

Naturaleza química del vidrio y su impacto en la sociedad

Chemical nature of glass and its impact on society

Armando A. Paneque-Quevedo^{1*} <http://orcid.org/0000-0002-8082-651X>

Alicia M. Díaz-García¹ <https://orcid.org/0000-0002-1527-8174>

Noeldris López-López¹ <https://orcid.org/0000-0002-6654-8701>

¹Laboratorio de Bioinorgánica, Departamento de Química General e Inorgánica, Facultad de Química, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba

*Autor para la correspondencia: aapaneque@fq.uh.cu

RESUMEN

El vidrio tiene, generalmente, como óxido formador el dióxido de silicio, el cual se acompaña de otros óxidos metálicos que permiten darles brillo, transparencia, estabilidad química, insolubilidad en agua y color. Es el material inventado por el hombre más versátil que existe, y se destaca entre otros materiales, porque puede reciclarse infinitamente, permitiendo el ahorro de recursos naturales, energía y costes. Históricamente ha desempeñado importantes funciones en la arquitectura, la automoción, los artículos para el hogar y los envases. Hoy es un elemento esencial en sectores clave como la energía, la biomedicina, la agricultura, la electrónica, las telecomunicaciones, la óptica y el sector aeroespacial. El presente trabajo se suma a los esfuerzos de las Naciones Unidas y la comunidad científica internacional, para que se declare el 2022 Año Internacional del Vidrio, conmemoración que celebra el pasado, el presente y el futuro del material más transformador de la historia de la humanidad.

Palabras clave: vidrio; dióxido de silicio; estructura cristalina; sólido amorfo; reciclaje.

ABSTRACT

The Glass generally have silicon dioxide as their forming oxide, which is accompanied by other metallic oxides that allow them to be brightened, transparent, chemically stable, insoluble in water, and colored. It is the most versatile material invented by man that exists and stands out among other materials because it can be infinitely recycled, allowing the saving of natural resources, energy and costs. It has historically played important roles in architecture, automotive, home furnishings and packaging. Today it is an essential element in key sectors such as energy, biomedicine, agriculture, electronics, telecommunications, optics and aerospace. This work joins the efforts of the United Nations and the international scientific community to declare 2022 "International Year of Glass", a commemoration that celebrates the past, present and future of the most transformative material in the history of humanity.

Keywords: glass; silicon dioxide; crystalline structure; amorphous solid; recycling.

Recibido: 11/10/2022

Aprobado: 2/12/2022

Introducción

En la evolución histórica de los materiales, la humanidad le ha dado sus nombres a los diferentes períodos por el impacto que han tenido los mismos en el desarrollo de la sociedad. Por ejemplo, la edad de piedra, del cobre, del bronce, del hierro, del plástico, entre otras, y llama poderosamente la atención que no se le haya otorgado una era histórica también al vidrio, cuyo desarrollo ha sido crucial en nuestra evolución.⁽¹⁾

El vidrio es el material inventado por el hombre más versátil que existe, y se destaca entre otros materiales porque puede reciclarse infinitamente, permitiendo el ahorro de recursos naturales, energía y costes. Se cree que su origen coincidió con la Edad de Bronce, y su evolución se vio paralizada durante varios siglos debido a la suspensión del comercio por el hundimiento de los grandes imperios del final de dicha Edad de Bronce.

El vidrio ha sido uno de los materiales esenciales en el desarrollo de la humanidad. Históricamente ha desempeñado importantes funciones en la arquitectura, la automoción, los artículos para el hogar y los envases. Y hoy es un elemento esencial en sectores claves, como el de la energía, la biomedicina, la agricultura, la electrónica, la información y las comunicaciones, la óptica y la optoelectrónica o el sector aeroespacial.

Actualmente se vive en la Era del Vidrio, por eso, Las Naciones Unidas declaró el 2022 Año Internacional del Vidrio, una conmemoración que celebra el pasado, el presente y el futuro del material más transformador de la historia de la humanidad.⁽²⁾

De hecho, la influencia del vidrio continúa expandiéndose a medidas que se desarrollan nuevos productos y procesos para abordar los objetivos de Desarrollo Sostenible. Las tecnologías basadas sobre el vidrio resultan indispensables para alcanzar estos retos globales, encaminados a erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurarla prosperidad de sus habitantes.^(3,4)

En Cuba, la formación de maestros vidrieros, las investigaciones sobre el vidrio y sus producciones locales e industriales, han decaído en los últimos treinta años. De hecho, la mayor parte de los envases empleados en la industria del ron, la cervecera y otras de gran demanda, es importada.

El presente trabajo tiene el objetivo de resumir algunos detalles de la composición y aspectos estructurales del vidrio, que justifican sus propiedades y aplicaciones. Es una breve contribución de los autores y forma parte de las iniciativas que se llevan a cabo en Cuba con la participación de estudiantes de todos los niveles de enseñanza, profesores, productores, maestros vidrieros para repasarla historia, la importancia y el impacto que tiene el vidrio en el desarrollo de la humanidad. Se prevé compartir en las escuelas, lugares públicos y en la televisión, no solo aspectos químicos de composición y estructura, sino de la importancia de su reciclaje.

Este estudio constituye, también, un apoyo a los esfuerzos de la comunidad científica internacional, para que se gane conciencia de la importancia del vidrio en la vida. Un material amigable con el medio ambiente; transparente, pero hermético; aislante, pero translúcido, inerte, reciclable, resistente y económico.

Desarrollo

El vidrio ha estado presente en el planeta desde el mismo momento en que se formó la corteza terrestre. Se puede presentar de manera natural al interactuar las altas temperaturas producidas por la erupción de volcanes con minerales y sustancias contenidas en el suelo convencional, seguido por un enfriamiento brusco de la lava. Su origen también puede deberse a la caída de un rayo en la arena; o por ondas de choque de meteoritos. A estos vidrios se les conoce como “vidrios naturales”.⁽⁵⁾

La obsidiana, por ejemplo, es una combinación natural de óxidos fundidos por el intenso calor volcánico, y vitrificados (convertidos en vidrio) por enfriamiento rápido en contacto con el aire. Su color negro y opaco se debe al contenido relativamente elevado de óxidos de hierro. Su resistencia química y su dureza se comparan favorablemente con las de muchos vidrios comerciales. Se ha utilizado frecuentemente en actividades religiosas y en aplicaciones bélicas, sirviendo de puntas de flechas, dagas, mazos, etcétera.⁽⁶⁾

Aunque no se sabe con exactitud cuándo se inició su fabricación, las primeras cuentas de vidrio han sido datadas en Mesopotamia alrededor del año 3000 a. C. Según cuenta Plinio el Viejo en su Historia Natural, mercaderes de natrón (carbonato sódico natural) descubrieron el vidrio en Siria por casualidad. Un día, en la ruta que realizaban hacia Egipto, utilizaron el natrón para apoyar las ollas sobre las fogatas hechas para cocinar. Al día siguiente, comprobaron que el natrón se había fundido y, en contacto con la arena de la playa, se había convertido en un material brillante y duro. Eran los primeros vidrios.⁽⁷⁾

Las muestras más antiguas de vidrios que se conocen se encontraron en Egipto, pero hoy en día se sabe con certeza que no fueron fabricados allí, sino que fueron importados de otro país. Algunos historiadores coinciden en que debió ser desde Mesopotamia alrededor de 2500 a.C. Pero las técnicas de fabricación de vidrio no parecían presentar un avance notable, sino hasta el año 100 a.C., fecha en la cual fue desarrollada la técnica del vidrio soplado, lo que fue solo el inicio de una rápida evolución en el dominio de las artes vítreas.⁽⁶⁾

Los primeros vidrios eran coloreados debido al alto contenido de impurezas como óxidos de hierro y cromo. No fue hasta hace aproximadamente 1500 años que se pudo producir vidrio incoloro. A finales del siglo XIII aparece una industria vidriera próspera en Europa, y en el siglo XV, Venecia se convierte en el principal productor. Sus maestros vidrieros eran tan valorados, que se les prohibía salir de la isla de Murano, para evitar la difusión de sus secretos sobre composiciones y técnicas.⁽⁷⁾

En el siglo XVI, las técnicas de fabricación de vidrio habían sido difundidas por toda Europa, y no fue hasta el siglo XVII que dichas fábricas lograron expandirse lo suficiente como para llegar al continente americano, estableciéndose primeramente en Jamestown, Virginia, lugar donde colonos ingleses comenzaron la propagación de esta industria.^(8,9,10)

El vidrio en Cuba

En Cuba se introduce el vidrio en la construcción de vitrales, que, a diferencia de Europa y América, donde se empleaba el vitral como elemento decorativo, comienza por las viviendas y termina en las iglesias. A partir de los años cuarenta, se impone definitivamente en Cuba la cultura norteamericana con sus códigos abanderados del pragmatismo y la modernidad, y los vitrales son sustituidos por ventanales de cristales calovares y la famosa persiana americana. Entonces, sobreviene un impase donde el vitral queda relegado al recoleto mundo del arte.⁽¹¹⁾

Los primeros reportes de la obtención de vidrio en Cuba se encuentran asociados a la fabricación de botellasa partir de vidrio triturado, por el sistema *Owens* entre 1913 y 1916, en la cervecería Tivolí.

La primera fábrica de producción de envases de vidrio en Cuba se construyó en San José de las Lajas, en 1958 por la compañía *Owens-Illinois en Cambridge, Massachusetts*. La planta contaba con una modernísima tecnología para la época y era, a diferencia de las plantas similares, una industria muy limpia, eficiente y poco contaminadora del medio ambiente.

Esta incipiente industria del vidrio en Cuba daba abasto, solamente, con la producción de parte de los envases requeridos para las industrias alimenticia y farmacéutica, y no se

producía otro tipo de vidrio ornamental, de uso doméstico, vidrio plano y otras formas de este material, por lo cual había que importarlos. La Fábrica fue cerrada en el 2003. La segunda fábrica, el Combinado del Vidrio “Amistad Cubano-húngara”, conocida como La Empresa del Vidrio La Lisa, comenzó su construcción en 1964 con un diseño con capacidad de 17 mil toneladas de artículos de vidrio hueco al año, que comprendía vasos y otros artículos para el hogar, frascos, ampulas, ampolletas para inyecciones y frascos para tabletas. Las materias primas empleadas en lo fundamental eran nacionales. La arena sílice provenía del yacimiento de Guane en la provincia de Pinar del Río, o de la Isla de la Juventud; el feldespato venía de la Industria Cerámica de Holguín; el carbonato de calcio, de las minas de Tapaste, en las cercanías de San José de las Lajas. También se empleaba parte del vidrio roto reciclado y colorantes. Sólo se importaba el carbonato de sodio.⁽¹²⁾

La fábrica de vidrios Las Tunas, fundada el 20 de julio de 1981 y cerrada en el 2009, fue la única fábrica de su tipo, para abastecer de envases de vidrio a las provincias orientales, y producir para la exportación a países como Nicaragua y Jamaica. La planta tenía la tecnología de máquinas de soplado para la fabricación de envases más moderna de entonces, de procedencia Belga.

En el año 2002 se crea la empresa de cristalería para laboratorio “Saúl Delgado Duarte” (VITEC), única de su tipo en Cuba, la cual garantiza mensualmente, los tubos de cristal para el cultivo de varias industrias, análisis bacteriológico y las muestras de sangre en los laboratorios clínicos de las instituciones de salud, además fabrica los nebusoles que se utilizan en el tratamiento de pacientes diagnosticados con enfermedades respiratorias como el asma y otras.

VITEC produce otro nivel de cristalería volumétrica, entre ellas la familia de los matraces “vajillas” utilizadas en laboratorios clínicos e industriales, probetas y pipetas comercializadas en la industria del petróleo y el níquel. Además, este centro también comercializa trofeos y artículos ornamentales, siempre por solicitud del cliente.⁽¹³⁾

En la actualidad, para satisfacer la demanda interna de materiales vítreos, está en construcción en la zona industrial del Mariel una planta para producir envases de vidrio para bebidas, conservas y otros usos. La planta dispondrá de tecnologías amigables con el medio ambiente, y permitirá satisfacer el 70% de las demandas de envases de vidrio de las industrias de bebidas y conservas.⁽¹⁴⁾

Hoy en día, el vidrio se fabrica en todo el mundo en modernas fábricas automatizadas, las cuales permiten su producción en masa; y a pesar de ser un material tan antiguo, aún envuelve misterios, que siguen sorprendiendo a la humanidad, pues sus propiedades no han sido del todo develadas.

Conceptos y estructura del vidrio

De acuerdo con la definición de Morey, “El vidrio es una sustancia inorgánica que se halla en un estado asimilable al líquido, del que es prolongación, pero que, como resultado de un cambio reversible experimentado durante el enfriamiento, alcanza un grado tan alto de viscosidad que puede considerarse sólido a todos los efectos.” La American Society for Testing and Materials (ASTM C1720) define al vidrio como “producto inorgánico de fusión enfriado hasta un estado rígido no cristalino”. Tanto los materiales orgánicos como los inorgánicos pueden formar vidrios si su estructura es no cristalina, es decir, si no está ordenada de manera predominante.⁽¹⁵⁾

En resumen, se puede definir al vidrio como un material amorfo, viscoso, el cual no pertenece enteramente a ninguno de los estados de agregación de la materia convencionales, por esta razón, se pensó que el vidrio podría formar parte de un cuarto estado de agregación: el estado vítreo. Sin embargo, por diversas razones, esta propuesta no llegó a prosperar.⁽¹⁶⁾

Es importante mencionar que bajo la misma composición química se pueden obtener vidrios o cristales, la temperatura y velocidad de enfriamiento son los factores claves bajo estas condiciones, los que determinan la estructura final.⁽¹⁷⁾

Es natural que muchas personas confundan el vidrio con el cristal, esto se debe a que tienen una apariencia externa muy similar a simple vista, sin embargo, su estructura interna es totalmente distinta. Al hablar de cristal se refiere a sólidos homogéneos, anisotrópicos y simétricos, cuyas entidades químicas tienden a empaquetarse adoptando una disposición ordenada de largo alcance, que es siempre la más probable, por corresponder al estado de menor energía, donde el arreglo espacial de los átomos, iones o moléculas se extiende por todo el sólido, formando un patrón repetitivo, regular, que resulta en una red, y recibe el nombre de estructura cristalina (figura 1A). El vidrio no presenta dichas cualidades, es un material amorfo, el cual no posee un orden bien

definido en su estructura (figura 1B), sin embargo, adopta un orden de corto alcance o disposición al azar, dando lugar a la formación de microestructuras, las cuales pueden repetirse más de una vez a lo largo y ancho del material. Si se piensa en tetraedros de sílice juntos, unos rodeando a otros, se obtiene una combinación de tetraedros de sílice (con sus respectivos oxígenos) orientados al azar (figura 1B).^(18,19)

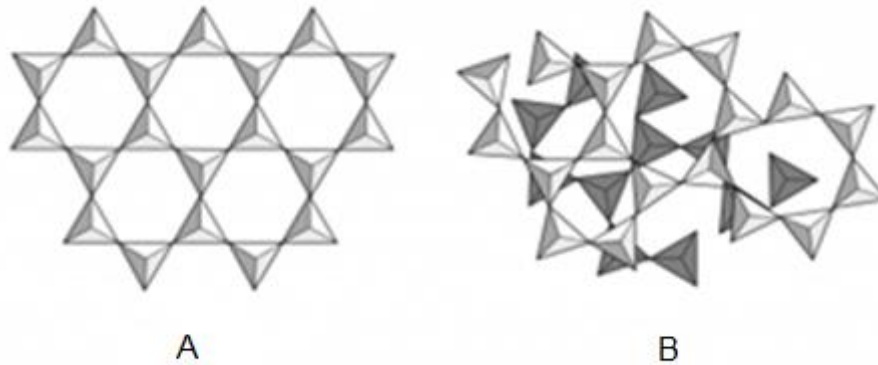


Fig.1A- Estructura cristalina del SiO₂ en el cuarzo; **B-** Estructura desordenada del SiO₂ amorfo⁽²⁾

Cualquier intento que se haga para entender la estructura y propiedades del vidrio debe partir del análisis de la estructura química del dióxido de silicio, que es su componente principal. El dióxido de silicio, como único constituyente, sería un vidrio ideal para muchas aplicaciones, pero las altas temperaturas necesarias para su fusión y las dificultades para darle forma, limitan su uso solo a algunas aplicaciones especiales.⁽²⁰⁾

La estructura química del dióxido de silicio (figura 2) es muy abierta, lo que permite que, durante el proceso de formación del vidrio, se puedan incorporar a la misma grandes cantidades de iones metálicos a la red. Para que esto ocurra, primero se deben romper enlaces entre el silicio y el oxígeno en las cadenas, razón por la cual se agregan óxidos fundentes o modificadores. En este grupo se incluyen los óxidos de sodio, potasio, calcio y magnesio.

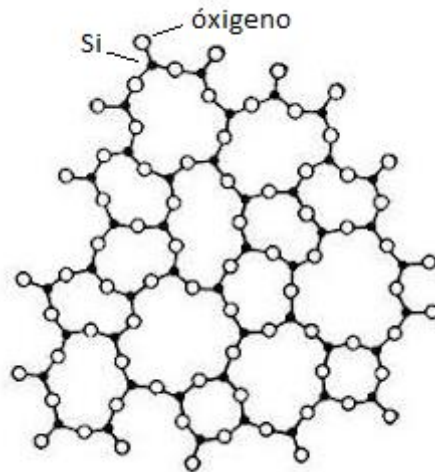


Fig.2-Estructura química de dióxido de silicio

La ruptura de estos enlaces permite que los iones metálicos se acomoden sin tener que formar parte de la red cristalina (figura 3). También favorece la disminución de la temperatura de vitrificación y la viscosidad de estos materiales.⁽²¹⁻²³⁾

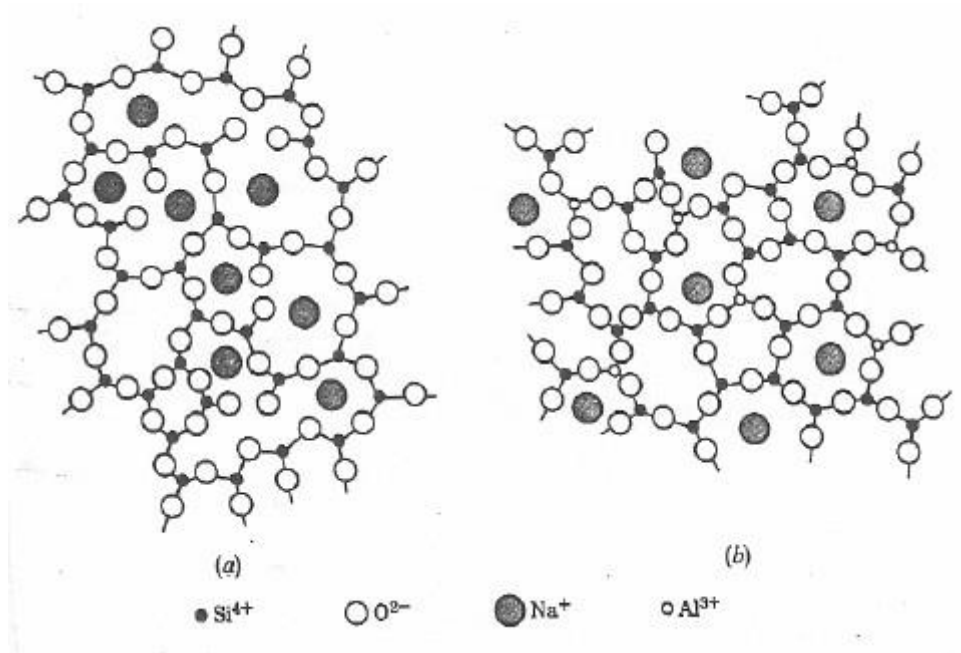


Fig. 3- Estructura química del vidrio

Para compensar el efecto negativo producido por la incorporación de los iones metálicos utilizados como fundentes, y reparar en parte los defectos producidos en la red del vidrio, se adicionan posteriormente los llamados óxidos estabilizadores que le confieren cohesión y resistencia, y evitan que sea un material soluble y fácilmente atacable por ácidos. Algunos ejemplos son el óxido de calcio, de plomo, de aluminio, de cadmio y de cobre, entre otros.⁽²⁴⁾

Para garantizar que disminuya la viscosidad del vidrio a alta temperatura, y facilitar la eliminación de las impurezas durante la fusión, es frecuente adicionar compuestos o sales (componentes accesorios) tales como nitratos de sodio, de potasio y de bario. Para darle el color deseado, se añaden aditivos en forma de óxidos, que se emplean mezclados en distintas proporciones para obtener una gran variedad de colores, dentro de estos los más utilizados son óxido de hierro, verde; Cr_2O_3 , verde, café, azul; $\text{Fe}_2(\text{SO}_3)_3$, amarillo a café-rojo; NiO , gris a verde; MnO_2 , violeta; CoO , azul a violeta; CuO , rojo-azul a verde; selenio, naranja a rojo; CdSO_3 , amarillo; oro, rubí a rojo; plata, amarillo; MnO_2 acompañado de otros óxidos, incoloro. El Fe_2O_3 es una impureza presente en la mayoría de las materias primas naturales. Para los vidrios incoloros de alta calidad es necesario minimizar la cantidad de este óxido en la formulación, pues presenta gran influencia en la coloración del vidrio. Vidrios transparentes de alta calidad utilizan arenas con niveles de Fe_2O_3 inferiores a 0,01%.^(25,26,27,28)

Tipos de vidrio

De acuerdo con los diferentes compuestos que se le agreguen a la mezcla, se pueden obtener diferentes tipos de vidrios, por tanto, sus características físicas y químicas son distintas. Sobre la base de su composición química, se pueden clasificar de las siguientes maneras:

Vidrio de sódica-calcio: este tipo de vidrio está formado por SiO_2 , Na_2O y CaO , que constituyen, aproximadamente el 90% de su composición. Una de las características que tiene este tipo de vidrios es que se funde con mayor facilidad y, por lo tanto, es el más barato dentro del mercado. Se utiliza, principalmente para la fabricación de ventanas, botellas, jarras y focos. Una desventaja del vidrio que se obtiene con esta mezcla es que tiene poca resistencia térmica, por lo tanto, al exponerse a cambios bruscos de temperatura tiende a romperse.^(29,30)

Vidrio de plomo: en este tipo de vidrio se sustituye el óxido de calcio peróxido de plomo. Cuenta con las mismas características que el vidrio de sódica-calcio, sin embargo, es mucho más denso, por lo que tiene un mayor poder de refracción y de dispersión. Se funde a temperaturas más bajas y es mucho más fácil de manejar. Otra de sus propiedades físicas que lo caracterizan es que el vidrio es suave, por lo tanto, es fácil de cortar, grabar y de pulir. Se utiliza, principalmente, para la elaboración de cristales finos y relucientes piezas de arte. En aplicaciones eléctricas y electrónicas es muy útil por su elevada resistividad eléctrica y protección frente a las radiaciones.

Vidrio de borosilicato: Este tipo de vidrio se obtiene usando óxido de boro en lugar de cal y sosa. Es inerte, más difícil de fundir y trabajar. Sin embargo, tienen una alta resistencia al calor. Se utiliza, principalmente para la fabricación de materiales de vidrio para laboratorios. Son ideales para hornos domésticos y producción de fibra de vidrio para reforzar plásticos.

Vidrio de aluminosilicatos: para la elaboración de este tipo de vidrio, se utiliza óxido de aluminio en lugar del óxido de boro, dando como resultado que tenga mayor resistencia térmica en comparación con los vidrios de boro silicato. Los vidrios obtenidos se utilizan en la elaboración de material de laboratorio, debido a que muestran una notable resistencia química. Dentro del mercado estos vidrios se venden bajo marcas comerciales de Pyrex y Kimax.

Vidrios de sílice: este tipo de vidrio es más duro y de alta calidad. Se puede obtener mediante tres procesos diferentes: fundiendo cuarzo puro, preparando sílice al 96%, o produciendo sílice fundida mediante hidrólisis a la flama. El vidrio preparado con un 96% de sílice es el más duro y difícil de trabajar. Se utiliza para usos especiales, tales como transmitir energía eléctrica radiante del ultravioleta al infrarrojo. Estos vidrios pueden soportar temperaturas hasta 900°C durante largo tiempo, dada su elevada estabilidad y temperatura de reblandecimiento. Se utiliza comúnmente para la elaboración de materiales de laboratorio que van a estar expuestos a calor, como es el caso de los crisoles.

Otro tipo de vidrios que surgen alrededor del siglo XVII son los vidrios ópticos, los cuales dan origen a la óptica como ciencia y a los llamados “vidrios especiales”. Estos se caracterizan porque la sílice no es el principal óxido formador de estos vidrios. Los óxidos formadores que se usan en esta línea de vidrios son el dióxido de teluro, el

pentóxido de vanadio, el dióxido de titanio, el cloruro de berilio, el sulfuro de cadmio, el dióxido de germanio, entre otros.⁽³¹⁾

Todos estos formadores de red vítrea han hecho que los vidrios expandan sus aplicaciones en el campo de la ciencia y de la tecnología. Por ejemplo, los vidrios con dióxido de germanio dieron origen a la fibra óptica, la cual cambió el concepto de las telecomunicaciones, al permitir recibir señales a velocidades superiores a las de los satélites, gracias a su transparencia al infrarrojo. Lo anterior es conveniente en la fabricación de transductores y demás sensores utilizados en este tipo de tecnologías.⁽³¹⁾

El sector de la construcción es una de las áreas tecnológicas donde el vidrio ha desempeñado un papel crucial en su transformación. Entre los tipos de vidrio más utilizados en este sector se encuentran:

- Vidrio templado: el vidrio de seguridad templado es el resultado de un proceso de choque térmico, el cual incrementa su resistencia mecánica hasta seis veces con relación al vidrio flotado. Por dicha resistencia es considerado un vidrio de seguridad, por lo que su uso es recomendado en áreas susceptibles al impacto humano. Como el vidrio templado tiene mayor resistencia al golpe, se disminuyen los riesgos de rotura provocados por agentes externos o por cambios de temperatura, y se reduce el riesgo de heridas graves cuando se producen roturas del mismo.⁽³²⁾

- Vidrio laminado: el vidrio de seguridad laminado consiste en la unión de dos o más láminas de vidrio mediante una lámina intermedia de polivinilo butiral (PVB), etilvinilacetato (EVA) o con resinas activadas por luz ultravioleta, o simplemente por la mezcla de sus ingredientes. Así mismo, estos vidrios también pueden recibir un tratamiento acústico y/o de control solar. El vidrio laminado es un transformador de la industria porque es capaz de proporcionar durabilidad, alto rendimiento y beneficios multifuncionales, mientras preserva al mismo tiempo la estética del vidrio. El vidrio laminado es la solución ideal para cualquier aplicación de acristalamiento de seguridad, incluyendo hogares y otros edificios en regiones de huracanes, centros comerciales, museos, prisiones, edificios gubernamentales, joyerías, bancos, aeropuertos, escuelas, hospitales, hoteles, particiones interiores y edificios de oficinas.⁽³³⁾

- Vidrio *insulado*: el vidrio *insulado* es ideal para edificios que requieran un control eficaz de climatización. También mejora el rendimiento térmico en ventanas mediante

el uso de un espacio de aire entre dos o más láminas de vidrio, para reducir la ganancia o la pérdida de calor. Como resultado se obtienen ventanas y puertas que son energéticamente más eficientes y edificios más rentables. Este tipo de vidrio también reduce la transmisión de ruido.⁽³⁴⁾

- Vidrio monolítico crudo: el vidrio *float* incoloro es un vidrio transparente de caras planas y paralelas, lo que asegura una visión nítida y exacta, libre de distorsión, motivo por el cual es usualmente llamado cristal. También se le llama vidrio monolítico (para diferenciarlo de los vidrios laminados o doble vidriado) o vidrio crudo (para diferenciarlo del vidrio templado). Cuando el vidrio *float* rompe, lo hace en pedazos grandes en forma de cuña filosa y cortante. Por ese motivo, debe tenerse especial atención a la selección del espesor adecuado, que garantice que no se rompa frente a la presión del viento, así como a no utilizarlo en zonas de riesgo para las personas.⁽³⁵⁾

Otras aplicaciones de impacto

El vidrio, dado su rigidez e inercia química, se utiliza para conservar alimentos, bebidas, productos farmacéuticos, vajilla y menaje. Establece una alternativa al uso de plásticos que tiene un impacto ambiental negativo, tanto en vertederos, como en los océanos. Forma parte de una mayoría de los productos domésticos tales como tazas, bandejas, vasos, platos, ollas y otros.^(36,37,38,39)

El vidrio ha tenido una trascendental participación en el desarrollo de la tecnología y de la concepción de la naturaleza. Gracias a él se sabe cómo es el Universo, mediante el uso de los telescopios, y cómo son los microorganismos y el dinamismo de una célula viva, a través del microscopio^(40,41,42) También se emplea en la industria naval, aeronáutica, aeroespacial o automovilística, entre otras. Las fibras de vidrio son claves para la comunicación fiable y rápida de datos a través de internet. También contribuyen al desarrollo de las energías renovables, energía asequible y no contaminante, al utilizarse en centrales termosolares y en aerogeneradores.⁽⁴³⁾

El vidrio se utiliza para la fabricación de aislamientos más eficientes o en grandes ventanales, lo que permiten aprovechar la luz del día, mejorar el bienestar y disminuir el consumo energético de los edificios.^(44,45)

Aparte de ser un material versátil para la industria, también sirve para el arte, empleándose en piezas ornamentales y recipientes, siendo a menudo asociado al lujo. En los campos de la salud para la regeneración de huesos y tejidos, así como para la eliminación de bacterias reduciendo la resistencia microbiana a los antibióticos.^(46,47,48,49,50)

Conclusiones

Se está en la era del vidrio, y la apuesta por una economía circular y desarrollo sostenible solo será posible si se toma conciencia de los beneficios que ofrece y que puede brindar en el futuro este material. Su versatilidad y posibilidad de reutilización motivan que su estudio se vuelva más interesante en la búsqueda de nuevos materiales y aplicaciones tecnológicas en los más diversos campos del desarrollo social. Su alcance solo estará limitado por la capacidad y el ingenio del hombre.

Referencias bibliográficas

1. Fernández Navarro, J. M. El Vidrio. 3ra ed. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Fundación Centro Nacional del Vidrio, 2003. ISBN 10 8400071301.
2. Ballato, J., et al. “Ulrich Fotheringham, Mathieu Hubert, Stefan Nolte, Laetitia Petit, and Kathleen A. Richardson, "Celebrating Optical Glass – the International Year of Glass: feature issue introduction”, *Opt. Mater. Express* 2022, **12**, 4660-4664. doi.org/10.1364/OME.479891
3. Nielsen, J. H., Belis, J., Louter, C., Overend, M., and Schneider, J. “Celebrating the international year of glass”, *Glass Struct. Eng.* 2022, **7** (1), 1. doi:10.1007/s40940-022-00173-1
4. María Luisa López García y Rubén Miranda Carreño. El año del vidrio: un material básico, tecnológico y sostenible. [fecha de consulta: 20 de Septiembre de 2022]. Disponible en: Disponible en: <https://theconversation.com/el-ano-del-vidrio-un-material-basico-tecn> y <https://www.csic.es/es/ciencia-y-sociedad/iniciativas-de-divulgacion/exposiciones-itinerantes/vidrio-presente-y-futuro>
5. Chen, J., et al. “Generation of Shock Lamellae and Melting In Rocks By Lightning-Induced Shock Waves And Electrical Heating”. *Geophysical Research Letters*, 2017, **44** (17) 8757-8768. <http://doi.org/10.1002/2017gl073843>
6. Wadsworth, F.B., et al “Using obsidian in glass art practice”, *Volcánica*, 2022, **5**(1), 183-207. <https://doi.org/10.30909/vol.05.01.183207>
7. Díaz Serrano A., Sobre la industria del vidrio según Plinio el viejo. [fecha de consulta: 10 de Agosto de 2022]. Disponible en: <https://romanivitrum.wordpress.com/2016/10/14/sobre-la-industria-del-vidrio-segun-plinio-el-viejo/>
8. Gateau, J.Ch., “El vidrio”. *Colección Oficios Artísticos*, Ediciones R. Torres, Barcelona, 1976. ISBN: 8485174062
9. Conradt R., “Prospects and physical limits of processes and technologies in glass meltin”, *J Asian Ceram Soc.* 2019, **7**, 377–96. <https://doi.org/10.1080/21870764.2019.1656360>
10. Glassware in the Victorian Era. [fecha de consulta: 20 de Septiembre de 2022].

Disponible

en:

https://www.historiclewes.org/images/fl_items/files/41/original/69_lesson-

11. Picart, G., Historia de los vitrales cubanos. [fecha de consulta: 10 de Agosto de 2022]. Disponible en: <https://ginapicart.wordpress.com/2012/10/10/historiade-los-vitrales-cubanos/>. y Cosas que no conocías de la Cervecería La Tropical [fecha de consulta: 15 de Septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.todocuba.org/15-cosas-gran-cerveceria-la-tropical/>
12. Rodríguez-Búa C., Memorias de un cubano. [fecha de consulta: 20 de Septiembre de 2022]. Disponible en: <http://memoriascubano.blogspot.com/2014/04/combinado-del-vidrio.html>
13. Empresa Vidrios Técnicos VITEC. fecha de consulta: 8 de Septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.radiorebelde.cu/noticia/garantiza-industria-vidrio-cuba-insumos-para-sector-salud-20160428/>
14. Vidrios Mariel S.A. [fecha de consulta: 18 de Septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.granma.cu/cuba/2018-09-20/nueva-empresa-producira-el-70-de-embases-de-vidrio-en-el-pais-20-09-2018-12-09-36>
15. Bender, J., Hellerstein, J., Hadley, J.G. y Hohman, C. “Vidrio, Cerámica y Materiales afines”. En: Editor: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, 1998, Cap. 84, pp. 84.2. [fecha de consulta: 4 de agosto de 2022]. Disponible en: http://materiales.untrefvirtual.edu.ar/documentos_extras/20491_Medicina_laboral/enciclopedia_oit/tomo3/84.pdf
16. Onodera et al. “Structure and properties of densified silica glass: characterizing the order within disorder”, *NPG Asia Materials* 2020, **12**, 85. doi.org/10.1038/s41427-020-00262-z
17. Vedishcheva, N, López-Grande, A, Muñoz, F. “Chemical approach to the glass structure and properties”, *Int J Appl Glass Sci.* 2022, **13**, 359-369. doi.org/10.1111/ijag.16551
18. Kurkjian, C.R. y Prindle, W.R. “Perspectives on the History of Glass Composition”, *J. Am. Ceram. Soc.* 1998, **81** (4), 795–813. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1998.tb02415x>
19. Hoang, V. V. “Molecular dynamics simulation of amorphous SiO₂ nanoparticles”, *J.Phys. Chem. B.* 2007, **111**, 12649-12656. doi.org/10.1021/jp074237u

20. Kolb, D., and Kolb K.E., “The chemistry of glass”, *J. Chem. Educ.* 1979, **56**, 9, 604. doi.org/10.1021/ed056p604
21. Kohara, S. et al. “Synchrotron x-ray scattering measurements of disordered materials”, *Z. Phys. Chem.* 2016, **230**, 339–368. doi.org/10.1515/zpch-2015-0654
22. Chumakov, A. I. et al. “Role of disorder in the thermodynamics and atomic dynamics of glasses”, *Phys. Rev. Lett.* 2014, **112**, 025502. doi:10.1103/PhysRevLett.112.025502.
23. Vienna, J.D., Neeway, J.J., Ryan, J.V. et al. “Impacts of glass composition, pH, and temperature on glass forward dissolution rate”, *npj Mater Degrad* 2018, **2**, 22. <https://doi.org/10.1038/s41529-018-0042-5>
24. Chumakov, A. I. & Monaco, G. “Understanding the atomic dynamics and thermodynamics of glasses: status and outlook”, *J. Non-Cryst. Solids* 2015, **407**, 126–132. doi: [10.1016/j.jnoncrysol.2014.09.031](https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2014.09.031)
25. Jones, E.B., and Stevanović, V., “The glassy solid as a statistical ensemble of crystalline microstates”, *npj Computational Materials* 2020, **6**, 56. doi.org/10.1038/s41524-020-0329-2
26. Schultz, P.C. “Optical absorption of the transition elements in vitreous silica. *J Am Ceram. Soc.* 1974; 57(7):309 13. doi.org/10.1111/j.1151-2916.1974.tb10908.x
27. Conradt, R., Thermodynamics and Kinetics of Glass. In: Musgraves, J.D., Hu, J., Calvez, L. (eds) Springer Handbook of Glass. SpringerHandbooks. Springer, Cham., 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93728-1_2
28. Hubert M., Industrial glass processing and fabrication. In: Musgraves JD, Hu J, C L, editors. Springer handbook of glass. Springer Cham; 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93728-1_34.
29. Pawar P., Ballav R., Kumar A. “Review on Material Removal Technology of Soda-Lime Glass Material”, *Indian Journal of Science and Technology* 2017, **10**(8), 1-7. [doi: 10.17485/ijst/2017/v10i8/102698](https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i8/102698).
30. Kail, F. et al. “The configurational energy gap between amorphous and crystalline silicon”, *Phys. Status Solidi Rapid Res. Lett.* 2011, **5**, 361-363. doi.org/10.1002/pssr.201105333
31. Rodríguez-Carvajal, D.A., *Fabricación y Caracterización de Vidrios del Sistema Na₂O-Ce₂O₃-GeO₂*. Tesis de maestría en Ciencias de Materiales. Centro de

- investigación en materiales avanzados, Chihuahua, 2013.
32. Templadosa.com. [fecha de consulta: 4 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.templadosa.com/vidrio/>
 33. Tecnoglass, Vidrio laminado Información General, [fecha de consulta: 4 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.tecnoglass.com/es/products/vidrio-laminado/>.
 34. Datsiou, K.C., Overend, M. “The mechanical response of cold bent monolithic glass plates during the bending process”, *Engineering Structures*, 2016, **117**, 575-590. doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.03.019
 35. Cannio, M.; Bellucci, D.; Roether, J.A.; Boccaccini, D.N. and Cannillo, V. “Bioactive Glass Applications: A Literature Review of Human Clinical Trials”, *Materials*. 2021, **14**, 5440. <https://doi.org/10.3390/ma14185440>
 36. Sengupta P., Refractories for glass manufacturing. In: Refractories for the chemical industries. Springer Cham; 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61240-5_10
 37. Shelby, J., Introduction to glass science and technology: 2da ed. Royal Society of Chemistry y Cambridge, 2015. ISBN: 9781782625117
 38. Testa, M., Malandrino, O., Sessa, M., Supino, S., Sica, D. “Long-Term Sustainability from the Perspective of Cullet Recycling in the Container Glass Industry: Evidence from Italy”, *Sustainability*, **2017**, **9**(10), 1752. doi.org/10.3390/su9101752
 39. de Araújo, C. B., Kassab L.R.P., da Silva D.M., “Optical properties of glasses and glass-ceramics for optical amplifiers, photovoltaic devices, color displays, optical limiters, and Random Lasers”, *Optical Materials* 2002, **131**, 112648. doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112648.
 40. Tamanna, et al. “Performance of recycled waste glass sand as partial replacement of sand in concrete. Construction and Building Materials 239 (2020) 117804. doi.org/10.1016@j.conbuildmat.2019.117804
 41. Zuidhof, N., Ben Allouch, S., Peters, O. *et al.* “Defining Smart Glasses: A Rapid Review of State-of-the-Art Perspectives and Future Challenges From a Social Sciences’ Perspective”, *Augment Hum Res* 2021, **6**, 15. doi.org/10.1007/s41133-021-00053-3
 42. Parker, M.J., and Durán, A., “Glass, optics and IYOG: opinion”, *Optical Materials Express* 2022, **12**, 8, 2938-294. doi.org/10.1364/OME.463038
 43. Edwards, K.L.; Axinte, E.; Tabacaru, L.L. “A critical study of the emergence of

- glass and glassy metals as “green” materials”, *Mater Des.* 2013, 50. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.03.070>
44. Stiebert, S.; Echeverría, D.; Gass, P. “Emission Omissions: carbon accounting gaps in the built environment”. 2019. [fecha de consulta: 11 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.iisd.org/publications/emission-omissions#:~:text=Emission Omissions%3A Carbon Accounting Gaps in the Built Environment delves,The report considers%3A&text=Longer-term opportunities to reduce,concrete%2C steel and forestry sectors.>
45. Busca, G., “Bases and Basic Materials in Industrial and Environmental Chemistry: A Review of Commercial Processes”, *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2009, **48**(14), 6486-6511. doi.org/10.1021/ie801878d
46. Boyd, D.C., et al. “Glass”, in ‘Kirk–Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology’, 5th edn. Hoboken, Wiley, 2005, 565–626. ISBN: 978-0-471-48494-3.
47. Ibrahim, N.F., et al. “Development of New Composition of Bioactive Glass Powder from SiO₂-CaO-Na₂O-P₂O₅ System through Melt-Derived Route” *Materials Science Forum* 2017, **888**, 267-272. doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.888.267
48. Schaut, RA, Weeks WP. “Historical review of glasses used for parenteral packaging”, *PDA journal of pharmaceutical science and technology* 2017, **71**(4), 279-96. doi: [10.5731/pdajpst.2016.007377](https://doi.org/10.5731/pdajpst.2016.007377)
49. Guadagnino, E., Guglielmi, M, Nicoletti, F. “Glass: The best material for pharmaceutical packaging”, *Int J Appl Glass Sci.* 2022; **13**: 281-291. doi.org/10.1111/ijag.16559
50. Moeini, A, HassanzadehChinijani, T, MalekKhachatourian, A, ViniciusLiaFook, M, Bairo, F, Montazerian, M. “A critical review of bioactive glasses and glass–ceramics in cancer therapy”, *Int J Appl Glass Sci.* 2023, **14**, 69-87. doi.org/10.1111/ijag.16601

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Armando Augusto PanequeQuevedo: revisión de literatura, recogida de información, escritura del manuscrito original, revisión-edición del manuscrito.

Alicia Díaz García: revisión de literatura, recogida de información, escritura del manuscrito original, revisión-edición del manuscrito.

Noeldris López López: escritura del manuscrito original, revisión-edición del manuscrito.