario de obra correspondiente;
- Estimar el volumen total por uso del suelo habitacional por subtipo, por década y de aquellos componentes con mayor incidencia en la contaminación atmosférica asociada a

enfermedades respiratorias, particularmente, derivados de cemento y fierro;

- Calcular la contribución de las emisiones contaminantes de los derivados de cemento y fierro por década, de acuerdo al área construida total.

## **Contribución urbana a la contaminación atmosférica**

Los sistemas urbanos concentran ampliamente un mercado de trabajo y de consumo que dinamizan su expansión y procesos inherentes, particularmente, la sustitución del suelo, la demanda de materia prima, recursos naturales y la generación de residuos; a pesar de tratarse de un espacio relativamente menor, ocupando entre 5% y 6% de la superficie y albergar 56% de la población mundial (UN-Habitat, 2023), su huella ecológica es proporcionalmente mayor. Esto significa que existe una relación entre las particularidades económicas urbanas y los efectos ambientales; por ejemplo, las ciudades contribuyen con el 8 % del Producto Interno Bruto (PIB) a nivel mundial (UN-Habitat, 2023, p. 2), pero emiten 72% del CO<sub>2</sub> planetario y genera 2 billones de toneladas de residuos sólidos anualmente (UN-Habitat, 2021, p. 3). Se considera que la tendencia creciente de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la última década proviene del sector urbano (IPCC, 2022: 218); en este, el sector de la construcción produce 5.6% del total mundial, lo cual se estima en 3.3 GtCO<sub>2</sub>-eq, a lo que contribuye su demanda energética, alcanzando 16%.

El funcionamiento urbano está condicionado por la demanda de productos y servicios que deriva en una aportación a la contaminación atmosférica del 66 % del total mundial, lo cual refleja la transversalidad

urbana en términos de los impactos ambientales. Dicha contaminación es una de las condiciones críticas más importantes de la expansión urbana, atribuida a la demanda de materia prima o productos manufacturados, la tendencia global del crecimiento de suelo habitable per cápita, el incremento del servicio de energía, las distancias de viaje al interior de las ciudades, así como el incremento del parque vehicular o la secular desigualdad (UN-Habitat, 2021). Según estimaciones la población urbana alcanzará 5 mil millones de personas en 2030, alrededor de 60.4% del total mundial (United Nations Human Settlements Programme, 2024). En 2020, la contribución del sistema urbano a la emisión de gases de efecto invernadero es estimada en 46 millones de kilotoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, a una tasa per cápita de 5.9 kilotoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, así como una media anual de 33.1 microgramos por m<sup>3</sup> de partículas suspendidas (PM2.5).

En consecuencia, la expansión urbana forma parte de una agenda política mundial; las propuestas que la han sustanciado incluyen: la Nueva Agenda Urbana (Naciones Unidas, 2017), la cual se propone para ser instrumentada en las políticas urbanas nacionales en atención a la creciente desigualdad, incluyen la reproducción de los asentamientos precarios, que hasta 2022 alcanzaba 1,123 millones de personas en todo el planeta (UN-Habitat, 2024, p. 301), la regulación urbana, el diseño urbano, así como el financiamiento y la gobernanza. Así mismo se articula al Acuerdo de París, que propone en particular la reducción de las emisiones de GEI y con ello evitar el aumento de la temperatura global a 2 °C, por medio de revisión de avances quinquenalmente, ofreciendo financiamiento en países en desarrollo para mitigar el cambio climático y al mismo tiempo, fortaleciendo la resiliencia y la capacidad de adaptación (Naciones Unidas, 2017a).

Además, se articula con la agenda 2030, específicamente en el objetivo 11, el cual se avoca a las ciudades, incluyendo (Naciones Unidas, 2015; UN-Hábitat, 2023):

- a. Acceso a vivienda, servicios básicos y reducción de asentamientos precarios;
- b. Acceso a sistemas de transporte;
- c. Urbanización inclusiva, capacidad de participación y sustentabilidad de los asentamientos;
- d. Mitigación de la vulnerabilidad frente a desastres;
- e. Reducción de impactos ambientales atmosféricos o de residuos;
- f. Acceso a espacio público;
- g. Promoción de vínculos socioambientales rurales y urbanos;
- h. Implementación de políticas inclusivas, energéticamente eficientes y de mitigación frente al cambio climático.

En el marco de la agenda política urbana, la región de América Latina y el Caribe enfrenta una serie de desafíos estructurales, los cuales tienen que ver con las seculares debilidades institucionales en términos de capacidad de decisión para confrontar la expansión urbana. En ese sentido, la instrumentación política, desde la valoración misma de los componentes de la contaminación, incluye su monitoreo a las contribuciones sectoriales de emisiones contaminantes. El caso mexicano registra un primer monitoreo de 7 componentes: Ozono (O<sub>3</sub>), partículas inferiores a 10 mg (PM<sub>10</sub>), Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), partículas suspendidas totales (PST) plomo (Pb), en 5 zonas metropolitanas y 12 ciudades, aunque estas últimas con una menor periodicidad de monitoreo (SEMARNAP, 1997); esto se mantiene

relativamente similar una década después cuando se alcanzan 18 ciudades (SEMARNAT, 2011).

México enfrenta como toda la región latinoamericana, enfrenta una “doble transición urbana-demográfica” y nuevos patrones de producción, distribución y consumo vinculados al circuito global del capital, así como condiciones estructurales resultan limitantes para el desarrollo urbano sostenible (CEPAL, 2024, p. 3), la materialización del derecho a la ciudad, la reducción de la desigualdad o la segregación socio-espacial, el aseguramiento de las condiciones de vida mínimas para los ciudadanos y el resarcimiento de la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático. De modo que parte de los pendientes en el caso mexicano, incluyen no solo instrumentación de la NAU en lo general, sino los mismos mecanismos de valoración que hasta hace poco, evidencian inestabilidad o irregularidad, así como una limitada comprensión de las contribuciones sectoriales y, por ende, las posibilidades mismas de intervención local.

## **El sector de la construcción. Huella de carbono**

La contribución del sector de la construcción a la contaminación atmosférica a nivel mundial se estima en 5.6% y alcanza 16% incluyendo aquella derivada del consumo de energía; visto desde la transversalidad de la ciudad, la contribución se incrementa hasta 66%. La forma en que el sistema urbano nacional contribuye tendría un registro relativamente reciente en 1996, con el primer informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas (SEMARNAP, 1997), en el cual se integran menos de 20 ciudades de un universo de 55 ciudades entre las que destacan 12 con más de 600,000 habitantes y 5 con procesos metropolitanos de más de un millón de habitantes (SEDESOL, 2004). En el informe

nacional de la calidad del aire 2020 (SEMARNAT, 2022) se integran 100 ciudades de las cuales 55 son zonas metropolitanas, de 21 estados de la república, en la cual se estima que la participación del sistema urbano se integra con 92 metrópolis -48 zonas metropolitanas, 22 metrópolis municipales, 22 zonas conurbadas-, donde equivalen a 421 municipios, lo que significa que existe un registro de contaminación del 51% del total urbano. En tal concentración urbana se produce 80% del PIB nacional y concentra 65. 5% de la población total, de forma que la contribución a la contaminación atmosférica es relativamente importante. Este panorama es relevante para la discusión, desde que el sector de la construcción demuestra una dinámica creciente en las ciudades, las cuales demuestran una tasa de 5 a 16 zonas metropolitanas de más 1 millón de habitantes en 30 años, permitiendo estimar la tendencia del crecimiento de suelo habitable per cápita, mencionado como indicador en la agenda 2030 o la NAU (UN-Habitat, 2021), para mitigar el impacto atmosférico del sector de la construcción.

*Procedimientos constructivos. Hacia una metodología de valoración*

En términos generales, el crecimiento de suelo habitable per cápita implica procedimentalmente una serie de etapas constructivas, las cuales generan entre 7,000 y 10,000 millones de toneladas de residuos anualmente, pero que siguen una lógica convencional, que demuestra pocos cambios en términos históricos, particularmente en el sur hemisférico, donde es predominantemente manual, con materiales naturales locales o de una condición de industrialización generalizada en el mercado.

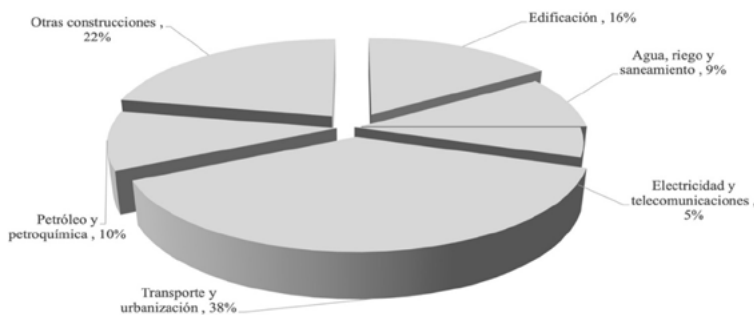
En este sentido, la industria de la construcción es considerada la mayor consumidora de energía y la segunda de materias primas después de la industria alimentaria; se estima que dicho sector emplea aproximadamente la mitad de los recursos que el hombre consume de la naturaleza y al mismo tiempo, genera 25 % de los residuos a nivel mundial, derivados particularmente de la construcción y la demolición. En términos de su emplazamiento y operación, el sector representa 70 % de la energía consumida por la sociedad moderna, además de ser responsable de entre el 12 y 16% del consumo de agua, 25% de la madera extraída y 40% de materiales vírgenes utilizados (Rodríguez y Fernández, 2010).

En consecuencia, los procedimientos constructivos convencionalmente utilizados en la edificación, según el tipo de funcionamiento, así como la demanda de materiales de construcción y las políticas para gestionar los residuos serían responsables de una huella ecológica del sector, particularmente identificada con procesos urbanos crecientes. Visto así, es de interés social y, por tanto, político, el análisis de dichas etapas, con el objeto de instrumentar patrones de producción y funcionamiento de la construcción, incorporando estrategias menos contaminantes.

Independientemente del tipo de construcción, las obras pueden generar hasta 450 kgs de residuos por m<sup>2</sup>, la mayor parte de los cuales son dispuestos sin tratamiento a pesar de ser aptos para reutilizarse (Rodríguez y Fernández, 2010), en nuevas obras o en elementos no estructurales, garantizando un manejo menos dañino ambientalmente. De acuerdo con el atlas nacional de residuos (INECC, 2022), en la Ciudad de México se generan 14 mil toneladas al día procedentes de excavación, demolición y construcción y a pesar de que existen disposiciones oficiales para depositarlos en sitios autorizados, cientos de toneladas terminan

en barrancas, tierras de cultivo, humedales y suelo de conservación. A nivel nacional, se generan 10 millones de toneladas de residuos de la construcción, de los cuales 76% provienen directamente de actividades asociadas a la edificación, construcciones, transporte y urbanización (Ver figura 19).

Figura 1. Sectores de procedencia de residuos de construcción en México, 2020.



Nota: elaboración propia basada en INECC (INECC, 2022).

Los residuos de construcción incluyen:

- Escombros compuestos por concreto, ladrillos, madera y metales;
- Residuos de excavación, particularmente tierra, rocas y piedras;
- Derivados constructivos directos como materiales sobrantes, envases de productos, plásticos, papeles, residuos peligrosos, asbesto, pinturas con plomo y productos químicos.

Esta diversidad de residuos es útil metodológicamente para valorar la emisión de contaminantes atmosféricos generados en los procedimientos

constructivos convencionales, dado que la mayor parte de los materiales utilizados en la construcción no tienen un aprovechamiento del 100% (Aldana y Serpell, 2012), siendo los más frecuentes concreto, madera, ladrillo (ver tabla 1).

Tabla 1. Residuos de construcción y demolición.

Material	Referencias
Concreto	55
Madera	45
Ladrillos	42
Plástico	26
Metal	25
Acero	22
Placas de yeso y cartón	20

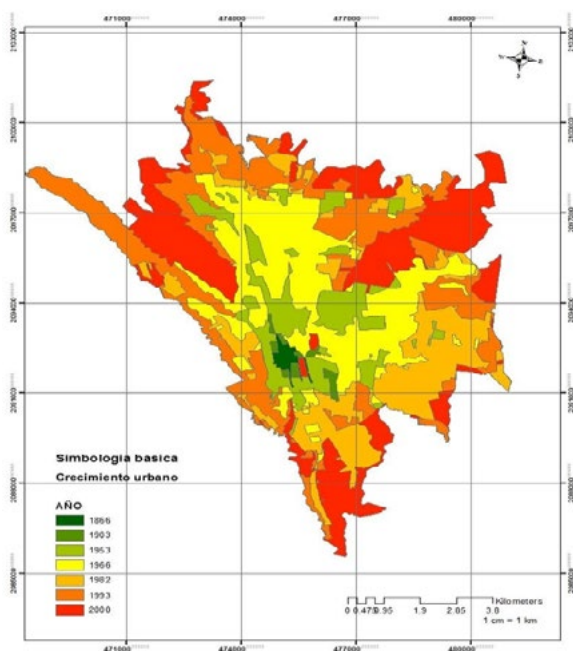
Nota: elaboración propia basada en Aldana y Serpell (2012).

Dos ideas centrales serían que el sector de la construcción contribuye con una proporción importante a la contaminación atmosférica, pero dicha contribución proviene de diferentes etapas en las que destaca por su diversidad de generación de residuos, los procedimientos constructivos convencionales, pero de la misma forma, la disposición final sin tratamiento a pesar de ser susceptibles de ser reutilizados. En todo caso, el análisis de los procedimientos tiene posibilidades metodológicas sistematizando las etapas y su parte alicuota a la generación de contaminación atmosférica. En un contexto urbano donde existe un proceso de ocupación del suelo para habitar, incrementando el área per capita, es posible valorar las áreas totales contruidas por década y las contribuciones por etapa de forma agregada.

## **Expansión urbana. Incremento del área habitable per cápita**

El Estado de Morelos registra 1,971,520 habitantes en 2020, siendo los municipios con mayor población urbana Cuernavaca (378,476), Jiutepec (215,357) y Cuautla (187,118) (INEGI, 2025), los cuales corresponden a las zonas metropolitanas de la entidad. La expansión urbana implica un incremento de área con funciones de producción secundarias o terciarias, así como uso habitacional o de circulación por unidad de área total; la ocupación es cualitativa y proporcionalmente diferenciada. En las ciudades, la mayor proporción de uso del suelo es habitacional, lo cual se ve reflejado en Cuernavaca, donde se plantea el análisis de los procedimientos constructivos en dicho tipo de uso del suelo, lo cual significa comprender las especificidades de la contaminación atmosférica particularmente en términos de la generación de residuos de la construcción. Una precisión importante en torno a la expansión urbana es que el período de análisis se ubica entre 1980 y 2020; el inicio es justo en la década que precedió a un incremento de la migración a la ciudad, lo que sostuvo la demanda de vivienda de interés medio hasta por lo menos de 1980 y hasta el 2000, siendo la periferia el principal sitio de la ocupación del suelo. Desde este año, el interés por avocindarse en la entidad se transfirió a municipios periféricos de Cuernavaca; 2000 a 2020 se registra una redensificación de usos de baja densidad a alta densidad habitacional en la ciudad ver figura 2.

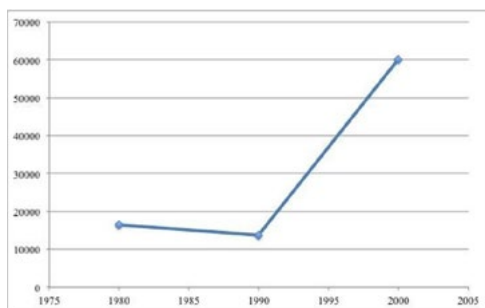
Figura 2. Expansión urbana de Cuernavaca.



Nota: elaboración propia basada INEGI (2010) y Registro Público de la Propiedad (2020).

En términos de área solamente, de 1990 en adelante la construcción de uso habitacional se multiplicó cerca de 400% (ver figura 3); parte de dicha dinámica es explicada por la movilidad de población de la ciudad de México a Cuernavaca como consecuencia del sismo de 1985, así como la mejora de accesibilidad a la ciudad, lo cual reduce tiempo de traslado y, por otro lado, una oferta de suelo para mandos medios y altos ocupados en la ciudad de México.

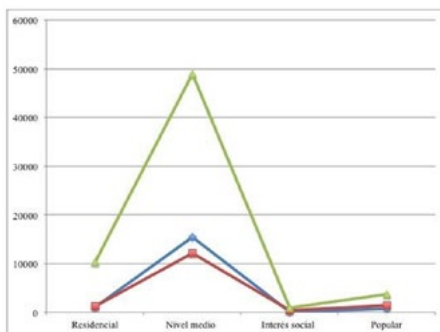
Figura 3. Área habitacional de 1980-2020 (ha total/década).



Nota: elaboración propia basada Programa de desarrollo urbano de centro de población (2006) y Registro Público de la Propiedad (2020).

En la expansión urbana de 1980 a 2020, el uso de suelo habitacional que más se incrementa es el de interés medio, lo cual implica que la población que se avecinda busca un espacio en Cuernavaca a un costo relativamente accesible, es decir un mercado para un área construida que redensifica el uso urbano de la ciudad. Es característico de 2000 a 2020, siguiendo esta lógica que se sustituya el suelo habitacional residencial por un uso medio (ver figura 4).

Figura 4. Área habitacional por subtipo de 1980-2020 (ha/década)



Nota: elaboración propia basada. Programa de desarrollo urbano de centro de población (2006) y Registro Público de la Propiedad (2020).

La expansión urbana implica un incremento de área con funciones de producción secundarias o terciarias, habitacional o de circulación por unidad de área total; la ocupación es cualitativa y proporcionalmente diferenciada. En las ciudades, la mayor proporción de uso del suelo es habitacional; el análisis de las prácticas constructivas significa comprender las especificidades de la contaminación, particularmente de los residuos de la construcción.

En Cuernavaca, el uso habitacional ocupa 63.66% de área total de la ciudad (ver mapa 2). Este uso del suelo incluye los siguientes subtipos:

- a. Residencial (17.03%) ubicado en las colonias y fraccionamientos: Rancho Cortés, Rancho Tetela, Colonia del Bosque, Vista Hermosa, Reforma;
- b. Vivienda de tipo medio (15.89%), localizado en Lomas de la Selva, Prados de Cuernavaca, Jardines de Reforma, Fraccionamientos Jardines de Tlaltenango;
- c. Vivienda popular (25.62%), la cual representa la mayor parte de las colonias del municipio, entre las que destacan, Universidad, Bosques de Chapultepec, Lomas de la Selva, El Empleado, Jiquilpan, La Pradera, Lomas de San Antón, Tzompantle Sur, Chula Vista y Chapultepec;
- d. Vivienda de interés social de alta densidad (5.11%) en las colonias: Prados de Cuernavaca, Lomas de Cortés, base Tranquilidad, Lomas del Miraval, La Esperanza, Antonio Barona, Ciudad Chapultepec, Revolución, ver mapa 2, tabla 2.

Figura 5. Usos del suelo habitacional en Cuernavaca



Nota: elaboración propia con base en programa de desarrollo urbano decentro de población de Cuernavaca

Figura 6. Tipo de uso de suelo en Cuernavaca

Clave	Tipo de zona	Superficie Hectáreas	%
H05	Habitacional hasta 50 hab./Ha	1547.53	7.459
H1	Habitacional hasta 51 a 100 hab./Ha	1444.21	6.961
H2	Habitacional hasta 101 a 200 hab./Ha	2328.01	11.221
H4	Habitacional hasta 201 a 400 hab./Ha	410.55	1.979
H6	Habitacional hasta 401 a 600 hab./Ha	54.12	0.261

Nota: elaboración propia con datos de Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Cuernavaca

### *Procedimientos constructivos convencionales*

En Cuernavaca, 7 de cada 10 m<sup>2</sup> de la expansión urbana corresponden a uso del suelo habitacional. En este proceso también se identifican equipamientos e infraestructura, sin embargo, la proporción de ocupación del suelo es útil para referir la escala de la contribución a la generación de los residuos de la construcción. Se entiende por la distribución de usos que los instrumentos de regulación del sector pueden seguir puntualmente las prácticas para mitigar sus impactos, según etapa constructiva, material, volumen, así como posibilidades de recuperación y reuso. Esto implica el reconocimiento de varias particularidades; los residuos de la construcción tienen una composición heterogénea y debido a ello, cada componente contribuye a la contaminación y a los crecientes costos sociales y ambientales. Dentro de la heterogeneidad habría riesgos según el tipo de residuos; se entiende que aquellos de origen natural, arcillas, piedra, madera tendrían mayor capacidad de recuperación y menor impacto en el ambiente, mientras que, en el otro extremo, los compuestos químicos utilizados para evitar el deterioro de los materiales o aquellos utilizados como acabados, incluyendo pintura, impermeabilizante, solventes serían difícilmente metabolizables. De modo que resulta pertinente sistematizar las etapas, los procedimientos y los materiales, para identificar precisamente esta condición.

La edificación consiste en un proyecto que avanza a lo largo de varias etapas constructivas, las cuales incluyen:

- a. Preliminares: consisten en limpieza del terreno, retirando cubierta vegetal;
- b. Trazo y nivelación: ubicación del proyecto, trasladando las medidas del plano al predio;

- c. Excavación o cepas: procedimiento para cimentación, ver fotografía 1;
- d. Compactación de terreno natural: busca aumentar su resistencia;
- e. Elaboración de plantilla de concreto: se divide el suelo del acero;
- f. Construcción de cimentación para soportar las cargas de la estructura;
- g. Rellenar la zona excavada: en función de lo alrededor en una cimentación

Figura 7. Material producto de excavación.



Nota: fotografía tomada en 2022 por la coautora Erazo Nájera

Consiguientemente se realiza la estructura, que consiste en:

- a. Cadenas, castillos y trabes de liga elaborados con varillas que permiten confinar los muros;
- b. Desplante de castillos, necesarios para anclar la estructura con la cimentación;

- c. Cimbrado de castillos, cadenas y traves con madera para recibir el colado con concreto;
- d. Colado de castillos, cadenas y traves, vertiendo concreto;
- e. Firme de concreto para piso;
- f. Levantamiento de muros, colocando block o tabique para dar soporte y dividir espacios;
- g. Losas que funcionan como elementos rígidos que separa un piso de otro.

Figura 8. Estructura de concreto y cimbra para losa.



Nota: fotografía tomada en 2022 por la coautora Erazo Nájera

Posteriormente las instalaciones, que consisten en:

- a. Hidráulica: consistente en tubería y accesorios para abastecer de agua fría y caliente a toda la casa y muebles;
- b. Sanitaria: incluyen tubería y muebles sanitarios;

- c. Eléctrica: consistente en mangueras y botes para cables eléctricos;
- d. Gas: son las tuberías para el suministro, ya sea de gas natural o gas LP, en un inmueble.

Figura 9. Instalación de tanque de oxidación.



Nota: fotografía tomada en 2022 por la coautora Erazo Nájera

Por último, están los Acabados, el cual se realiza después del aplanado de muros y losas, aplicando una mezcla de cementante. Este acabado puede ser de diferentes materiales pueden ser de:

- a. Porcelanato: consistente en la colocación de losetas cerámicas;
- b. Aluminio, instalando ventanas y puertas en la edificación;
- c. Carpintería: incluyen puertas y muebles de madera;
- d. Herrería: puertas protecciones o estructuras metálicas;
- e. Pintura: aplicada a muros y plafones;

- f. Impermeabilizante: aplicado a una superficie para impedir que el agua u otros líquidos se filtren, principalmente en cubiertas, colindancias o estructuras que contienen agua.

Figura 10. Residuo de impermeabilizante prefabricado, retiro de loseta cerámica y cementante.



Nota: fotografía tomada en 2022 por la coautora Erazo Nájera

Cada etapa constructiva sigue ciertos procedimientos que incluyen la preparación, la elaboración y la puesta en funcionamiento; en estricto sentido, cada una de las etapas requiere materiales de los que eventualmente desecha una proporción. Esta proporción tiene una estrategia metodológica convencionalmente reconocida para calcularse, de forma que cada etapa es responsable de una parte alícuota. Subdividir las etapas y describir sus procedimientos tienen que ver con el cálculo de sus residuos individualmente y en conjunto. El sector tendría una contribución proveniente de diferentes momentos y, por tanto, su estimación sería suficiente para ser reconsiderados o ajustados, evitando o mitigando su respectiva huella ambiental. En lo que respecta al reconocimiento político de las prácticas constructivas actuales, solo podría mencionarse que desde

la perspectiva nacional se reconoce a los residuos provenientes de la construcción como de manejo especial, pero en función de los volúmenes generados. Esto vuelve impreciso cualitativamente su comprensión, es decir, de qué forma se compone el volumen general estimado en el sector y cuáles de sus componentes son responsables de una contaminación compleja difícil de metabolizar, ¿los procedimientos o las estrategias de gestión permiten identificar la heterogeneidad que los compone?

Figura 11. Residuos a tiro libre, producto de diferentes etapas constructivas



Nota: fotografía tomada en 2022 por la coautora Erazo Nájera

Las etapas constructivas reconocidas convencionalmente en la literatura contribuyen cualitativamente con ciertos tipos de residuos, de forma que los preliminares se concentran en materiales naturales o en su defecto, los acabados incluyen aquellos componentes difíciles de metabolizar. Una segunda condición sería cuantitativa; la vivienda desde las categorizaciones planteadas en la nomenclatura urbana se refiere a la densidad de población, el área de predio y el área construida que en estricto sentido se explican desde el nivel de ingreso o las particularidades urbanas. Para propósitos de este estudio se consideran las categorías por

área construida, incluyendo residencial, densidad media y densidad alta. La referencia de la densidad de construcción sería la más importante para calcular el volumen agregado desde cada etapa constructiva, es decir a mayor cantidad de mts<sup>2</sup> construidos mayor es la generación de residuos. También puede observarse una composición más heterogénea en función del tipo de vivienda; viviendas de baja densidad con menor cantidad de mts<sup>2</sup> construidos contribuyen con menores volúmenes y menos heterogéneos y en el caso opuesto, el uso residencial genera mayores volúmenes y más heterogéneos. Se trata de una huella diferenciada que es imprescindible identificar, para ser traducido al marco político.

Para operativizar el cálculo del volumen y tipo de residuos generados según la densidad de construcción, se estandarizan los mts<sup>2</sup> construidos por cada uno de los usos habitacionales, incluyendo residencial, nivel medio e interés social, dado que los tres suman 91,95% de todos los usos del suelo habitacional en Cuernavaca; ver tabla 3 (plano 1,2,3). Hay que subrayar que 4 de cada 10 mts<sup>2</sup> construidos en el uso habitacional provienen del interés medio, el cual es el mayor representado localmente. El programa de desarrollo urbano de centro de población vigente provee una distribución de los usos habitacionales según densidad de construcción. Esto permite estimar los usos entre 1980 y 2020, comprobando dichas densidades desde la fotointerpretación de imágenes satelitales de libre acceso, particularmente para las décadas de 2010 y 2020. Puede observarse en la lectura del PDUCP de Cuernavaca y la fotointerpretación de imágenes satelitales que la ciudad experimenta una expansión urbana entre 1980 y 2000, de densidades residencial y nivel medio en la periferia urbana, mientras que en las décadas de 2000 a 2020 es por redensificación de usos residenciales, los cuales se transforman en usos de nivel medio y bajo en el interior de la ciudad.

Figura 12. Categoría de uso habitación, según densidad de construcción (mts<sup>2</sup>)

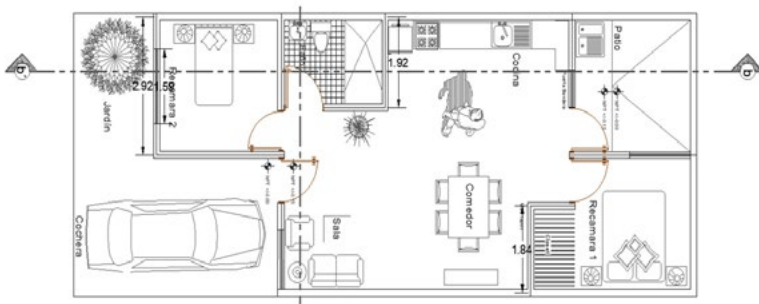
Tipo de vivienda	m <sup>2</sup>
Interés Social	60
Nivel Medio	120
Residencial	< 120

Nota: elaboración propia

### *Estimación de la contaminación por tipo de usos del suelo habitacional*

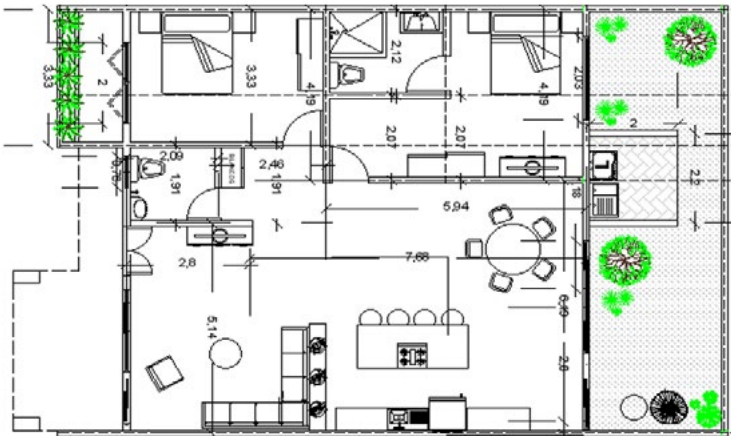
La valoración de la contaminación de la expansión urbana por tipo de uso de suelo habitacional es estimada con base en un prototipo por subtipo en términos de área ocupada, lo cual permite obtener una contribución por metro cuadrado, así como por subtipo, y con base en ello calcular un volumen de la expansión urbana por década. En el primer supuesto se propone una vivienda de 60 mts<sup>2</sup>, considerado de interés social, en la cual se utiliza la clasificación del PDUCP (2006), ver plano 1; en el segundo nivel medio con 120 mts<sup>2</sup> ver plano 2; en el tercero una vivienda residencial de más de 120 mts<sup>2</sup>.

Figura 13. Vivienda de Interés Social



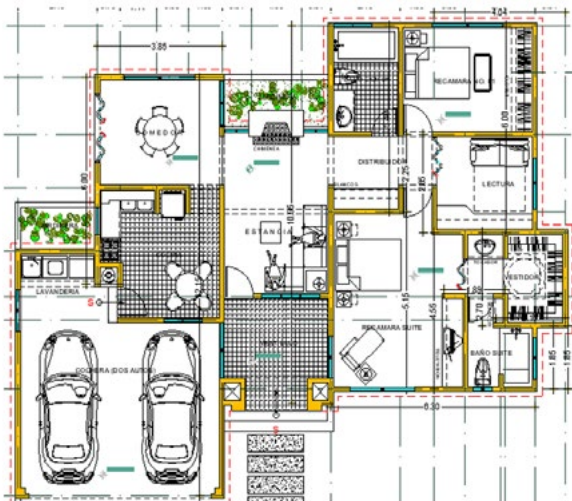
Nota: proyectos propios.

Figura 14. Vivienda Nivel Medio.



Nota: proyectos propios.

Figura 15. Vivienda Residencial.



Nota: proyectos propios

Una vez estandarizados los m<sup>2</sup> construidos por uso habitacional se estiman los residuos en dos etapas:

- El cálculo de la proporción de desperdicio manejado en la literatura técnica desde los números generadores, es decir, desde la estimación del volumen de obra por etapa (ver tablas 7, 9, 11) para cotizar el material utilizable. Implica seguir un procedimiento que es próximo a la realidad y, por ende, útil para comprobar la huella ambiental del uso habitacional;
- La sumatoria de las contribuciones por etapa constructiva para obtener un volumen general, según el tipo de uso habitacional, ver tabla 4, 5, 6. Para propósito de la estandarización, el volumen total por tipo de uso del suelo habitacional sirve de factor para ser multiplicado por el área total del tipo de uso del suelo total calculado por década en la ciudad.

Figura 16. Residuos por etapa constructiva en vivienda de interés social.

Uso de suelo	Habitacional	% de desperdicio	Partida	Residuos	
		22	Excavación	Material de excavación	13.94 m <sup>3</sup>
		3	Plantilla	concreto	0.08 m <sup>3</sup>
		3	Cimentación	piedra	2.22 m <sup>3</sup>
				concreto	0.48 m <sup>3</sup>
				varilla	0.15 ton
		3	Dala de desplante	Alambre	0.75 kg
				Alambren	4.20 kg
				concreto	0.05 m <sup>3</sup>
				madera	0.92 pza
				concreto	0.20 m <sup>3</sup>
		3	Firme	Malla electrosoldada	2.36 m <sup>2</sup>
		3	Muro	Block	44.03 pzs
				concreto	0.06 m <sup>3</sup>
				varilla	0.01 ton
				alambren	4.30 kg
		3	Castillos	alambre	0.95 kg
				concreto	0.06 m <sup>3</sup>
				madera	0.92 pza
				concreto	0.05 m <sup>3</sup>
				varilla	0.28 ton
		3	Cadena cerramiento	alambre	0.75 kg
				Alambren	4.20 kg
				madera	0.92 pza
				concreto	0.28 m <sup>3</sup>
		3	Losa	varilla	0.08 ton
				alambren	4.59 kg
		3	Pretil	concreto	0.01 m <sup>3</sup>
		3	Aplanado	Block	12.77 pzs
		3	Loseta	concreto	0.18 m <sup>3</sup>
		3	Loseta	Loseta	2.26 m <sup>2</sup>
		3	Loseta	Crest	0.81 bulto
		3	Pintura	Pintura	1.80 lts
		3	Pintura	Sellador	0.36 lts
		3	Impermeabilización	Impermeabilizante	3.21 m <sup>2</sup>

Nota: elaboración propia.

Figura 17. Residuos por etapa constructiva en vivienda de nivel medio.

Uso de suelo	Habitacional	% de desperdicio	Partida	Residuos	
H2	Nivel medio	35	Excavación	Material de excavación	26.21 m <sup>3</sup>
		3	Plantilla	concreto	0.14 m <sup>3</sup>
		3	Cimentación	pedra	1.57 m <sup>3</sup>
				concreto	0.34 m <sup>3</sup>
		3	Dala de desplante	varilla	0.15 ton
				Alambre	0.75 kg
				Alambren	4.20 kg
		3	Firme	concreto	0.07 m <sup>3</sup>
				madera	0.92 pza
		3	Muro	concreto	0.36 m <sup>3</sup>
				Malla electrosoldada	4.08 m <sup>2</sup>
		3	Castillos	Block	65.64 pzs
				concreto	0.06 m <sup>3</sup>
		3	Cadena cerramiento	varilla	0.01 ton
				alambren	4.30 kg
		3	Losa	alambre	0.95 kg
				concreto	0.098 m <sup>3</sup>
		3	Pretel	madera	0.92 pza
				concreto	0.07 m <sup>3</sup>
		3	Aplanado	varilla	0.28 ton
				alambre	0.75 kg
3	Loseta	Alambren	4.70 kg		
		madera	0.92 pza		
3	Pintura	concreto	0.53 m <sup>3</sup>		
		varilla	0.08 ton		
3	Impermeabilización	alambren	4.59 kg		
		concreto	0.00 m <sup>3</sup>		
3	Impermeabilización	Block	13.34 pzs		
		concreto	0.30 m <sup>3</sup>		
3	Impermeabilización	Loseta	4.03 m <sup>2</sup>		
		Crest	0.81 bulfo		
3	Impermeabilización	Pintura	3.06 lts		
		Sellador	0.72 lts		
3	Impermeabilización	Impermeabilizante	4.83 m <sup>2</sup>		

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Residuos por etapa constructiva en vivienda residencial.

Uso de suelo	Habitacional	% de desperdicio	Partida	Residuos	
		35	Excavación	Material de excavación	33.87 m3
		3	Plantilla	concreto	1.18 m3
		3	Cimentación	piedra	2.03 m3
				concreto	0.43 m3
				varilla	0.15 ton
				Alambre	0.75 kg
		3	Dala de desplante	Alambren	4.20 kg
				concreto	0.10 m3
				madera	0.32 pza
		3	Firme	concreto	0.45 m3
				Malla electrosoldada	5.17 m2
		3	Muro	Block	84.59 pzs
				concreto	0.70 m3
				varilla	0.01 ton
				alambren	4.30 kg
		3	Castillos	alambre	0.75 kg
				concreto	0.098 m3
				madera	0.92 pza
				concreto	0.10 m3
				varilla	0.15 ton
		3	Cadena cerramiento	alambre	0.75 kg
				Alambren	4.20 kg
				madera	0.92 pza
				concreto	0.84 m3
		3	Losa	varilla	0.08 ton
				alambren	4.59 kg
				concreto	0.023 m3
		3	Pretil	Block	28.29 pzs
		3	Aplanado	concreto	0.54 m3
		3	Loseta	Loseta	4.35 m2
		3		Crest	0.81 bulto
		3	Pintura	Pintura	5.40 lts
				Sellador	1.26 lts
		3	Impermeabilización	Impermeabilizante	6.14 m2

Nota: elaboración propia

El factor de generación de residuos por tipo de uso del suelo habitacional es multiplicado por el área total edificada calculado por década; esto implica revisar la expansión urbana de Cuernavaca históricamente e identificarla por tipo de suelo habitacional, es decir solo aquella correspondiente a cada uno de sus subtipos con el objeto de obtener el total de residuos generados. Las prácticas constructivas convencionales en Cuernavaca han dejado como resultado una generación de residuos, para los que no existe una regulación específica en ningún instrumento de orden urbano o constructivo. Esto implica que la expansión

urbana por década demuestra una contribución permanente al proceso de contaminación, sin una gestión mínima, con una disposición sin tratamiento y con la falta de prevención o estrategias de reutilización.

Considerando la tasa de crecimiento urbano, se estima que 6 de cada 10 m<sup>2</sup> corresponden a usos del suelo habitacional, siendo distribuidos al 17.03% en residencial, 15.89% nivel medio y 25.62% vivienda popular o de interés social. El volumen de generación de residuos es proporcional a la expansión por tipo de suelo con algunas precisiones;

- a. El uso del suelo residencial refleja un volumen 3 veces mayor en los principales componentes de la estructura, por unidad de área construida, incluyendo material de excavación, block y alambrón, ver tabla 8, 9, 10, así como en los componentes asociados a acabados, particularmente impermeabilizante, sellador e impermeabilizante;
- b. Si bien los contaminantes de la estructura son mayores, también representan menos dificultades para su manejo o recuperación, en contraste con aquellos provenientes de los acabados.

Figura 19. Residuos en vivienda de Interés Social (total por etapa constructiva)

Material	Cantidad Residuo	Unidad
Material de excavación	13.94	m3
Concreto	1.45	m3
Piedra	1.45	m3
Varilla	0.52	ton
Alambre	2.45	kg
Alambros	12.7	kg
Malla electrosoldada	2.36	m2
Block	56.8	pzs
Loseta	2.26	m2
Crest	0.81	Bulto
Pintura	1.8	lts
Sellador	0.36	lts
Impermeabilizante	3.21	m2

Nota: elaboración propia.

Figura 20. Residuos en vivienda Nivel Medio (total por etapa constructiva).

Material	Cantidad Residuo	Unidad
Material de excavación	26.21	m3
Concreto	1.968	m3
Piedra	1.57	m3
Varilla	0.52	ton
Alambre	2.45	kg
Alambros	17.29	kg
Malla electrosoldada	4.08	m2
Block	78.98	pzs
Loseta	4.03	m2
Crest	0.81	Bulto
Pintura	3.06	lts
Sellador	0.72	lts
Impermeabilizante	4.83	m2

Nota: elaboración propia

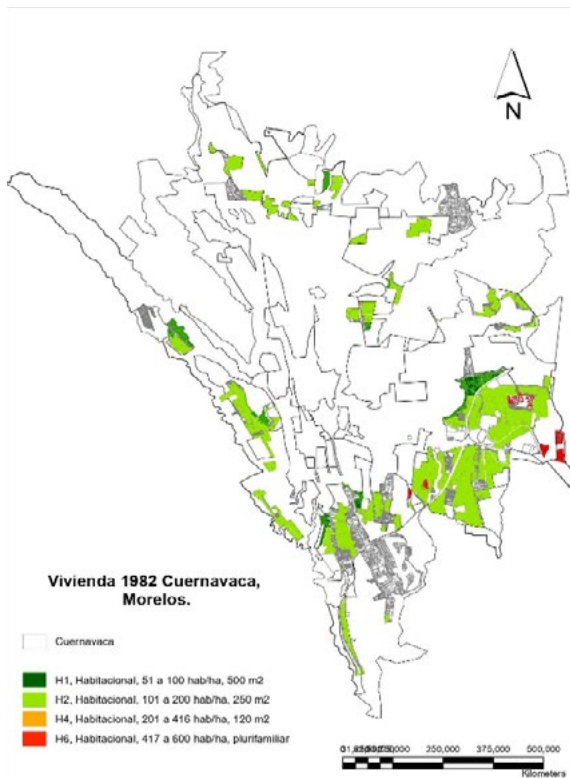
Figura 21. Residuos en vivienda Residencial (total por etapa constructiva).

Material	Cantidad Residuo	Unidad
Material de excavación	33.87	m3
Concreto	4.461	m3
Piedra	2.03	m3
Varilla	0.39	ton
Alambre	2.25	kg
Alambron	17.29	kg
Malla electrosoldada	5.17	m2
Block	112.88	pzs
Loseta	4.35	m2
Crest	0.81	Bulto
Pintura	5.4	lts
Sellador	1.26	lts
Impermeabilizante	6.14	m2

Nota: elaboración propia

Dadas las particularidades de generación de residuos según tipo de vivienda es posible generar estrategias de manejo para su reincorporación o tratamiento. En cualquier caso, la recuperación requiere un equipamiento urbano diseñado ex profeso que sea capaz de recuperar en la zona que más se requiere. Ya sea por unidad registrada y por tipo; dicho equipamiento puede replantearse, así como por los efectos diferenciados que podrían calcularse para la ciudad toda vez que se estiman de forma agregada por década. La generación de residuos de la construcción entre 1980 y 1990 ilustra dos componentes fundamentales del proceso; el primero tiene que ver con la ubicación de las fuentes directas por volumen agregado, por tipo de residuo y por tipo de uso del suelo, pero de la misma forma, la posible distribución de áreas diseñadas ex profeso para su recuperación. A cada volumen le corresponde, como efecto directo del proceso históricamente determinado, un área para recuperarlo. Es decir, una forma política urbana para su tratamiento. En la década de 1980 a 1990, la cantidad de vivienda de nivel medio es proporcionalmente mayor a los densidad baja y alta.

Figura 22. Expansión urbana por subtipo de uso habitacional 1980-1990.



Nota: elaboración propia.

De acuerdo al plano catastral, se observa que la cantidad de viviendas construidas ocuparon 16,450 mts<sup>2</sup>, de los cuales 15,366 mts<sup>2</sup> son de nivel medio. Según esta cantidad de viviendas es posible calcular la cantidad de residuos por etapa constructiva y tipo de uso del suelo, siendo materiales derivados de block, excavación y fierro los que más contribuyen, generando 1,213,606 m<sup>3</sup>, 402,742 m<sup>3</sup> y 265,678 m<sup>3</sup>, respectivamente.

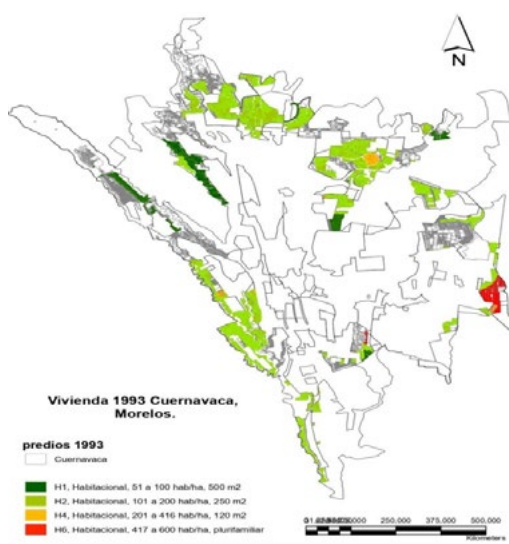
Figura 23. Área construida por uso habitacional (1980-1990)

H1	Residencial	1,068 m <sup>2</sup>	
H2	Nivel Medio	15,366 m <sup>2</sup>	16,450 m <sup>2</sup>
H4	Interés Social	16 m <sup>2</sup>	
H6	Popular	719 m <sup>2</sup>	

Nota: elaboración propia

De 1990 al 2000 también se observa un crecimiento del uso del suelo habitacional de nivel medio (figura 20).

Figura 24. Expansión urbana por subtipo de uso habitacional 1990-2000.



Nota: elaboración propia

En esta década, 2,205 viviendas fueron edificadas con la prevalencia de uso de suelo habitacional nivel medio. Al calcular la generación de residuos destaca el block contribuyendo con 955,658 m<sup>3</sup>, material de excavación produciendo 317,141 m<sup>3</sup> y fierro 209,209 m<sup>3</sup>, respectivamente.

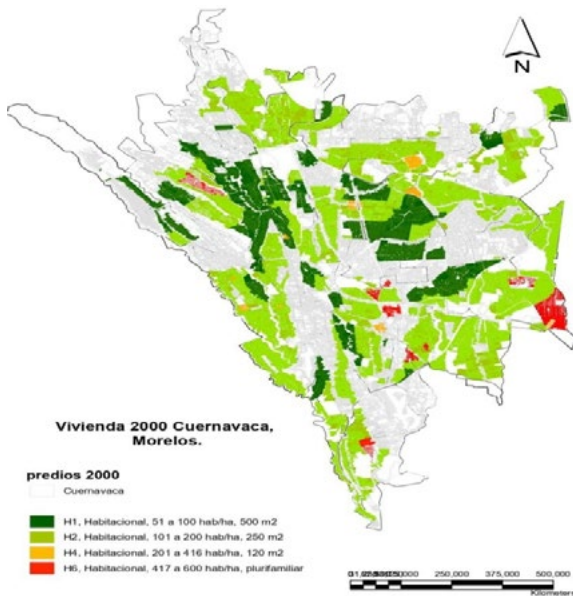
Figura 25. Área construida por uso habitacional (1990-2000)

Uso de suelo	Tipo de vivienda	Área construida	Área construida total
H1	Residencial	1,284 m <sup>2</sup>	13,737 m <sup>2</sup>
H2	Nivel Medio	12,100 m <sup>2</sup>	
H4	Interés Social	353 m <sup>2</sup>	
H6	Popular	1,458 m <sup>2</sup>	

Nota: elaboración propia

En la década del 2000 la vivienda de nivel medio se mantuvo, aunque la vivienda de tipo residencial (H1) también creció, con sus respectivas contribuciones a la densificación del territorio y a la generación de residuos de la construcción.

Figura 26. Expansión urbana por subtipo de uso habitacional 2000-2010.



Nota: elaboración propia

La década del 2000 tuvo un aumento en el área constructiva en el tipo Residencial de 10,371 m<sup>2</sup> y nivel medio de 48,879 m<sup>2</sup>. La mayor generación de residuos producida y calculada por estos tipos de vivienda son en nivel medio, Block con 3,860,463 m<sup>3</sup>, material de excavación 1,281,118 m<sup>3</sup> y fierro 845,117 m<sup>3</sup>, mientras que en la vivienda de tipo residencial se genera residuos de block contribuyendo con 1,170,678 m<sup>3</sup>, material de excavación produciendo 351,265 m<sup>3</sup> y fierro 179,314 m<sup>3</sup>, respectivamente.

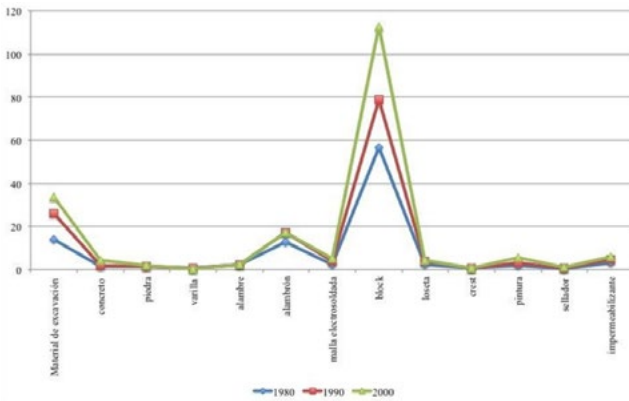
Figura 27. Área construida por uso habitacional (2000-2010)

Uso de suelo	Tipo de vivienda	Área construida	Área construida total
H1	Residencial	10,371 m <sup>2</sup>	60,100 m <sup>2</sup>
H2	Nivel Medio	48,879 m <sup>2</sup>	
H4	Interés Social	850 m <sup>2</sup>	
H6	Popular	3,731 m <sup>2</sup>	

Nota: elaboración propia

Considerando los volúmenes de residuos por tipo se observa aquellos provenientes de la excavación y los bloques para muros sería los mayores.

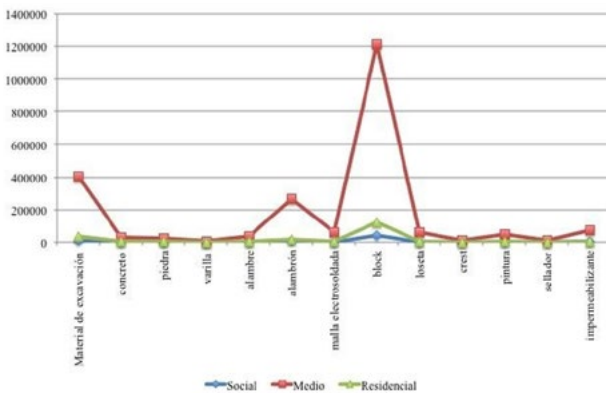
Figura 28. Residuos por tipo (ton/década)



Nota: elaboración propia

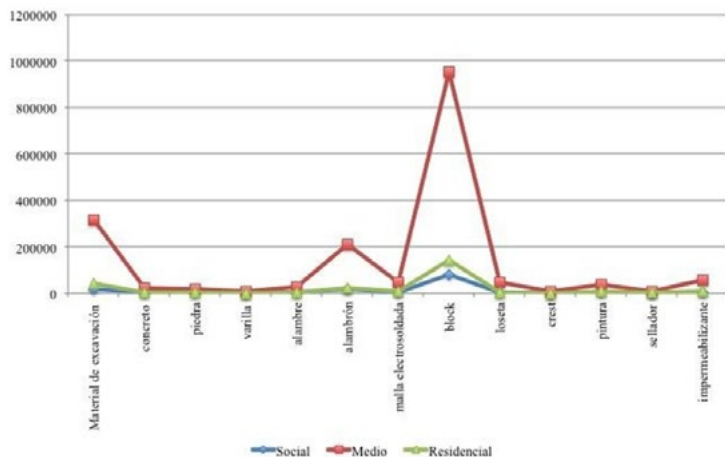
En lo que respecta a la generación de residuos por tipo de material de origen y por uso del suelo habitacional demuestran dos condiciones centrales para una posible política pública; el primero es que el interés medio es hasta 2000 el que más genera en términos agregados materiales de excavación, hierro y block, pero posteriormente esto es superado por los usos residenciales.

Figura 29. Residuos por tipo de uso del suelo, y material 1980-1990 (ton/subtipo)



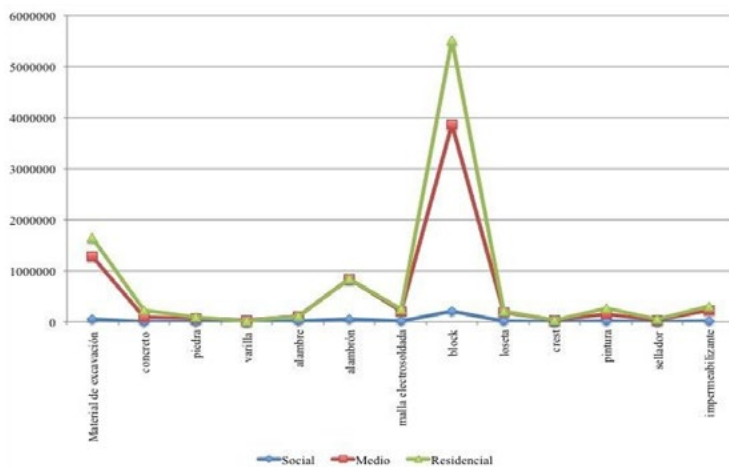
Nota: elaboración propia

Figura 30. Residuos por tipo de uso del suelo, y material 1990-2000 (ton/subtipo)



Nota: elaboración propia

Figura 31. Residuos por tipo de uso del suelo, y material 2000-2010(ton/subtipo)



Nota: elaboración propia

El 84% de los residuos de la construcción provienen del block, material de excavación y fierro en general. Esto implica que, al no tener un correcto manejo y disposición, estos residuos se convierten en un peligro para el ambiente y la salud humana, generando costos económicos por la remediación y los tratamientos de las enfermedades producidos.

## **Reflexiones pre eliminares**

La expansión urbana corresponde a un proceso económico que tiende a la concentración de emplazamientos productivos; las regiones en las que esta dinámica territorial es mayor, también se demuestra una acumulación de desequilibrios que han escalado de forma que se ha comprometido su funcionamiento mismo. Esto implica que el tamaño, la estructura y la distribución del fenómeno urbano sobre el territorio alcanza una tasa de crecimiento por arriba de la capacidad de carga del ecosistema. Se estima que para 2030, las ciudades concentrarán 83.3% de la población nacional; y considerando que son las áreas urbanas los principales generadores de residuos en el planeta, se vuelve relevante el estudio de sus impactos en el territorio. En la ciudad Cuernavaca, Morelos, la ocupación del suelo se caracteriza porque 7 de cada 10m<sup>2</sup> son uso habitacional, representando 63.33% del área considerada habitacional; en ella se asienta predominantemente población de escasos recursos quienes en su búsqueda por hacerse de una vivienda han dado origen a asentamientos inadecuados e incluso planteados como ilegales, pues no logran acceder a suelo urbano económico o con una adecuada localización, considerando que las mejores ubicaciones periurbanas son acaparadas por el mercado inmobiliario. Ambos fenómenos contribuyen a la contaminación del medio ambiente, ya que la construcción de vivienda, plazas comerciales e infraestructura incrementó la cantidad de residuos

de la construcción y demolición en concordancia con los requerimientos del mercado, dichas condiciones no cuentan con una regulación específica de orden urbano o constructivo, ocasionando costos sociales y económicos por la remediación y los tratamientos de las enfermedades producidos por este sector; analizar las características de este fenómeno permite identificar los volúmenes generados por la edificación misma, e incluso mitigar costos asociados a la salud, con base en la prevención. Sin embargo, la generación de residuos de la construcción se presenta de manera diferenciada entre los sectores económicos, por tanto, también puede evidenciarse en los usos de suelo urbano a través del estudio de su aporte en volumen y tipo. En este sentido, la estimación de residuos generados entre los años 1980-1990, donde la de vivienda de nivel medio predominaba en la ciudad, se caracterizó por contener residuos de block, suelo retirado por la excavación y fierro, materiales sobrantes de las diferentes etapas constructivas. Para el 2000-2010 se incrementó en el área construida de tipo residencial, aunque fue el habitacional nivel medio (H2) continuó siendo el mayor generador de residuos del sector.

De hecho, el uso de suelo habitacional H2 es el que más ha contribuido con la producción de estos desechos a lo largo del tiempo, representa 84% de residuos de la construcción. Este análisis permite plantear que su disposición o tratamiento para su reincorporación e incluso para su disposición final, disminuyen la huella arquitectónica que se produce por la demanda de vivienda como consecuencia de la expansión urbana.

Al mismo tiempo, la contribución de los procedimientos constructivos a la contaminación del aire representa un riesgo para la salud; se le asocia a problemas de asma, inflamación pulmonar y otros padecimientos respiratorios y cardiovasculares. Según la Organización Mundial de la Salud (2022), nueve de cada diez humanos respira aire contaminado, siendo responsable de siete millones de muertes anualmente y en cuyos

cuadros pueden manifestarse: neumonía, ictus, cardiopatía isquémica, enfermedad obstructiva pulmonar crónica y cáncer de pulmón. Los sectores más afectados son el infantil, las personas que laboran al exterior y las mujeres. Por tanto, la estimación de la emisión contaminante en el sector constructivo y el planteamiento metodológico por procedimiento son útiles para prevenir una proporción importante de la contaminación atmosférica que representa un riesgo para la salud misma de la población, es decir, con impactos sociales y económicos y que incluso, devienen en costos presupuestales para el Estado. En este sentido, la mitigación de los impactos de la contaminación atmosférica se hace con base en políticas públicas; estas tienen que ver con una mayor eficiencia energética, la reducción de contaminación industrial y la prohibición de quema de residuos, encontrando que 31% de los países cuentan con mecanismos jurídicos para gestionar y combatir la contaminación del aire, pero 43% no tienen siquiera una definición del término “contaminación atmosférica” en su legislación, lo cual lleva a que no cuenten con mecanismos para medición y gestión de la calidad del aire (Naciones Unidas, 2021). En el caso mexicano se han instrumentado programas para controlar las emisiones de contaminantes a la atmósfera; derivado de ello, los niveles de PM2.5 en la Ciudad de México demuestran una reducción de 3.3%, que es mayor que todas las capitales del continente americano (INECC, 2022). Sin embargo, en el caso de Cuernavaca, con registros de expansión urbana y de contaminación creciente de partículas suspendidas, sería uno de los razonamientos para generar estrategias, ya sea para modificar las prácticas constructivas o de orden urbano que incidan no solo en el dispendio de recursos sino también a la mitigación de los impactos sociales, ambientales y económicos que son asumidos por la sociedad. Por tanto, debiera abrirse una perspectiva política que contribuya a transformar una dinámica que parece ser no se detendrá en el mediano plazo.

## Referencias

- Aldana, J., & Serpell, A. (2012). Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: Un metaanálisis. *Revista de la Construcción*, 11(2).
- Ayuntamiento de Cuernavaca. (2006). *Programa de desarrollo urbano de centro de población de Cuernavaca, Morelos*.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2024). *Estudio económico de América Latina y el Caribe 2024*.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2022). *Atlas Nacional de Residuos Sólidos Urbanos*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Las principales ciudades en México*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2025). *Información demográfica y social. Censo de población y vivienda 2020* [Conjunto de datos]. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#tabulados>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Annex V: Expert reviewers of the IPCC Working Group III Sixth Assessment Report. En *Climate change 2022: Mitigation of climate change*. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022a). Technical Summary. En H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösche, V. Möller, A. Okem, & B. Rama, (eds.), *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press.
- Naciones Unidas. (2015). *Acuerdo de París*.
- Naciones Unidas. (2017). *Nueva Agenda Urbana*.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). *Calidad del aire y salud*. <https://n9.cl/abj53q>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2025). *Human Development Report 2025. People and possibilities in the age of AI*.

- Registro Público de la Propiedad. (2020). *Plano catastral de Cuernavaca*.
- Rodríguez, F., & Fernández, G. (2010). Ingeniería sostenible: Nuevos objetivos en los proyectos de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción*, 25(2), 147-160.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), Consejo Nacional de Población (CONAPO), & Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Metrópolis de México 2020*.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Consejo Nacional de Población (CONAPO), & Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2004). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México*.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), & Instituto Nacional de Ecología (INE). (2011). Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2022). *Informe nacional de la calidad del aire 2020*.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), & Instituto Nacional de Ecología (INE). (1997). *Primer informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas 1996*.
- UN-Habitat. (2017). *Urban action on climate change: Linkages between SDGs, Paris Agreement and New Urban Agenda*. United Nations Human Settlements Programme.
- UN-Habitat. (2021). *Waste wise cities tool*.
- UN-Habitat. (2023). *Unlocking the potential of cities: Financing sustainable urban development*.
- UN-Habitat. (2024). *Cities and climate action. World Cities Report 2024*.

## **Contributions of Construction Practices to PM<sub>2.5</sub> Air Pollutant Emissions in Cuernavaca from 1980 to 2020**

## **Contribuições das Práticas Construtivas para a Emissão de Poluentes Atmosféricos PM<sub>2,5</sub> em Cuernavaca de 1980 a 2020**

### **Rafael Monroy Ortiz**

Universidad Autónoma del Estado de Morelos | Cuernavaca | Morelos | México

<https://orcid.org/0000-0001-9970-1082>

rafael@fa.unam.mx

monroyortizrafael@gmail.com

Posdoctorado en metodología de investigación crítica; Dr en Economía; Maestro en Urbanismo; Arquitecto. Profesor investigador del Centro de Investigaciones en Ciencias Sociales y Estudios Regionales, UAEM; Profesor de asignatura Facultad de Arquitectura UNAM; SNII nivel 1; Líneas de investigación: economía de los recursos y ciudad; pensamiento crítico.

### **Laura Yerith Erazo Najera**

Universidad Autónoma del Estado de Morelos | Cuernavaca | Morelos | México

<https://orcid.org/0000-0003-1703-4197>

laura.erazo@humanidades.uaem.edu.mx

laura7u12@gmail.com

Licenciada en arquitectura, especialista en Gestión Integral de Residuos. Estudia problemas de contaminación atmosférica por fuentes móviles y costos sociales por tratamiento de enfermedades respiratorias crónicas.

### **César Augusto González Bazán**

Colegio de Morelos | Cuernavaca | Morelos | México

<https://orcid.org/0000-0002-9157-4186>

cesar.gonzalez@elcolegiodemorrellos.edu.mx

cambio.urban@gmail.com

Doctor y maestro en urbanismo por la UNAM; especialistas en gestión integral de residuos, centro de investigación en biotecnologías, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (CEIB, UAEM); licenciado en arquitectura (UAEM); profesor investigador de tiempo completo y coordinador de investigación en El Colegio de Morelos. Profesor y miembro del núcleo académico básico de la Maestría en Estudios Regionales del Centro de Investigación en Ciencias Sociales y Estudios Regionales (CICSER, UAEM).

## **Abstract**

Air pollution is a characteristic attributed to cities; its contribution is fundamental to the increasing trend of this phenomenon on a global scale. The mechanisms that give rise to it are associated with fossil fuel dependence and the multiple activities that require it. Building construction, in particular, is one of the most important determinants of this process. The aim of this study is to understand the dynamics of construction activity that contribute to PM<sub>2.5</sub> pollutant emissions in Cuernavaca between 1980 and 2020. This involves estimating the urban growth rate by residential land-use type, under the assumption that this growth is proportionally greater in cities and that its practices are responsible for cons-

tant emissions for which the application of urban mitigation strategies to reduce their impacts is not yet in place.

Keywords: Air pollution; urban expansion; residential land uses; construction practices.

## **Resumo**

A poluição atmosférica é uma característica atribuída à cidade; sua contribuição é fundamental para a tendência crescente deste fenômeno em escala global. Os mecanismos que lhe dão origem estão associados à dependência de combustíveis fósseis e às múltiplas atividades que deles necessitam. A construção civil, em particular, é um dos determinantes mais importantes desse processo. O interesse deste trabalho é compreender a dinâmica da atividade construtiva que contribui para a emissão poluente de PM<sub>2,5</sub> em Cuernavaca entre 1980 e 2020. Isso implica a estimativa da taxa de crescimento urbano por tipo de uso do solo habitacional, sob o pressuposto de que este é proporcionalmente maior nas cidades e cujas práticas são responsáveis por uma emissão constante para a qual ainda não existe a aplicação de estratégias urbanas de mitigação que reduzam seus impactos.

Palavras-chave: Poluição atmosférica; expansão urbana; usos do solo habitacionais; práticas construtivas.