

Patricia Urquiza Monrreal
Claudia Alejandra Rodríguez González
Santos Adriana Martel Estrada

De la industria de vidrio mexicano al entramado inteligente: aplicaciones de materiales avanzados en el diseño de ventanas

From the Mexican glass industry to the smart fabric: applications of advanced materials in window design

Da indústria de vidro mexicana ao tecido inteligente: aplicações de materiais avançados no design de janelas

Resumen

El presente trabajo de investigación pretende entender cómo el desarrollo tecnológico ha impactado el diseño y funcionalidad de una ventana tradicional. Se analiza la situación de la industria del vidrio como fuente original de este producto, y se enfatiza el papel del surgimiento de los materiales avanzados en el diseño de ventanas inteligentes dentro del ámbito arquitectónico y diseño de productos. Se incluyen ejemplos de ventanas comercializadas actualmente, así como un panorama en la industria mexicana y de investigación.

Palabras clave:

Ventanas inteligentes, materiales avanzados, eficiencia energética, control solar, vidrio en México, diseño y materiales emergentes.

Recibido: 9 de marzo de 2019

Dictaminado: 13 de junio de 2019

Aceptado: 14 de septiembre de 2019

From the Mexican glass industry to the smart fabric: applications of advanced materials in window design

Abstract

This research paper aims to understand how technological development has impacted the design and functionality of a traditional window. The situation of the glass industry is analyzed as the original source of this product, and emphasizes the role of the emergence of advanced materials in the design of intelligent windows within the architectural and product design field. Examples of currently marketed windows are included, as well as a picture in the Mexican and research industry.

Keywords:

Smart windows, advanced materials, energy efficiency, solar control, glass in Mexico, design and emerging materials.

Da indústria de vidro mexicana ao tecido inteligente: aplicações de materiais avançados no design de janelas

Resumo

Este artigo de pesquisa tem como objetivo entender como o desenvolvimento tecnológico tem impactado o design e a funcionalidade de uma janela tradicional. A situação da indústria de vidro é analisada como a fonte original deste produto, e enfatiza o papel do surgimento de materiais avançados no design de janelas inteligentes dentro do campo arquitetônico e de design de produtos. Exemplos de janelas atualmente comercializadas estão incluídos, bem como um quadro na indústria mexicana e de pesquisa.

Palavras chave:

Janelas inteligentes, materiais avançados, eficiência energética, controle solar, vidro no México, design e materiais emergentes.

Introducción

Hoy en día, dentro de la arquitectura y el diseño de espacios habitacionales existe una gran variedad de materiales relacionados con los que interactuamos diariamente. Uno de estos es el vidrio, que a pesar de ser uno de los primeros elementos utilizados por el hombre, continúa siendo un tema de estudio importante para la ciencia y la investigación (López, 1995). El vidrio es un material versátil (Enrique, 2018), proveniente de materias primas abundantes en la naturaleza (Salomón, 2003).

México, ha sido ejemplo de una mezcla entre experiencia y desarrollo tecnológico ante la industria del vidrio, que con los años ha logrado consolidarse como una importante fuente de ingresos. Desde la creación artística de objetos para decoración conocidas comúnmente como artesanías mexicanas, hasta empresas de renombre líderes en la fabricación de productos de vidrio como Vitro (empresa mexicana ubicada en Monterrey, N.L.), la cual produce una amplia gama de productos para la construcción, la industria automotriz y contenedores a nivel mundial (Corrales, 2010).

El vidrio, en su estado natural, ha sido utilizado por el hombre desde tiempos remotos, incluso antes de que fuera capaz de fabricarlo artificialmente (López, 1995). La naturaleza del vidrio depende de la mezcla de materias primas abundantes en el mundo como silicio, cuarzo, boratos y fosfatos lo cuales permiten la obtención de un vidrio transparente, oscuro o de colores según sea el caso (Corrales, 2010).

En la actualidad muchos materiales desempeñan un papel importante para la fa-

bricación del vidrio, pero algunos recursos naturales como las arcillas siguen siendo fundamentales en el proceso. Nuestro país cuenta con una gran diversidad mineralógica (Ramos, 2002), con yacimientos de arcilla distribuidos en 10 estados de la República como Chihuahua, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Guerrero. Una de las primeras aplicaciones del vidrio en la arquitectura y el diseño, fue el vidriado en cerámica, y desde entonces continúa siendo una moderna expresión del arte contemporáneo (López, 1995).

El vidrio en la arquitectura y el diseño

Actualmente, el vidrio ha sido utilizado comúnmente en la arquitectura y el diseño de interiores, debido a sus atributos. Dentro de las cualidades del vidrio resaltan aspectos técnicos como su resistencia, durabilidad, procesos de producción simples, facilidad de reciclaje y reutilización; entre los aspectos estéticos, resalta principalmente por su transparencia, lo cual es una excelente alternativa para el aprovechamiento de la luz natural; posicionándolo como una opción elegante y atemporal (Rodríguez, 2015). Por este motivo, una de sus aplicaciones principales son las ventanas. Se pueden distinguir desde las ventanas tradicionales que simplemente son una barrera que permite ver el exterior, hasta una gran variedad de alto desempeño como ventanas con flujo de aire, sombras externas, o bien doble piel. Asimismo, existe también una tendencia a diseñar edificios con grandes ventanas que habitualmente presentan serios

problemas de sobrecalentamiento y deslumbramiento en sus espacios interiores (Bodart, 2010), sin considerar los efectos de las radiaciones de las diferentes longitudes de onda que son capaces de penetrarlos.

Para la arquitectura y el diseño, existe una necesidad de permitir que un observador realice un reconocimiento de lo que delimita su espacio interior de su exterior. Las tendencias arquitectónicas en las últimas décadas, además de enfrentar el problema del desarrollo sostenible buscan cada vez más integrar espacios interiores con el ambiente exterior, diseñando fachadas modernas con una mayor superficie de vidrio (Marco, 2001). De esta manera, se busca que dentro de la infraestructura sean incluidas ventanas con gran transparencia, que permitan una percepción visual de aquello que se encuentra del otro lado y de igual manera una reformulación de la delimitación del espacio (Muñoz, 2010).

No obstante, la eficiencia energética se ha convertido en un objetivo prioritario para la arquitectura y el diseño, por lo que se han venido desarrollando alternativas de productos prometedores para el control y ahorro energético en las construcciones modernas (Nieto, 2013). En este sentido, las ventanas tienden a ser la mayor debilidad desde la perspectiva de calor, ventilación y aire acondicionado (Inoue, 2016).

Debido principalmente a esta razón, durante los últimos años se ha indagado profundamente en el desarrollo de soluciones tecnológicas como recubrimientos que proporcionen transparencia en el espectro visible y al mismo tiempo reducir la transmisión de la radiación energética. Durante esta búsqueda de confort visual se ha visto involucrada también la participación de diseñadores y arquitectos en el desarrollo de soluciones no solo técnicas sino también de aspectos estéticos y funcionales aunado a los objetivos de ahorro de energía, considerando la importancia de este rol dentro de la construcción y el rediseño de edificios (Cannistraro, 2018). En este sentido, el

diseño apropiado de una ventana consiste en mejorar tanto el confort térmico como el ahorro en la energía consumida (Acosta, 2016), considerando con la misma importancia los atributos estéticos de la misma.

De la ventana tradicional a las ventanas inteligentes

Dentro de la arquitectura, las ventanas son el medio principal para el aprovechamiento de luz solar, y básicamente consisten de paneles de vidrio delgado, que además de proveer iluminación, tienen un desempeño aislante térmico y un coeficiente de factor solar-sombra reducidos comparados con otras partes de una construcción (Inoue, 2016). En referencia a lo anterior, al momento de diseñar y proyectar espacios habitacionales eficientes en cuestión de energía, uno de los aspectos más importantes a considerar son las ventanas.

Actualmente, debido a un aumento en la demanda de combustibles fósiles como principal fuente de energía, la eficiencia energética y la implementación de fuentes de energía renovables, son requerimientos importantes para la construcción y el diseño de edificios (Acosta, 2016; Cannistraro, 2018), por lo que se reconoce la importancia de las ventanas durante la construcción y la reurbanización de edificios que además permitan la ventilación, iluminación y control del clima ambiental (Zhang, 2018).

Durante su evolución tecnológica, las ventanas pasaron de ser de vidrio único a vidrio doble, y recientemente a vidrio triple. Este cambio marcó una pauta significativa hacia el desarrollo tecnológico dentro de la arquitectura (Cordis, 2015). Sin embargo, la verdadera revolución está siendo dirigida hacia el mercado de las “ventanas inteligentes”. El concepto de “inteligente” se sustenta en novedosas tecnologías que facilitan el control de la luz y el calor que llega del exterior al reaccionar ante dichas condiciones ambientales (Salomón, 2003); Es decir, los materiales inteligentes son aquellos que son capaces de responder ante estímulos

externos, una nueva generación de materiales derivados de la nanotecnología que tiene la capacidad de cambiar su color, forma, o propiedades electrónicas en respuesta a cambios o alteraciones del medio ambiente como la luz, sonido, temperatura, o cierta cantidad de energía (Murillo, 2013). Si bien la mayoría de los materiales inteligentes pueden describirse de igual manera como materiales adaptativos debido a su propiedad para ajustarse a sí mismos (Ritter, 2017).

Actualmente, la radiación electromagnética es considerada un “asesino” y “destructor” de la salud humana, conceptualizada como una fuente de contaminación por parte de la Organización Mundial de la Salud (Deng, 2019). La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol, y comprende las regiones de luz ultravioleta, visible e infrarrojo (Suthaparan, 2017). Debido al deterioro de la capa de ozono, la transmisión de rayos ultravioleta ha incrementado considerablemente causando no solo daños en la salud humana, sino también en animales, plantas y ecosistemas (Bornman, 2015).

Por este motivo, uno de los factores que comúnmente se utilizan en el diseño de edificios es el factor de Luz Diurna desarrollado en Reino Unido (Bodart, 2010). No obstante, este factor solamente contempla la relación entre la iluminancia horizontal en un punto dentro del edificio y uno exterior, pero no existe algún indicador acerca de la luz ultravioleta que es capaz de penetrar el cristal (Acosta, 2016). Considerando la intensidad de la radiación solar directa (con una intensidad máxima de aproximadamente 1 kW/m^2), es necesario buscar la manera de bloquearla de una manera apropiada (Inoue, 2016).

Las necesidades de control de radiación han implicado el desarrollo de ventanas que sean capaces de absorber radiaciones y transmitir luz visible al mismo tiempo (Deng, 2019). La iluminación también adquiere importancia cuando se trata de aho-

rrros en energía. El uso apropiado de la luz de día es esencial para maximizar el confort de los ocupantes de un edificio, y mejorar su percepción visual, así como un estímulo a su ciclo circadiano (Acosta, 2016).

Las ventanas inteligentes son una de las tecnologías verdes más prometedoras, debido a que permiten la regulación de la transmisión de energía solar (Sala, 2018; Cannistraro, 2018), permitiendo regular inteligentemente la transmitancia de la radiación y mejorar el confort de las habitaciones (Zhang, 2018; Zakirullin y Letuta, 2015). Así mismo, buscan reducir el consumo energético e incrementar el confort visual mediante el control de la luz solar (Dussault et al., 2016). El mecanismo fundamental de las ventanas está basado en el control de la transmitancia óptica que es incorporada a dispositivos, que generalmente promueven una respuesta ante cambios en el medio ambiente (Sala, 2018). No obstante, uno de los requisitos básicos que aún deben presentar las ventanas es que deben ser transparentes (Baetens, 2010). Así mismo, durante los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías en materiales relacionadas al desarrollo de ventanas inteligentes como alternativas para regular el rendimiento óptico y térmico (Ulavi, et al., 2014).

Tipos de ventanas inteligentes

Dentro de las técnicas disponibles en el mercado, podemos encontrar ventanas inteligentes a base de recubrimientos, películas delgadas, láminas electrocrómicas, vidrios cuádruples, técnicas de recolección de energía y métodos innovadores de aislamiento y eficiencia energética (Cordis, 2015) que proporcionan un control selectivo sobre la luz visible y el calor que atraviesa por la ventana (Abilia, 2018). Los mecanismos que incorpora una ventana inteligente (Figura 1) pueden ser (Zhang, 2018):

1. Termocrómicos: Mecanismo en donde la regulación implica una aplicación de calor.

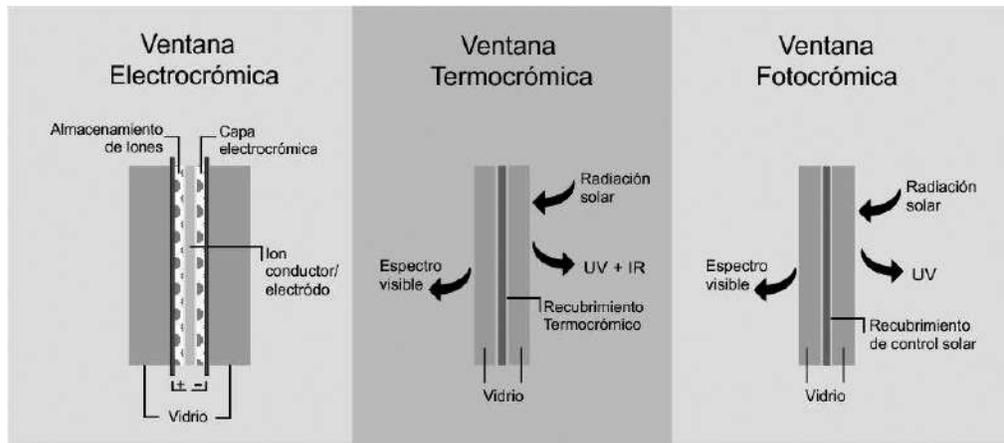


Figura 1 Principios básicos de los tipos de ventanas inteligentes actuales. (Figura de elaboración propia).

2. Electrocrómicos: Mecanismo en donde se regula voltaje.
3. Fotocrómicos: Mecanismo de regulación de luz.

Tradicionalmente, una ventana simplemente era un vidrio o conjunto de vidrios planos ensamblados. No obstante, los dispositivos que incorporan las ventanas inteligentes emplean materiales basados en óxidos de metales de transición, partículas suspendidas y polímeros dispersos en cristal líquido como materiales activos (Sala, 2018), que involucran el uso de tecnologías avanzadas como electrospinning (Lu, 2017), deposición pulsada láser, deposición por pulverizado, implantación iónica, deposición química de vapor (Youn, 2018). El control del flujo de luz y radiación solar es logrado incorporando materiales cromogénicos a la ventana, que en la mayoría de los casos tienen propiedades fotocromáticas, termocrómicas y electrocrómicas (Baetens, 2010). Este tipo de dispositivos permite una modulación de color principalmente por procesos de oxidación/reducción y difusión de iones por estímulos externos. Del mismo modo existen dispositivos termotrópicos como mezcla de polímeros, hidrogeles, bloques de copolímeros y estructuras núcleo/cascarón, entre los cuales existen algunos polímeros termosensibles que tienen la habilidad de ajustar su transparencia en respuesta a las condiciones de temperatura del medio (Sala, 2018).

Ventanas inteligentes comercialmente disponibles

En México la rama productora de vidrio plano se compone de vidrio flotado, vidrio de seguridad automotriz, y la división que fabrica vidrio plano para la industria de la construcción (Corrales, 2010). Es decir, son las compañías extranjeras principalmente las que se dedican a la elaboración de ventanas inteligentes, salvo los centros de investigación que han dedicado parte de sus esfuerzos en su elaboración.

No obstante, el mercado poco a poco ha incorporado a las ventanas inteligentes debido principalmente a regulaciones energéticas en la construcción y la necesidad de soluciones alternativas (Baetens, 2010), destacando principalmente los esfuerzos de la Unión Europea (Cannistraro, 2018). Las primeras versiones de ventanas comercialmente disponibles no tenían cualidades estéticas destacadas. Se trataba simplemente de ventanas que polarizaban o se hacían opacas dependiendo el estímulo que recibieran. No obstante, a medida que ha avanzado la tecnología, las ventanas tecnológicas también han mejorado de manera significativa sus atributos (Figura 2).

De acuerdo con la revista electrónica *Modernize* (2019), el costo de una ventana inteligente oscila alrededor de 50 a 100 dólares por metro cuadrado, mientras que una tradicional costará entre 10 a 50 dólares por la misma superficie. Actualmente, una de las marcas disponibles en el mercado es la



Figura 2 Comparación entre ventanas tradicionales vs. inteligentes, cambiando su diseño transparente por uno con patrones en respuesta a estímulos del ambiente (Figura de elaboración propia).

película Sonte, producto conocido como sombra digital, el cual cubre las ventanas incorporando una tecnología de coloreado por medio de WiFi controlada desde un *Smartphone*. Otros ejemplos son la compañía Tiny House Nations, la cual ofrece dos tipos de películas, una de ellas es la Smart Cling[®] autoadhesiva, y la Smart Tint Non adhesive que puede ser instalada usando cinta de doble lado.

Otras ofertas están disponibles en la compañía Dynamic Glass[®] de View que promueven ventanas que pueden regular la cantidad de luz, otorgando a los trabajadores mayor confort visual y ergonómico. La compañía View es una startup de Nueva Zelanda que ha recibido 75 millones de dólares en fondos de *NZ Super Fund*, debido a su atractivo potencial de crecimiento, mercado y beneficios de eficiencia energética. Los productos que maneja permiten maximizar la luz solar en el interior, mantiene la vista del exterior, disminuyen los deslumbramientos por brillo y optimizan el control

térmico, incluyendo fotosensores, ángulos solares controlando tiempo del día, considerando orientación del edificio, ocupación, etc. (View, 2019). Ha sido utilizada en diseños destacados como el Humber River Hospital de Toronto (Schwalm, 2017).

La marca licrivision[®] maneja cristales líquidos que modulan la transmisión de luz que atraviesan el cristal. Sus aplicaciones incluyen arquitectura, industria automotriz y otras industrias de transporte como trenes, aviones, barcos, etc., diseño de interiores y más. Esta ventana es una mezcla de un óxido conductor y poliamida en sustratos de plástico. Ofrecen ventanas que regulan luz, o bien algunas que mantienen la privacidad transformándose de transparentes a opacas dependiendo la necesidad en una oficina (Merckgroup, 2019). Por otro lado, la compañía OYPDLC ofrece vidrios para aplicaciones inteligentes en hoteles, oficinas, bancos, villas, clubs privados, cuartos de control, y otros lugares en donde se desee privacidad. En su línea de productos

incluyen tanto vidrio como películas autoadhesivas (OYPDLC, 2019).

Polytronix, es una compañía estadounidense especializada en películas y vidrio. En su catálogo de productos incluyen vidrios de privacidad, vidrios led y vidrios artísticos (Polytronix Glass, 2019).

Películas inteligentes en México

En México se comercializa la marca Pixelwindow, que oferta vidrios que pasan de opacos a transparentes en milisegundos, difuminando luz solar, bloqueando el 98 % de los rayos UV, que permiten proteger personas, mobiliario, obras de arte, etc. Esta compañía oferta vidrios, películas adhesivas y películas inteligentes (Pixel Window, 2019). Pixelwindow tiene su matriz en Querétaro, Querétaro y cuenta con dos sucursales más en la Ciudad de México y en Guadalajara. La empresa cuenta con un catálogo en línea y permite pedidos con el uso de tarjeta de crédito, lo que facilita su adquisición tanto para creativos, como para la gente común.

Por otro lado, la compañía Saint Gobain, con ocho unidades industriales (Morelos, Tlaxcala, San Luis Potosí, Coahuila, Baja California y Tamaulipas), comercializa vidrios de control solar, vidrios de baja emisividad con aislamiento térmico, vidrios de control solar con opción de transformación, vidrios de control solar con alta selectividad, vidrios de baja emisividad, vidrios laminados de seguridad y protección, vidrios de control solar con propiedades de aislamiento térmico, y vidrios de seguridad con prestaciones de aislamiento acústico. La compañía diseña produce y distribuye materiales que cumplen con objetivos de confort, desempeño y seguridad para construcción, eficiencia energética y cambio climático (Saint Gobain, 2019). Sus centros de distribución a lo largo de la República permiten que los servicios de esta empresa estén al alcance de los diseñadores y arquitectos. De acuerdo a las perspectivas de crecimiento en el mercado de las ventanas inteligentes a ni-

vel nacional, las películas inteligentes son productos innovadores que continúan siendo explorados y desarrollados por diversas empresas, investigadores, científicos, diseñadores, arquitectos y otras disciplinas afín, quienes están tomando parte en la creación y desarrollo de productos novedosos a la aplicación y exploración de nuevas tecnologías.

Finalmente, es importante señalar que son numerosas las investigaciones al interior de las universidades mexicanas, tales como la Universidad Autónoma de Coahuila (Prieto, 2017) y la Universidad Nacional Autónoma de México (Milenio, 2013; Fonseca, 2013), o como ocurre en el caso de nuestro grupo de investigación en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, en donde se trabaja en consolidar las propiedades de materiales inteligentes, por lo que resulta pertinente incorporar el trabajo multidisciplinario con la finalidad de lograr efectivas transferencias tecnológicas y su comercialización.

Conclusiones

El vidrio ha tenido una trascendental participación en el desarrollo de la tecnología y de nuestra concepción de la naturaleza. Su versatilidad es difícilmente sustituible, por lo que su estudio se vuelve cada vez más interesante. No obstante, debido a los cambios tecnológicos que involucra el desarrollo de una ventana inteligente, pasando de un vidrio plano, a uno que requiere el uso de tecnologías avanzadas para su fabricación, esto implica que el diseñador este en contacto con un universo distinto de posibilidades, pero al mismo tiempo se enfrenta con un lenguaje nuevo, del que debe disponer para poder dialogar interdisciplinariamente con los científicos de materiales.

En este sentido, partiendo de la fortaleza de la industria del vidrio en México, como producto esencial en este territorio, se identifica la necesidad de incluirlo en la transformación tecnológica que parta desde las fronteras del diseño con la ciencia de materiales.

+

Dentro de la arquitectura y el diseño, los materiales han sido caracterizados principalmente por sus atributos técnicos, dejando las cualidades estéticas al plano que debe fortalecer el diseñador, y no como un recurso que desde un principio apoye tanto los aspectos funcionales como el estéticos.

De esta manera, la industria de ventanas puede ser concebida como una opción viable y sustentable que aunada a la aplicación de nuevas tecnologías y materiales inteligentes puede potencializar sus atributos de producto y por ende su mercado.

En las ventanas inteligentes, se presenta una gran oportunidad para crear variantes novedosas, con la finalidad de fomentar una mejora continua no solo en su desempeño y rendimiento energético, sino también en los aspectos estéticos y de interacción en comparación con las ventanas tradicionales.

Es claro también, partiendo de esta reflexión, que la mencionada colaboración entre disciplinas no es sólo una necesidad sino una exigencia del mundo moderno. Actualmente, es una constante, la innovación y la creación de nuevas soluciones a problemas de índole cotidiano. En el caso de los diseñadores y arquitectos, es importante comprender el estado actual del vidrio desde una perspectiva más abierta, con la finalidad de incorporar nuevas tecnologías y procesos que puedan ser aplicados al diseño de ventanas inteligentes y otros productos de interés industrial. Con esta finalidad se debe comprender la permeabilidad existente entre las disciplinas duras como la ciencia de materiales y el diseño, sin exponerlas a fronteras artificiales que solamente surjan de una defensa a la propia disciplina. La colaboración exige comprensión, pero a cambio se facilitará la innovación.+

+

Como citar este artículo

Urquizo Monrreal, Patricia, Rodríguez González, Claudia Alejandra y Martel Estrada, Santos Adriana. (2019). *De la industria de vidrio mexicano al entramado inteligente: aplicaciones de materiales avanzados en el diseño de ventanas*. H+D Hábitat mas Diseño, Número 22, julio-diciembre 2019, 90-101; pp.

Referencias

- Acosta, Ignacio. Campano, Miguel Ángel, Molina, Juan Francisco. (2016). *Window design in architecture: Analysis of energy savings for lighting and visual comfort in residential spaces*, *Applied Energy*, 168. pp 493-506.
- Abilia (2018). *Ventanas Inteligentes con recubrimiento de nanocristales*, *Conciencia sustentable*. <http://conciencia-sustentable.abilia.mx/ventanas-inteligentes-con-recubrimiento-de-nanocristales/>.
- Baetens, Ruben. Jelle, Bjorn. Gustavsen, Arild. (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. pp. 87-105.
- Bodart, Magali. Bustamante, Waldo, Encinas Felipe. (2010). *Iluminación natural de edificios de oficina*, *ARQ*, 76. pp. 44-49.
- Bornman, Janet. (2015). *Solar ultraviolet radiation and ozone depletion driven climate change: effects on terrestrial ecosystems*. The Royal Society of Chemistry and Owner Societies Journal.
- Cannistraro, Mauro. Castelluccio, María Elena, Germanò, David. (2018). *New sol-gel deposition technique in the Smart-Windows – Computation of possible applications of Smart-Windows in buildings*, *Journal of Building Engineering*, 19. pp. 295-301.
- Corrales, Salvador. (2010). *La industria del vidrio en el noreste de México*, *Trayectorias*, 12; pp. 95-118
- Cordis (2015). *Ventanas inteligentes: la opción obvia para los edificios del futuro. Resultados de los programas marco de Investigación e Innovación de la Unión Europea*. <https://cordis.europa.eu/article/id/400002-smart-windows/es>.
- Deng, Ruxiang. Zhang, Ke. Li, Meiling. Song, Lixin. Zhang, Tao. (2019). *Targeted design, analysis and experimental characterization of flexible microwave absorber for window application*, *Materials & Design*, 162. pp. 119-129.
- Dussault, Jean-Michel (2016). *Reduced energy consumption and enhanced comfort with smart windows: Comparison between quasi-optimal, predictive and rule-based control strategies*. *Energy & Buildings*, 127, 680–691. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.024>.
- Enrique, Luis. (2018). *El vidrio en tus interiores y en la arquitectura*, *Por Grupo México Design*. <http://www.mexicodesign.com/el-vidrio-en-tus-interiores-y-en-la-arquitectura/>
- Fonseca, R. Sixtos, M. (2013). *Tras la ciencia de las ventanas inteligentes*. Instituto de Física. UNAM. Disponible en: http://www.fisica.unam.mx/noticias_ventanasinteligentes2013.php
- Inoue, Takashi. Ichinose, Masayuki. (2016). *Advanced technologies for appropriate control of heat and light at windows*. *Energy Procedia*, 96. pp. 33-41.
- López, Tessa & Martínez, Ana (1995), *El Mundo Mágico del Vidrio*. Biblioteca digital. <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/137/html/mundoma.html>
- Lu, Y., Xiao, X., Cao, Z., Zhan, Y., Cheng, H., & Xu, G. (2017). *Transparent optically vanadium dioxide thermochromic smart film fabricated via electrospinning technique*. *Applied Surface Science*, 425. pp. 233-240.
- Marco, Javier., Uliaque, Luisa., Villuendas, Francisco (2001). *Diseño y producción de recubrimientos de control energético para su utilización en vidrio laminado*. *Boletín de la sociedad Española. Cerámica y Vidrio*, 40 [2] 113-119.

- Milenio (2013). *Desarrolla UNAM ventanas inteligentes y ecológicas*. Disponible en: <https://sipse.com/mexico/desarrolla-unam-ventanas-inteligentes-y-ecologicas-9105.html>
- Modernize. (2019). *How much do smart windows cost?* Disponible en: <https://modernize.com/home-ideas/32437/smart-windows-cost>
- Muñoz, J., i Massera, Carmen. (2010). *La transparencia y la exclusión: ver pero no estar*, *Arquitectura revista*, 6. pp. 27-36.
- Murillo, Nieves., Pérez-Márquez, Ana., Velte Daniela., Jimenez, Izaskun., (2013). *Nuevos Materiales Inteligentes*. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).
- Merckgroup. (2019). *Licrivision*. Disponible en <https://www.merckgroup.com/en/brands/pm/licrivision.html>
- Nieto, Antonio (2013). *Ecomateriales inteligentes*. Mundo HAVAC, <https://www.mundohvac.com.mx/2013/04/ecomateriales-inteligentes/>.
- OYPDLC (2019). *Switchable smart glass*. Disponible en: https://www.oydplc.com/?dynamics&gclid=EAlaIQobChMIuYqLlNeM4AIV-FHdeCh2mCQUQEAMYAiAAEgL-IPD_BwE.
- Pixel Window. 2019. *Cristales inteligentes*. Disponible en: <https://www.pixelwindow.com.mx/cristalinteligente>.
- Polytronix Glass (2019). *Industry-leading switchable privacy film and glass*. Disponible en: <https://polytronixglass.com/product/polyvision/>
- Prieto, Mario. (2017). *Científicos mexicanos perfeccionan ventanas inteligentes*. Disponible en: <https://smart-lighting.es/cientificos-mexico-ventanas-inteligentes/>
- Ramos-Ramírez, Estela., Guzmán Juan, Sandoval, Ma. Carmen, Ortega, Y. (2002). *Caracterización de arcillas del estado de Guanajuato y su potencial aplicación en cerámica*. Acta Universitaria. VOL. 12 No. 1. Centro de Investigaciones en Química Inorgánica, Universidad de Guanajuato.
- Ritter, Axel (2018) *Smart materials in architecture, interior architecture and design*. VOL. 91, pp. 399-404.
- Rodríguez, Alejandro (2015). *El vidrio, una gran opción en el diseño y la arquitectura*. <https://www.paredro.com/el-vidrio-una-opcion-ventajosa-en-el-diseno-de-interiores/>.
- Sala, Renata. Goncalves, Ricardo. Camargo, Emerson. Leite, Edson. *Thermosensitive poly(N-vinylcaprolactam) as a transmission light regulator in smart windows* *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 186. pp. 266-272.
- Salomón, Alfredo (2003). *La industria del vidrio ante sus retos competitivos y tecnológicos*. Comercio Exterior, Vol. 53, Núm. 7.
- Saint Gobain (2019). *Saint Gobain Glass*. Disponible en: <http://mx.saint-gobain-glass.com/products/app/fachadas>.
- Schwalm, Dan. (2017). *Toronto's Humber River Hospital is LEED Gold certified*. Disponible en <https://www.toronto.com/community-story/7272527-toronto-s-humber-river-hospital-is-leed-gold-certified/>
- Suthaparan, Arupillai. Solhaugm, Knut. Stensvand, Arne. Ragnar, Hans. (2017). *Daily light integral and day light quality: potentials and pitfalls of nighttime UV treatments on cucumber powdery mildew*, *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 175. pp. 141-148.
- Ulavi, Tejas., Hebrink, Tim., & Davidson, Jane. (2014). *Analysis of a hybrid solar window for building integration*. *Energy Procedia*, 57, 1941-1950. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.058>
- View (2019). *Your window to wellness*. Disponible en: <https://view.com/product/> Youn, J.
- W., Lee, S.-J., Kim, K.-S., & Kim, D. U. (2018). *Adhesion characteristics of VO₂ ink film sintered by intense pulsed light for smart window*. *Applied Surface Science*, 441. Pp. 508-514.
- Zakirullin, Rustam, Letuta, Simon. (2015). *A smart window for angular selective filtering solar radiation*. *Solar Energy*, 120, 585-592. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.08.010>
- Zhang, Kaiqiang. Shi, Yulin. Wu, Liang. Chen, Long. Wei, Tingting. Jia, Xin. Chen, Zhang. Li, Manqiu, Xu, Yisheng. Wang, Yu. Gao, Yanfeng, Gao. Xuhong, Guo. (2018). *Thermo- and pH-responsive starch derivatives for smart window*, *Carbohydrate Polymers*, 196. pp. 209-216