

# Importancia de los edificios inteligentes para el medio ambiente

## *Importance of smart buildings for the environment*

*Carlos Enrique Caballero Güereca, María Rocio Alfaro Cruz, Edith Luévano Hipólito y Leticia Myriam Torres-Martínez*

### Resumen

El desarrollo urbano se ha convertido en una prioridad para el crecimiento de las ciudades alrededor del planeta, ya que la construcción de nuevas viviendas y lugares de trabajo es una necesidad en todos los países. Sin embargo, la industria de la construcción genera grandes impactos ambientales, por lo que es necesaria una reestructuración y modernización en el desarrollo de viviendas y edificios, con el fin de trabajar hacia la creación de ciudades y comunidades sostenibles. Para esto, alrededor del mundo ya se aplican distintas tecnologías y materiales inteligentes en la infraestructura y la construcción de bienes inmuebles. En este orden de ideas, en este trabajo se exploran las diferentes alternativas existentes para el desarrollo sostenible, como el uso de materiales de construcción biodegradables y reciclados, la incorporación de azoteas verdes, la autoeficiencia energética, la arquitectura de bajo consumo energético y el uso de ventanas inteligentes. Su aplicación en México aún es muy escasa o aislada, por lo que existe una gran oportunidad de crecimiento para la implementación y aprovechamiento de las tecnologías sustentables existentes, así como para el desarrollo de alternativas de construcción sustentables.

**Palabras clave:** edificaciones, materiales, desarrollo sostenible, ventanas inteligentes.

### CÓMO CITAR ESTE TEXTO

Caballero Güereca, Carlos Enrique, Alfaro Cruz, María Rocio, Hipólito Luévano, Edith, y Torres-Martínez, Leticia Myriam. (2023, enero-febrero). Importancia de los edificios inteligentes para el medio ambiente. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 24(1). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2023.24.1.3>

Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Universidad Abierta, Innovación Educativa y Educación a Distancia (CUAIEED)

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia de Creative Commons 4.0



### Carlos Enrique Caballero Güereca

*Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León*

Ingeniero Civil egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Durante ese período estudiantil, obtuvo becas por parte de la UNAM y la DGAE para realizar dos estancias de investigación: la primera en la Universidad de Cantabria, Santander, España en el grupo de investigación de tecnologías de la construcción (GITECO). La segunda en la Universidad de Stuttgart, Alemania. En su tesis de licenciatura analizó el ciclo de vida de los pavimentos en la Ciudad de México. Habla español, inglés y alemán de manera fluida y tiene conocimientos de catalán y japonés. Actualmente estudia la Maestría en Ciencias con orientación en ingeniería ambiental en la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y su investigación se enfoca en la síntesis y evaluación ambiental mediante el análisis del ciclo de vida de películas delgadas para su uso en ventanas inteligentes y edificación sostenible.

 [carlos.caballerog@uanl.edu.mx](mailto:carlos.caballerog@uanl.edu.mx)

### Maria Rocio Alfaro Cruz

*Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León*

Es Licenciado en Física por la Universidad Autónoma de San Luís Potosí. Desde 2016 se desempeña como Catedrático conacyt y está adscrita al Departamento de Ecomateriales y Energía de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Nuevo León (uanl). Es investigador del sni nivel I y cuenta con más de 10 artículos científicos internacionales. Ha participado en diversos congresos nacionales e internacionales y ha dirigido a alumnos de posgrado mediante el desarrollo de tesis en el programa de Maestría en Ciencias con orientación en Ingeniería Ambiental y en el Doctorado en Ingeniería con Orientación en Ingeniería Ambiental. Sus líneas de investigación están enfocadas en la fabricación de fotocatalizadores de película delgada para su aplicación en procesos fotoinducidos para la generación de energía y en el estudio de propiedades ópticas, estructurales y electrónicas de películas delgadas.

 [malfaroc@uanl.edu.mx](mailto:malfaroc@uanl.edu.mx)

 [orcid.org/0000-0002-7306-2240](https://orcid.org/0000-0002-7306-2240)

### Edith Luévano Hipólito

*Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León*

Catedrática CONACYT adscrita al Departamento de Ecomateriales y Energía de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), desde el 2016. Investigador Nacional SNI I (Índice h 11). Obtuvo el Doctorado en Ingeniería de Materiales en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica en 2015. Desde su incorporación en la UANL, ha contribuido activamente en las líneas de generación y aplicación de conocimiento de los programas de Maestría y Doctorado en Ingeniería Ambiental. En particular, sus líneas de investigación se centran en el diseño de materiales de construcción fotocatalíticos para la descontaminación ambiental, tales como la captura de CO<sub>2</sub> y su fotoconversión a combustibles renovables, superficies autolimpiantes, descontaminación del aire y superficies antimicrobianas. Recientemente ha aportado en el desarrollo de cementantes alternativos basados en materiales activados alcalinamente y geopolímeros mediante el aprovechamiento de residuos industriales y minerales abundantes.

 edith.luevanohp@uanl.edu.mx

 <https://orcid.org/0000-0003-2988-405X>

### Leticia Myriam Torres-Martínez

*Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León*

Es Licenciada en Química Industrial por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Doctora en Materiales Cerámicos Avanzados por la Universidad de Aberdeen, Reino Unido. Líder Certificada en Energías Aplicadas Renovables y Eficiencia Energética por la Universidad de Harvard. Es nivel 3 del SNI. Entre los múltiples premios de investigación que ha recibido, destaca el Premio Nacional en Ciencias otorgado en los Pinos en el año 2018. También se desempeñó como Directora Adjunta de Desarrollo Científico del CONACYT (2011-2013). Es Jefa del Departamento de Ecomateriales y Energía en el Instituto de Ingeniería Civil, UANL desde hace 16 años. Experta en el área de desarrollo materiales avanzados, diagramas de fases y fotocatalisis ambiental tanto para la producción de H<sub>2</sub>, purificación de agua y producción de combustibles de base solar a partir de la fotoreducción del CO<sub>2</sub>. Fue líder y fundadora del Centro de Investigación y Desarrollo de Materiales Cerámicos (CIDEMAC), en la Facultad de Ciencias Químicas de la UANL, el cual fue autofinanciable durante su liderazgo. Este Centro fue nominado como finalista en los Pinos al Premio Nacional de Tecnología 2002, mediante una convocatoria de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) y la Presidencia de la República Mexicana. Diseñó, estructuró e implementó 2 programas de posgrado (maestría y doctorado) en ingeniería cerámica, los cuales fueron reconocidos por el CONACYT como programas de Excelencia. Diseñó 3 programas de posgrado especializados en cemento para CEMEX, S.A. de C.V.; y en vidrio para VITRO S.A. de C.V. y Crisa Libbey México, S. de R.L. de C.V. Además, para la compañía Cemex, diseñó y adaptó el Programa Especial de Becarios UNI-EMPRESA.

 leticia.torresgr@uanl.edu.mx

 [orcid.org/0000-0003-3328-0240](https://orcid.org/0000-0003-3328-0240)

## Introducción

Los gases de efecto invernadero (GEI)<sup>1</sup> contribuyen al cambio climático al atrapar la energía calorífica en la atmósfera y con ello incrementar la temperatura. El cambio climático ha provocado daños irreversibles al medio ambiente, como el derretimiento de los polos, el incremento en el nivel del mar y la temperatura, sequías, inundaciones, extinciones de flora y fauna. Estos fenómenos a su vez han ocasionado problemas ecológicos, sociales y sanitarios.

En los últimos 20 años, países como Estados Unidos y Alemania han disminuido significativamente sus emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) per cápita (~-24%). Sin embargo, las emisiones de este GEI a nivel global siguen incrementándose de manera acelerada. En México se prevé que las emisiones de (CO<sub>2</sub>) continúen en aumento, lo que significa un gran reto para el país y la sociedad. Por ello, es necesario impulsar y desarrollar nuevas tecnologías accesibles y eficientes para migrar hacia un desarrollo sostenible.

El término *desarrollo sostenible* fue definido en el informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1987 como “aquel desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Organización de las Naciones Unidas México, 2017). Este concepto está ligado a la edificación sostenible mediante la construcción de edificios inteligentes, para reducir el impacto ambiental que generan en el entorno donde se encuentran (Sustant, 2016). Así, es necesario el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías que se puedan aplicar a la construcción, con el propósito de disminuir los impactos ambientales causados por el desarrollo inmobiliario (ver video 1).

Las nuevas tecnologías utilizadas en edificios inteligentes consisten en la aplicación de aditivos a los materiales de construcción tradicionales, con el fin de obtener propiedades innovadoras. Como ejemplo está el uso de concreto antibacteriano en hospitales, al que se le agregan materiales bactericidas como plata, cobre o zinc (Qiu et al.,

**Video 1.** ¿Qué es la construcción sustentable? (GCBA, 2014).

<sup>1</sup> Entre los gases de efecto invernadero se encuentran el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y clorofluorocarburos (CFC).



2020). También están las fachadas de cerámicas fotocatalíticas con dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), capaces de oxidar diferentes contaminantes atmosféricos (Prosolve, 2013; Tomás-Franco, s.f.). Además, el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) utilizado en pavimentos puede descomponer contaminantes atmosféricos y contrarrestar el efecto de isla de calor en ciudades (Pérez y Alfredo, 2020). Finalmente, los recubrimientos de materiales semiconductores sobre vidrio han permitido desarrollar ventanas inteligentes, que pueden regular la entrada de luz y calor, lo que contribuye al ahorro de energía en los edificios.

## Edificación sostenible: tecnologías y materiales inteligentes

Con la finalidad de implementar la edificación sostenible en diferentes ciudades, es necesario que se replanteen los procesos constructivos, de tal forma que se puedan mejorar las viviendas utilizando nuevas tecnologías y materiales que tengan menores impactos ambientales durante su ciclo de vida<sup>2</sup>. Por eso, es necesario considerar la vida útil

de los inmuebles y cómo podríamos mejorarla (ver tabla 1).

Concepto	Años de vida útil
Viviendas	50
Edificios no habitacionales	30
Infraestructura	25
Otros bienes inmuebles	20

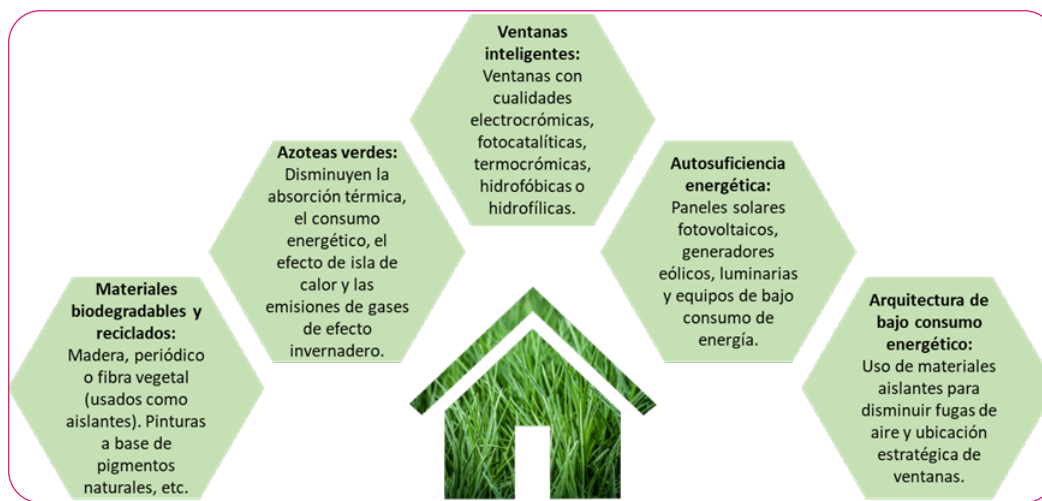
Asimismo, se han ido implementando nuevas tecnologías para promover la edificación sostenible en las ciudades, las cuales se resumen en la figura 1. Para ello, países como España, Japón o Noruega han usado materiales biodegradables en la construcción, a partir de materiales naturales no contaminantes, que disminuyen el impacto ambiental. Así, la madera, el corcho y el bambú han sido utilizados en diversas edificaciones, debido a propiedades como dureza, flexibilidad y maleabilidad. Además, existen pinturas a base de pigmentos naturales biodegradables y no tóxicos, que son utilizadas en los acabados de las construcciones, con lo que se disminuye la contaminación generada por los vapores que éstas podrían emitir durante su vida útil.

**Tabla 1.** Vida útil estimada de distintos usos de edificación.

*Nota.* Información de Secretaría de Gobernación (2012).

**Figura 1.** Ejemplos de aplicación de la edificación sostenible. Crédito: elaboración propia.

<sup>2</sup> La mayoría de los materiales utilizados en la construcción no son reutilizables y pueden tardar siglos en degradarse; cuando esto sucede, los materiales emiten ciertos contaminantes al momento de ser desechados.



La adición de vegetación en las azoteas es otra de las soluciones que se han planteado, ya que ésta mantiene la temperatura en el interior de las edificaciones. Las azoteas verdes también han presentado buenos resultados al disminuir la emisión térmica, y reducir así el efecto de isla de calor en las ciudades (Sanchez y Reames, 2019). Además, el uso de pinturas reflejantes o baldosas especiales en azoteas es también una alternativa económica y atractiva en el desarrollo sostenible.

El consumo energético en las edificaciones se ha convertido en un tema de suma importancia para cada país. En México, la Ley para Aprovechamiento de las Energías Renovables y Financiamiento para la Transición Energética (2012) busca la regulación y aprovechamiento de las tecnologías limpias para generar electricidad. A nivel habitacional, en México la producción eléctrica por debajo de 2.5 MW a partir de fuentes renovables es permitida sin necesidad de registros ni permisos legales. De esta manera, la energía solar puede ser una de las mayores fuentes de energía eléctrica para el país, además de su aprovechamiento en calentadores solares de agua que disminuyan el uso de gas o de energía eléctrica. En la actualidad, las principales fuentes del autoabastecimiento de energía eléctrica son los paneles solares, generadores eólicos o la generación simultánea de energía eléctrica y térmica. Sin embargo, para la adquisición de estos equipos se requiere de una inversión inicial elevada, lo que es la principal limitante para su aplicación en construcciones de un nivel socioeconómico medio o bajo.

También el uso de materiales aislantes ayuda a disminuir las fugas de aire en las edificaciones, lo que mantiene la temperatura interna de las construcciones por mayor tiempo, y reduce el uso de aire acondicionado. Además, la ubicación estratégica de tragaluces, ventanas y superficies absorbentes beneficia la ventilación e iluminación, ya que permiten aprovechar la radiación solar y la luz visible, para disminuir la demanda energética del inmueble (The Rise of Green Technology in Construction, 2019).

Asimismo, para el mantenimiento de las construcciones, la incorporación de materiales fotocatalíticos como aditivo en varios productos (pinturas, concreto, recubrimientos, pavimentos y acabados) ayuda a mantener limpias las fachadas de los edificios, y disminuye costos de mantenimiento. Esto es porque con la irradiación solar, los materiales pueden oxidar contaminantes atmosféricos en productos menos dañinos, mediante una serie de reacciones que involucran agentes oxidantes como los radicales hidroxilo (Fujishima et al., 2008; Zhong et al., 2010).

En cuanto a la disminución en el uso habitacional del agua, existen distintos sistemas de captación de agua de lluvia. Estos separan la precipitación por etapas, con lo que descartan los primeros milímetros que están más contaminados y sucios, para aprovechar el agua más limpia (Prado et al., 2021). Para ello, lo más conveniente es la construcción y diseño de un sistema de alcantarillado, en el que se pueda disminuir la carga al alcantarillado y el agua obtenida de la lluvia puede ser utilizada en

otras actividades domésticas. La implementación de estos sistemas podría disminuir hasta en 40% la carga en los sistemas de abastecimiento de agua potable (Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología, 2015).

### ***Ventanas inteligentes***

Las ventanas inteligentes son una opción limpia y eficiente para la edificación sustentable. Esto es porque presentan mayor utilidad que las ventanas tradicionales debido a sus diversas propiedades: electrocrómicas (cambia de color al aplicar una corriente eléctrica), termocrómicas (cambia de color debido a los cambios de temperatura), hidrofílicas (afinidad por el agua) o hidrofóbicas (repelen el agua). Tienen como objetivo que durante su ciclo de vida se disminuyan los impactos ambientales. Además, se pueden recuperar los materiales de los que están hechas y evitar su disposición final en rellenos sanitarios.

Las ventanas inteligentes se dividen en dos grupos: activas y pasivas. Las primeras cambian sus propiedades visuales como respuesta a un estímulo eléctrico. Para esto, se puede hacer uso de materiales con propiedades crómicas, cristales líquidos, dispositivos electroforéticos o partículas en suspensión (Baetens et al., 2010). Normalmente estos dispositivos tienen una base de vidrio o plástico cubierto por una película conductora transparente, seguida de una capa catódica (reciben electrones), una capa conductora de iones y otra película conductora transparente (ver figura 2a; Baetens et al., 2010). Las ventanas inteligentes pasivas

se fabrican a partir de materiales semiconductores con propiedades fotocatalíticas, termocrómicas, hidrofóbicas o hidrofílicas. Este tipo de ventanas pueden ser activadas a través de radiación solar o temperatura. Además, no requieren un consumo energético, lo que puede disminuir los costos y traducirse en mayor eficiencia energética durante su uso.

Las ventanas fotocatalíticas inteligentes se fabrican a partir de óxidos semiconductores transparentes, los cuales pueden estar en el interior o en el exterior de la ventana. Los materiales semiconductores son capaces de oxidar contaminantes del aire (compuestos orgánicos volátiles-COVs y óxidos de nitrógeno- $\text{NO}_x$ ), ya que, al ser irradiados con energía solar pueden convertir a los contaminantes en compuestos de menor toxicidad. Este proceso purifica el aire y ayuda a disminuir los riesgos a la salud, lo que genera impactos sociales positivos durante su uso (figura 2b).

Por su parte, las ventanas termocrómicas están recubiertas con un semiconductor con la capacidad de cambiar su apariencia mediante la temperatura (Liang et al., 2017). Con ello se aprovecha la energía infrarroja del sol en invierno y se bloquea en verano, lo que genera ahorro energético durante la vida útil del material (figura 2c).

Las ventanas autolimpiantes a su vez se pueden encontrar de dos tipos: hidrofílicas e hidrofóbicas (figura 2d y 2e). Las primeras están compuestas por materiales semiconductores con afinidad por el agua, lo que permite que las gotas

de lluvia se expandan y se peguen a la superficie. Este tipo de ventanas fueron diseñadas para localidades con precipitación constante, ya que la lluvia se encarga de limpiar la suciedad acumulada sobre el vidrio. Por otra parte, los materiales con propiedades hidrofóbicas repelen el agua, lo que es de gran utilidad en zonas urbanas húmedas, industriales o en las cercanías de volcanes, pues la presencia de humedad y precipitación favorecen la acumulación de suciedad sobre la superficie de las ventanas.

Los edificios fotovoltaicos son otra aplicación de los edificios inteligentes. En México, el primer edificio fotovoltaico es el de la empresa FEMSA, y está ubicado en la ciudad de Monterrey, Nuevo León. Es capaz de generar 17,200 kWh/año, lo que evita la emisión de cerca de 7 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales (Onyx solar, s.f.a). Además, en la ciudad de Chihuahua, la empresa Heineken tiene un edificio fotovoltaico que se calcula que en 35 años evitará las emisiones de 578 toneladas de CO<sub>2</sub> (Onyx solar, s.f.b).

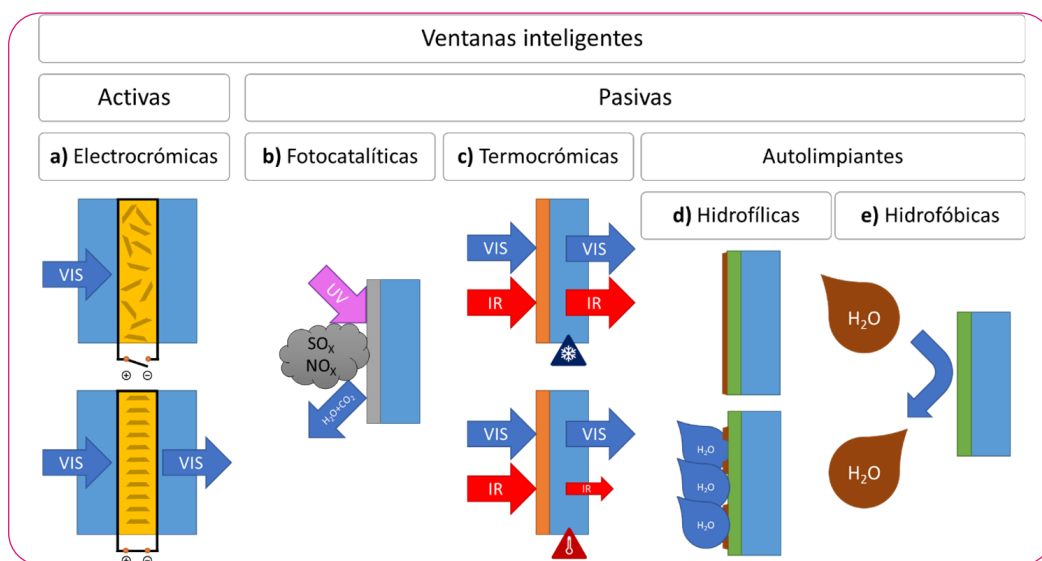


Figura 2. Clasificación y tipos de ventanas inteligentes. Crédito: elaboración propia.

## Implementación en México

En México la implementación de estas tecnologías en las edificaciones poco a poco se ha ido incrementando. Como ejemplo, el Hospital Gea González, ubicado en una de las vialidades más transitadas al sur de la Ciudad de México, cuenta con una celosía modular de piezas recubiertas con dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>). Así, se disminuye la temperatura interior del inmueble y se limpia el aire (Secretaría de Salud, 2017).

Además, en el año 2021, el Gobierno de la Ciudad de México (s.f.) anunció el proyecto Ciudad Solar, el cual consiste en la instalación de paneles fotovoltaicos en los 300 edificios públicos de la ciudad. También existen en nuestro país empresas, como Smart Film México, productoras de ventanas inteligentes de películas electrocrómicas con base en cristal líquido (son opacas en su estado natural y transparentes cuando se les aplica una corriente eléctrica).

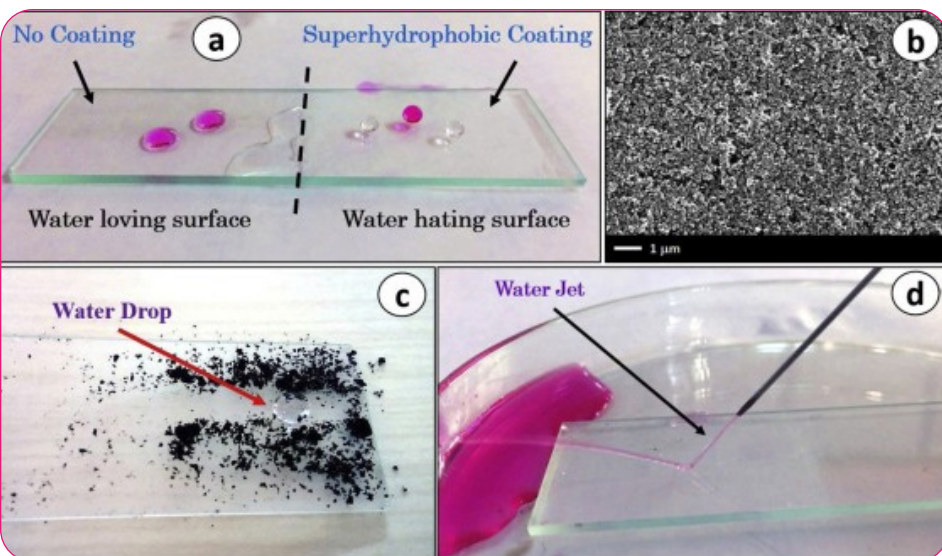


En cuanto a las ventanas autolimpiantes, a nivel global existen productos comerciales con propiedades fotocatalíticas y superhidrofílicas. Estos productos son fabricados por empresas como Pilkington Group Ltd, Saint-Gobain Glass UK Ltd, y PPG Residential Glass, las cuales tienen mercado en México (Stefanov, 2015). En el país, los servicios brindados por estas empresas se enfocan principalmente en la fabricación de pinturas y de cristales para la industria automotriz. En este sentido, es muy importante contar con empresas nacionales que apliquen estas tecnologías, lo que permitiría reducir la contaminación del aire y mantener las edificaciones limpias y libres de contaminantes.

superficie limpia de suciedad; a descontaminar el aire; a mantener superficies estériles; y a propiciar el aprovechamiento de fuentes de energía renovable. Por ello es necesario continuar con la búsqueda de nuevos y mejores materiales, que permitan en un futuro cercano el desarrollo e implementación de estas tecnologías para contar con edificios inteligentes autosuficientes, ecológicos y disponibles para toda la población mexicana.

## Referencias

- ❖ Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología. (2015). *En México se pierde el 40 por ciento del agua potable por fugas en redes*. <https://cutt.ly/C9HHDHwM>
- ❖ Baetens, R., Jelle, B. P., y Gustavsen, A. (2010). Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94(2), 87-105. <https://doi.org/10.1016/j.SOLMAT.2009.08.021>
- ❖ Fujishima, A., Zhang, X., y Tryk, D. A. (2008). TiO<sub>2</sub> photocatalysis and related surface phenomena. *Surface Science Reports*, 63(12), 515-582. <https://doi.org/10.1016/j.surfrep.2008.10.001>
- ❖ GCBA. (2014, 7 de noviembre). *¿Qué es la construcción sustentable?* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/1G0nalLW5el>
- ❖ Gobierno de la Ciudad de México. (s.f). *Ciudad Solar*. <https://ciudad solar.cdmx.gob.mx>



**Figura 3.** Aplicación de un recubrimiento hidrofóbico sobre un vidrio de ventana, lo que permite contar con una superficie autolimpiante. Como se observa, las gotas de agua resbalan por su superficie, incluso cuando hay suciedad presente. Crédito: Latthe et al., 2019.

## Conclusiones

La aplicación de las tecnologías emergentes en las edificaciones de México podría disminuir la contaminación ambiental generada a partir de la quema de combustibles; a mejorar la apariencia estética de los edificios, al mantener su

- ❖ Latthe, S. S., Sutar, R. S., Kodag, V. S., Bhosale, A. K., Kumar, A. M., Kumar Sadasivuni, K., Xing, R., y Liu, S. (2019, marzo). Self – cleaning superhydrophobic coatings: Potential industrial applications. *Progress in Organic Coatings*, 128, 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.12.008>
- ❖ Ley para Aprovechamiento de las Energías Renovables y Financiamiento para la Transición Energética. (2012, 12 de enero). *Diario Oficial de la Federación*. [http://www.senado.gob.mx/comisiones/energia/docs/marco\\_LAERFTE.pdf](http://www.senado.gob.mx/comisiones/energia/docs/marco_LAERFTE.pdf)
- ❖ Liang, Z., Zhao, L., Meng, W., Zhong, C., Wei, S., Dong, B., Xu, Z., Wan, L., y Wang, S. (2017). Tungsten-doped vanadium dioxide thin films as smart windows with self-cleaning and energy-saving functions. *Journal of Alloys and Compounds*, 694, 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.09.315>
- ❖ Onyx solar. (s.f.a). *FACHADA SEDE COCA-COLA/FEMSA*. Recuperado el 8 de febrero de 2022 de <https://cutt.ly/w9HGQIB>
- ❖ Onyx solar. (s.f.b). *HEINEKEN*. Recuperado el 8 de febrero de 2022 de <https://www.onyxsolar.es/heineken>
- ❖ Organización de las Naciones Unidas México. (2017). ¿Qué es el desarrollo sostenible y por qué es importante? <https://www.onu.org.mx/que-es-el-desarrollo-sostenible-y-por-que-es-importante>
- ❖ Pérez, C., y Alfredo, N. (2020). *Estudio para la incorporación en Chile de fotocatalisis en pavimentos industriales producida con dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>)* [Presentación]. <http://repositorio.umayor.cl/xmlui/handle/sibum/7601>
- ❖ Prado, T., Shubo, T., Freitas, L., Leomil, L., Maranhão, A. G., y Miagostovich, M. P. (2021). Virome in roof-harvested rainwater of a densely urbanized low-income region. *Science of The Total Environment*, 807, 150778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150778>
- ❖ ProsolveE. (2013). *A pollution-eating facade module*. <http://www.prosolve370e.com/>
- ❖ Qiu, L., Dong, S., Ashour, A., y Han, B. (2020). Antimicrobial concrete for smart and durable infrastructures: A review. *Construction and Building Materials*, 260, 120456. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120456>
- ❖ The Rise of Green Technology in Construction. (2019, abril). *Design & Build Review*. (49). <https://cutt.ly/59HJuT7>
- ❖ Sanchez, L., y Reames, T. G. (2019). Cooling Detroit: A socio-spatial analysis of equity in green roofs as an urban heat island mitigation strategy. *Urban Forestry & Urban Greening*, 44, 126331. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.014>
- ❖ Secretaría de Gobernación. (2012, 15 de agosto). Parámetros de Estimación de Vida Útil. *Diario Oficial de la Federación*. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5264340&fecha=15/08/2012](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5264340&fecha=15/08/2012)
- ❖ Secretaría de Salud. (2017, 4 de junio). *Conoce un edificio que neutraliza contaminantes*. <https://www.gob.mx/salud/articulos/conoce-un-edificio-que-neutraliza-contaminantes>
- ❖ Smart Film México. (s.f.). ¿Quiénes somos? <http://smartfilmmexico.com/#quienes-somos>

- ❖ Stefanov, B. (2015). Photocatalytic TiO<sub>2</sub> thin films for air cleaning. En *Science and Technology, Effect of facet orientation, chemical functionalization, and reaction conditions*. [Tesis de doctorado, Universidad de Uppsala]. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 1307. <https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:862338/FULLTEXT01.pdf>
- ❖ Sustant. (2016). *Edificación sostenible*.
- ❖ Tomás-Franco, J. (s.f). *Fachada de cerámicas especializadas neutraliza la contaminación del aire en Ciudad de México*. ArchDaily. <https://www.archdaily.co/co/02-252525/fachada-de-ceramicas-especializadas-neutraliza-la-contaminacion-del-aire-en-ciudad-de-mexico>
- ❖ Zhong, L., Haghghat, F., Blondeau, P., y Kozinski, J. (2010). Modeling and physical interpretation of photocatalytic oxidation efficiency in indoor air applications. *Building and Environment*, 45(12), 2689-2697. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.05.029>

## Sitios de interés

- ❖ [Exploring Green Building and the Future of Construction \[Video en inglés\]](#)
- ❖ [Construcción sostenible: de la teoría a la práctica \[Video\]](#)