

Hacia la justicia y la equidad ambiental: Sistemas de Medición de Calidad Ambiental Interior en México.



Towards Environmental Justice and Equity: Mexico's Indoor Environmental Quality Measurement Systems

Claudia Eréndira Vázquez-Torres
claudia.vazquez@correo.uady.mx
Universidad Autónoma de Yucatán, México
ORCID: 0000-0002-5388-0780

ARTÍCULO

Recibido: 08 | 10 | 2024 • Aprobado: 10 | 08 | 2025

RESUMEN

A partir del COVID-19 se estableció una restricción para habitar espacios públicos y se recomendó a la población en general, permanecer un mayor número de horas en los hogares. Esta recomendación puso en perspectiva la falta de información sobre calidad ambiental en los espacios que habitamos, los instrumentos necesarios para poder medir las condiciones internas de las viviendas y la efectividad de las acciones normativas que actualmente se implementan y que carecen de elementos para caracterizar los niveles de contaminación que se experimentan en los interiores. Esta problemática figura como un mayor reto en países en desarrollo como México, por el gasto energético que conlleva la permanencia al interior de los espacios arquitectónicos, y la limitada capacidad para producir energía, que continúa en transición hacia fuentes equitativas; pero, sobre todo, por la influencia directa en la salud humana y ambiental. Este escenario fue la pauta para difundir los alcances y beneficios de los sistemas de medición de bajo costo para viviendas, y paralelamente incrementar el interés en soluciones que nos acerquen como sociedad a la equidad y la justicia ambiental, hacia la mitigación del cambio climático. Este texto se presenta como un ensayo reflexivo que busca abrir el debate en torno a la justicia y equidad ambiental en los entornos domésticos, a partir del potencial de los sistemas de medición de bajo costo.

Palabras clave: Justicia Ambiental; equidad energética; sistemas de bajo costo; mediciones ambientales en viviendas.

ABSTRACT

From COVID-19 onwards, a restriction on staying longer in the homes was established. This fact put into perspective the information we have, the instruments to measure the internal conditions of dwellings, and the effectiveness of the actions that are currently being implemented. This problem appears as a major challenge in developing countries, such as Mexico, due to the energy expenditure involved in staying inside architectural spaces, and the limited capacity to produce energy, which is still in transition towards equitable sources; but, above all, due to the direct influence on human and environmental health. This scenario was a guideline to disseminate the scope and benefits of low-cost metering systems for housing, and in parallel to increase interest in solutions that bring us as a society closer to equity and environmental justice.

Keywords: Environmental justice; energy equity; low-cost systems; environmental measurements in housing.

Introducción

¿Alguna vez te has preguntado si el ambiente interior de la vivienda que habitas es adecuado para mantener tu salud y la de tus seres queridos?

Los factores ambientales generalmente se han evaluado en contextos laborales, para aumentar la productividad de los trabajadores (Bai y Wicaksono, 2020). Pero ¿qué ocurre en el interior de las viviendas? Espacio destinado a brindar seguridad y descanso para sus ocupantes. En el sector residencial, esta pregunta se ha tratado de responder desde la identificación de contaminantes con mayor presencia en interiores, el fortalecimiento de los instrumentos de medición de estos contaminantes y la divulgación sobre salud ambiental en espacios habitables (Díaz de León-Martínez et al., 2020). Y aunque se han registrado hallazgos importantes en las grandes ciudades, prevalece un vacío en la información sobre la salud pública en torno a los contaminantes presentes en los interiores de las viviendas. Este problema ocupa la atención global en términos de equidad y justicia para las pequeñas localidades y los usuarios social y económicamente más vulnerables a los efectos del cambio climático. Pero es igualmente importante en entornos urbanos y, sobre todo, en ciudades industriales.

Figura 1

Producción de vivienda en México.



Nota: Elaboración propia.

Por calidad ambiental interior se entiende el conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas del aire y del ambiente dentro de los espacios habitables. En este ensayo se analiza su relación con la equidad energética, entendida como el acceso justo y sostenible a energía suficiente para garantizar salud y confort sin comprometer el medio ambiente.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estimó que, en 2019, la contaminación ambiental fue responsable del 37% de las muertes prematuras a nivel global (Organización Mundial de la Salud, 2024). En países de América Latina, como México, esta cifra representa 93000 muertes por año, mientras que en países desarrollados esta cifra se reduce a 44000 muertes por año. Las principales fuentes de contaminación ambiental provienen de actividades relacionadas directa o indirectamente con el sector residencial, como la demanda de energía, el transporte, la cocción de alimentos, o el manejo de residuos (Organización Panamericana de la Salud, 2024). Es importante señalar que la mala calidad del aire en el interior de las viviendas podría ser consecuencia de diferentes causas de acuerdo con la región, como el combustible que se utiliza para cocinar, químicos que se utilizan para limpiar, entre otros. La mala calidad del

aire podría escalar e impactar en la economía de la población, por problemas en la salud que requieran de una prolongada atención.

La preocupación sobre los factores ambientales que inciden en la salud pública a nivel mundial derivó en la implementación de los objetivos para el desarrollo sostenible (ODS), donde al menos 6 objetivos están relacionados con el medio ambiente y la calidad ambiental (ONU, 2014). Desde esta plataforma, se incita a los países a generar proyectos para mitigar el cambio climático y fomentar prácticas sustentables en sus localidades. Uno de los proyectos que se implementó en México para medir la contaminación ambiental en grandes ciudades como Monterrey, Guadalajara y el Valle de México, concluyó que, si se cumplen los límites normativos que recomienda la OMS, se podrían evitar pérdidas económicas por 45000 millones de pesos y más de 2000 muertes prematuras (Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, 2018). Es importante notar que las condiciones climáticas de las ciudades antes mencionadas no son consideradas extremas. En climas extremos, la calidad ambiental en interiores figura un mayor reto por el excesivo uso de sistemas de enfriamiento o calentamiento, que impactan en la economía, la salud y el medio ambiente. A partir de este panorama, la comunidad científica busca innovar con sistemas de medición de la calidad ambiental con sensores de bajo costo y al alcance de todos. El principal objetivo responde al incremento de bases de datos a nivel global, que brinden una perspectiva amplia y robusta sobre las condiciones de la calidad ambiental en los hogares de las diferentes regiones, con énfasis en los usuarios que presenten condiciones de vulnerabilidad, para generar acciones de mejora efectivas de acuerdo con las características locales, hacia la justicia y la equidad ambiental.

Este ensayo no busca desarrollar un protocolo técnico de medición, sino reflexionar sobre los retos, alcances y oportunidades que los sistemas de bajo costo ofrecen para democratizar el conocimiento científico y promover la justicia ambiental.

Entornos extremos en México

Las temperaturas extremas representan un desafío para la operación de cualquier sistema de medición, sea de bajo costo o comercial, es inminente el riesgo a experimentar fallas técnicas ante el aumento de la temperatura o la humedad relativa, que podrían provocar una interferencia en la precisión de las mediciones (Calautit et al., 2017). En México, el aumento de la temperatura no se concebía como un problema significativo, al menos en la década del 2010 al 2020 (Fig. 2a y 2b). En los últimos años, la temperatura presentó un incremento exponencial (Fig. 2c) que posicionó a la calidad ambiental en viviendas como un tema de interés nacional. El incremento de la temperatura repercute directamente en la ventilación y el consumo energético de las viviendas: en climas cálidos se incrementa el uso de equipos de enfriamiento, y en climas fríos, el de calefacción. Ambas prácticas pueden agravar la contaminación interior y, por tanto, los riesgos respiratorios y cardiovaseculares asociados a una exposición prolongada a partículas y gases contaminantes.

Figura 2.

Desempeño de la temperatura en México.

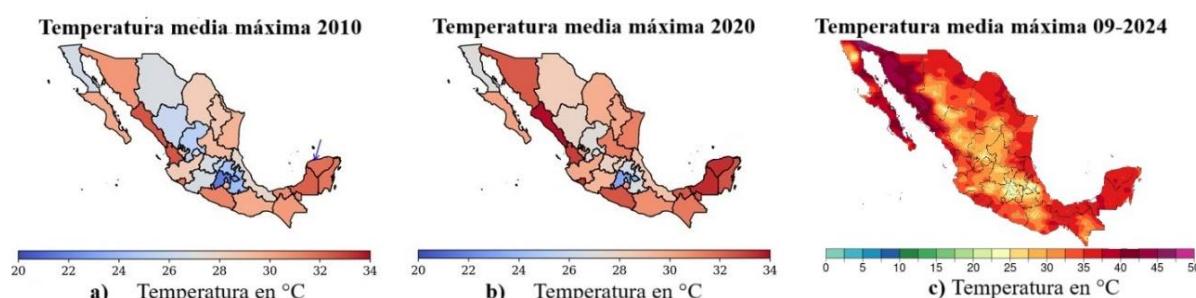


Fig. 2. Fuente: (Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos, 2023; Sistema Meteorológico Nacional, 2020)

El desempeño de la temperatura en los últimos años muestra un panorama de lo que podríamos experimentar en un futuro inmediato. Por este motivo, la instrumentación de bajo costo para medir las variables ambientales en regiones donde aún no se cuenta con bases de datos confiables, se percibe como una

necesidad inmediata para mantener condiciones saludables para las viviendas mexicanas en los años venideros.

Los sistemas de medición en viviendas representan un impacto social para alcanzar la equidad y la justicia ambiental. Al utilizar sensores de bajo costo se asegura una mayor accesibilidad para medir niveles de contaminación en cualquier tipología de vivienda. Al mismo tiempo, representa un avance significativo en la educación ambiental en el espacio arquitectónico más personal y directo para los usuarios, y ofrece datos cuantitativos sobre una de las problemáticas con mayor interés internacional, la salud pública y ambiental ante el cambio climático.

Pero ¿qué tan accesibles son los sistemas de monitoreo para medir variables de la calidad ambiental en México?

Sistemas de bajo costo ¿innovación asequible?

Actualmente, el desarrollo de sistemas de monitoreo de bajo costo es limitado, y demanda una inversión de una mayor cantidad de tiempo para calibrar, validar y ajustar los sensores, que originalmente no se requiere con productos comerciales que ya cuentan con esta certificación de fábrica. Sin embargo, una de las diferencias más marcadas entre sensores comerciales y de bajo costo, es que los segundos podrían adquirirse con una inversión 90% más económica respecto a los productos comerciales. Los sensores comerciales ya cuentan con certificación de fábrica, pero resultan financieramente inaccesibles para una gran parte de la población a nivel global.

Otra de las grandes ventajas de los sistemas de monitoreo de bajo costo, es la flexibilidad por integrar sensores que respondan a características de hábitos, costumbres, normatividad e incluso fuentes de contaminación locales y regionales. Y al mismo tiempo, la promoción por el uso adecuado de tecnología innovadora al servicio de usuarios con mayor índice de vulnerabilidad, por las condiciones climáticas, sociales o económicas. Resulta fundamental, sin embargo, evitar la adopción acrítica de tecnologías “limpias” que reproducen desigualdades o

dependen de modelos de consumo ajenos a los contextos locales. La apropiación comunitaria de estas herramientas es clave para que su implementación no derive en nuevas formas de dependencia tecnológica. Finalmente, la mayor ventaja recae en la capacidad por generar un porcentaje de ahorro energético de hasta 30% (Lucas-Vaquero et al., 2022) en climas templados, y la gran área de oportunidad que ofrecen para los climas extremos mexicanos.

Uno de los contaminantes que provocan mayor preocupación en las últimas décadas son las partículas suspendidas (Hernández Rodríguez et al., 2023), y el CO₂. En torno al control de estos contaminantes en interiores, se han implementado estrategias pasivas como el control de la ventilación a través del intercambio entre el aire interior y exterior (Calautit et al., 2017), otro de los sistemas pasivos más utilizados para controlar las condiciones ambientales en interiores son las características de la envolvente, como el nivel de infiltración y los materiales aislantes (Sanromán Aranda, 2017). Pero sin duda, uno de los factores más importantes para asegurar el éxito en la implementación de los sistemas de bajo costo y las estrategias pasivas, es la participación de la comunidad en la operación de estos sistemas (Ortiz et al., 2023), a través de la difusión en todos los niveles sociales de estos sistemas.

Figura 3.

Esquema metodológico para el uso de sistemas de bajo costo en México.

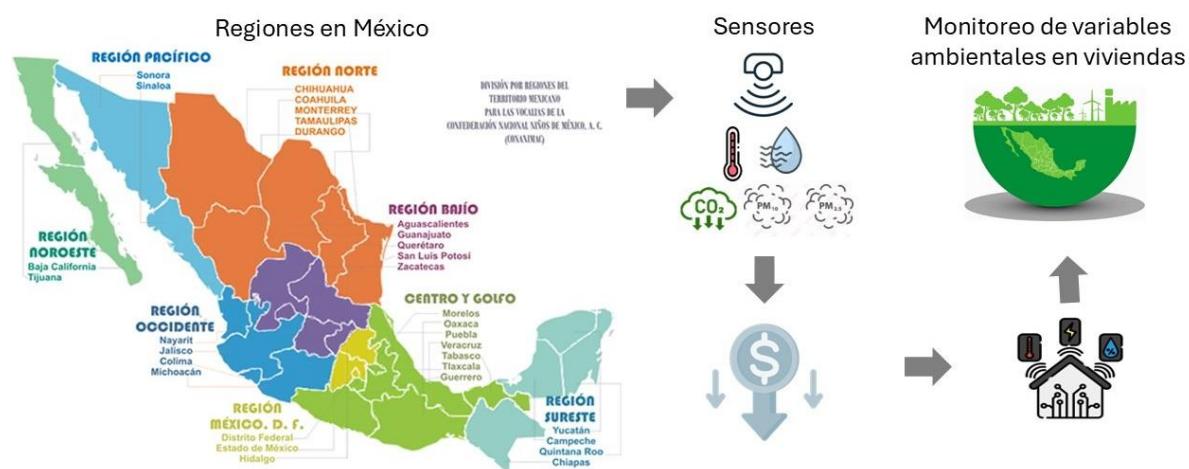


Fig. 3. Elaboración propia.

Los sistemas de monitoreo de bajo costo representan una herramienta asequible al alcance de todos. Bajo los protocolos científicos adecuados, son elementos con capacidad para aumentar las bases de datos regionales y locales (Fig. 3). Y sobre todo, son sistemas con gran potencial de desarrollo para países como México, en beneficio de la búsqueda por la prosperidad compartida entre actores gubernamentales, comunidad científica, sociedad, y el derecho a un medio ambiente sano y equitativo. En la Fig. 3 se presenta un esquema para representar las diferentes regiones en México, que llevan a diferentes condiciones climáticas, a la incentivación en el uso de sistemas de medición de bajo costo, para medir variables como temperatura, humedad relativa, temperatura radiante, niveles de contaminación por CO₂, partículas suspendidas (PM₁, PM_{2.5} y PM₁₀) y niveles de ozono, entre otros. Sobre todo, el uso de este tipo de sensores representa una oportunidad para que un mayor número de investigadores e interesados en general, utilicen sistemas económicos confiables.

Como se muestra en la Figura 3, el esquema resume la relación entre regiones climáticas, variables de medición y actores participantes (instituciones, investigadores y comunidad). Este diagrama ilustra la propuesta de articulación social y técnica necesaria para el uso de sensores de bajo costo en México.

Al respecto de estas temáticas de interés común, es recomendable acceder al conocimiento en diferentes niveles, participar e involucrarnos en propuestas locales que beneficien las prácticas sustentables, procurar el mejoramiento de la calidad ambiental en nuestros hogares, y generar una comunidad justa y equitativa.

Conclusión

Alrededor de los sistemas de bajo costo prevalecen áreas de oportunidad sobre la medición de variables ambientales en las diferentes regiones de México. Especialmente en climas extremos, donde las condiciones climáticas representan un riesgo para el buen funcionamiento de las partes del sistema. Es importante reconocer la necesidad por el desarrollo de sistemas para medir la calidad

ambiental al alcance de todos, es decir, con sensores de bajo costo y sistemas abiertos.

La propuesta que aquí se plantea tiene un carácter mixto: tecnológico, por la incorporación de herramientas de medición accesibles, y educativo, por el énfasis en la formación y participación comunitaria como pilares de la justicia ambiental.

Para asegurar la calidad de la información, los sistemas deben incluir procesos de revisión y calibración periódica, que se deben establecer de acuerdo con los períodos de medición y las características particulares del sistema. Con los sistemas de bajo costo se contribuye al acceso universal del conocimiento en la línea prioritaria de salud humana y ambiental ante el cambio climático. Por lo que estos sistemas, además, son un referente para la actualización y mejoramiento de políticas ambientales.

La mejor área de oportunidad para el éxito en la implementación de sistemas para medir variables ambientales en viviendas es la difusión, ya que, a través del conocimiento y la educación ambiental, incrementa la posibilidad de éxito de sistemas que actualmente no son completamente conocidos por la población en general. El compromiso por informar a la población sobre mecanismos, tecnología y sistemas con el potencial para mejorar la calidad de vida de las generaciones actuales y futuras.

Como reflexión final, podríamos cuestionarnos si estamos preparados para asumir la responsabilidad que implica llegar a la justicia y la equidad ambiental como comunidad, y como individuos. Desde el compromiso por involucrarnos en los procesos de la ciencia que requieren participación, para mejorar la calidad ambiental en nuestros hogares y en nuestras comunidades. Más allá de los instrumentos o los datos, alcanzar la equidad y la justicia ambiental exige un cambio cultural profundo: reconocer que la tecnología sólo tiene sentido cuando fortalece la vida y la dignidad de las personas.

Referencias

Bai, X., & Wicaksono, H. (2020). How relevant are environmental factors in the ergonomic performance assessments? *Procedia Manufacturing*, 52, 325–330.

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.11.054>

Calautit, J., Aquino, A., O'Connor, D., Cabaneros, S., Shahzad, S., Wazed, S., Garwood, T., Calautit, K., & Hughes, B. (2017). Indoor environmental quality (IEQ) analysis of a low energy wind catcher with horizontally-arranged heat transfer devices. *Energy Procedia*, 142, 2095–2101.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.582>

Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. (2018). Informe Nacional de la Calidad del Aire. Ediciones 2014 - 2016.

<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap5.html#tema1>

Díaz de León-Martínez, L., de la Sierra-de la Vega, L., Palacios-Ramírez, A., Rodríguez-Aguilar, M., & Flores-Ramírez, R. (2020). Critical review of social, environmental and health risk factors in the Mexican indigenous population and their capacity to respond to the COVID-19. *Science of the Total Environment*, 733.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139357>

Hernández Rodríguez, E., Martínez, A., Schalm, O., Amalia González Rivero, R., & Hernández Santana, L. (2023). Diseño de un sistema de medición y monitoreo de variables asociadas a calidad del aire. *RIELAC*, 44(2), 1–0.

Lucas-Vaquero, M., Lucas Borja, A., & Castilla Pascual, F. J. (2022). Interacción entre BIM y sensores de bajo coste para el control del confort ambiental en edificación.

ONU. (2014). Sustantibles Development Goals. Retrieved from Goal 11: Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/>

Organización Mundial de la Salud. (2024, September 15). Contaminación del aire ambiente. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Organización Panamericana de la Salud. (2024, September 15). Calidad del Aire Ambiente. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire/calidad-aire-ambiente>

Ortiz, J., Carrere, J., Salom, J., & Novoa, A. M. (2023). Energy consumption and indoor environmental quality evaluation of a cooperative housing nZEB in Mediterranean climate. *Building and Environment*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109795>

Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos. (2023). Observatorio Atmosférico Mérida. <https://www.rua.unam.mx/index.php?page=estaciones&id=8>

Sanromán Aranda, R. (2017). El medio ambiente y la vivienda: su esencia y protección jurídica. *Prospectiva Jurídica*, 8(15), 69–80.

Sistema Meteorológico Nacional. (2020). Climatic conditions. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>

Agradecimientos

La autora agradece el apoyo financiero del SECIHTI a través de una beca posdoctoral al CVU 181807.