

4. Cerámica 4.0: la transformación digital del sector cerámico

JORGE CARRO-SUÁREZ*
SUSANA SARMIENTO-PAREDES**

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.235.04>

Resumen

Digitalizar los sistemas de producción incorporando las tecnologías disruptivas de Industria 4.0 representa el nuevo reto para diversos sectores industriales. El manejo más eficiente de información, el uso de espacios virtuales y el desarrollo de nuevas tecnologías representan hoy en día nuevas ventajas competitivas que la industria debe reconocer y aprovechar. Bajo este contexto, el sector cerámico es uno de los que ya han iniciado este proceso con la búsqueda de mantener su competitividad en los mercados, de contar con capacidad de respuesta ante cambios inesperados y de prevalecer en el tiempo sin perder su calidad y su tradición. El objetivo del presente capítulo es presentar las oportunidades que Industria 4.0 ofrece al sector cerámico bajo el concepto de Cerámica 4.0 y en cómo éstas se visualizan para un futuro sustentable. A través de una revisión teórica se identificaron las tendencias de Cerámica 4.0 bajo tres enfoques: competitividad, innovación y desarrollo sustentable. En un sector industrial como lo es el cerámico, el control de la cadena de producción debe garantizar el correcto funcionamiento de todos sus componentes, respetando criterios de producción y calidad. Por ello, Cerámica 4.0 representa la nueva tendencia tecnológica

* Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología. Programa Académico de Ingeniería. Profesor de tiempo completo, Universidad Politécnica de Tlaxcala, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-84642566>

** Doctora en Ciencias Administrativas, Facultad de Ciencias Económico-Administrativas. Profesora Investigadora de Tiempo Completo, Universidad Autónoma de Tlaxcala, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-17149066>

que otros sectores industriales pueden y deben imitar para trascender y preservar su competitividad en el futuro.

Palabras clave: *Cerámica 4.0, Industria 4.0, sector cerámico, tecnologías digitales.*

El sector cerámico en México y el mundo

El continuo aumento de las zonas urbanas, el desarrollo constante de los sectores industriales y el crecimiento de la población en todo el mundo representan hoy en día uno de los principales retos que enfrenta la sociedad ante la necesidad de contar con los recursos suficientes para subsistir. Asimismo, los efectos de la pandemia de COVID-19 en 2020 todavía se siguen resintiendo. La sociedad en general dejó de adquirir diversos productos dando prioridad a los más indispensables, razón por la cual muchas empresas se vieron en la necesidad de reducir su producción y en muchos casos, tuvieron que reinventarse ante una nueva realidad, en donde las tecnologías digitales representaron una alternativa para perdurar en el tiempo. Ante este panorama, diversos sectores industriales se vieron más afectados que otros, en especial aquellos que no estaban preparados para cambios económicos y sociales de esta índole, por lo que se vieron en la necesidad de modificar, y en muchos casos, de cambiar sus modelos de negocios. De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) la crisis sanitaria golpeó con mayor severidad a sectores como el de servicios de turismo, hoteles y restaurantes, comercio, transporte, moda y vehículos automotores y partes. Sectores como la minería, construcción y materiales para la construcción, industria cerámica, química, muebles y madera experimentaron un impacto significativo, mientras que la agricultura, ganadería, pesca, alimentos insumos y equipo médico, medicamento y telecomunicaciones fue entre poco y moderado (CEPAL, 2020). No obstante, y a pesar de esta problemática que en general vivieron estos sectores, también ésta representó una oportunidad para justificar y acelerar cambios que ya se venían dando en la industria desde hace tiempo, especialmente, desde el punto de vista científico y tecnológico, en el cual, diversos sectores visualizaron nuevas oportunidades de negocio y crecimiento, siendo el sec-

tor cerámico uno de los más destacados gracias a su experiencia, a su capacidad económica y a su continuo desarrollo tecnológico

Previo a la pandemia de COVID-19 de 2020, el sector cerámico gozaba de un crecimiento constante en lo que se refiere a su producción. Sin embargo, en 2020 seis de los diez países con mayor producción a nivel mundial sufrieron una caída en su producción debido principalmente al cierre de los mercados internacionales y a paros técnicos en las empresas por la contingencia sanitaria.

En Asia, China e India se mantuvieron a la cabeza del ranking con un crecimiento positivo, aunque menor en comparación con otros años. En Europa, la producción de los países que conforman la Unión Europea (UE) decayó en un 6.60% ya que España e Italia, dos de los principales productores, tuvieron una caída en su producción. Italia sufrió un confinamiento nacional de seis semanas, lo que provocó una reducción en su producción del 14.2%. El resto de Europa se mantuvo estable gracias a la aportación de Turquía (25% de producción más que la realizada en 2019). La producción en América del Norte cayó un 2.7%, mientras que en América Central y del Sur, una región muy afectada por los confinamientos prolongados en 2020, la producción se redujo drásticamente, ya que Brasil, tercer productor y consumidor mundial experimentó una importante caída de su producción (-7.6% con respecto a 2019) debido principalmente a los confinamientos. África experimentó un crecimiento global del 6.1% a pesar de que Egipto, líder del continente, sufriera una caída del 5% en su producción. A nivel mundial, la producción se incrementó en un 1.7% (Baraldi, 2021).

Con respecto a 2021, la producción de recubrimientos cerámicos en el mundo experimentó un crecimiento inesperado alcanzando los 18,339 millones de metros cuadrados, lo que representó un incremento del 14.0% con respecto a la producción generada en 2020. Esto gracias a un fuerte aumento en la demanda de productos en todas las áreas geográficas. La producción en Asia aumentó un 4.90% alcanzando 13,600 millones de metros cuadrados, lo que equivale al 74% de la producción mundial gracias al aumento en los volúmenes producidos por China (+4.6%), India (+10%) e Indonesia (+34.9%). En Europa se produjeron un total de 2,124 millones de metros cuadrados (11.6% de la producción mundial), principalmente, impulsada por un fuerte crecimiento en la producción por parte de Italia, que alcanzó una producción record de 435 millones de metros cuadrados.

En el continente americano la producción creció hasta 1,737 millones de metros cuadrados. América del Norte (Canadá, Estados Unidos y México) creció en un 17.4%, mientras que América Central y del Sur experimentaron un aumento significativo del 24.5%, con un Brasil (+24.9%) que compensó con creces las pérdidas de 2020. La única zona cuya producción se redujo en un 3.3% fue África debido principalmente a las fuertes recesiones en Argelia y en Nigeria (Ceramic World Web, 2021).

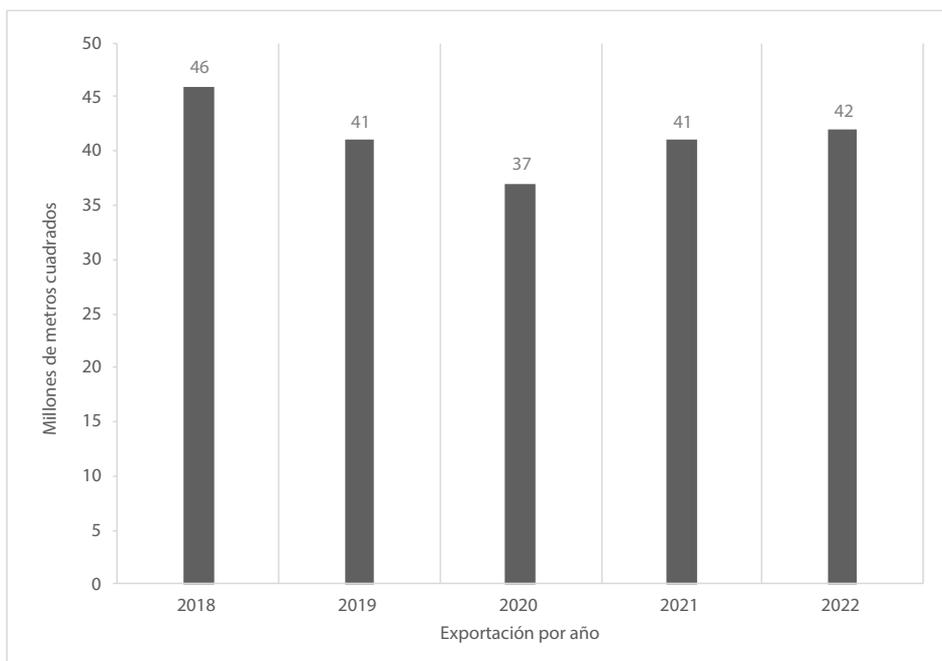
El crecimiento experimentado en 2021 alentó a las empresas del sector a considerar una recuperación económica por las pérdidas en 2020. No obstante, a mitad de 2022 se resintió una desaceleración general que detuvo de forma abrupta la producción por reducciones en el consumo, reduciendo por consecuencia los volúmenes de importación y exportación. La inflación en gran parte del mundo, la crisis energética y el enfriamiento de la demanda tras el auge pospandémico impactaron negativamente en el mercado mundial regresando casi a los niveles de 2019.

En 2022, la producción mundial de recubrimientos cerámicos bajó a los 16 762 millones de metros cuadrados, un 8.6% menos que en 2021. La producción en Asia se redujo en un 11.6% ya que China experimentó una pérdida de 1,800 millones de metros cuadrados. La reducción de la demanda interna y de exportación obligó a las empresas chinas a reducir su producción en un 40% de la capacidad instalada en el país. Las áreas geográficas restantes también experimentaron reducciones. Europa cayó un 8.4%, en gran medida debido a las caídas de Turquía y España. De la misma forma, el continente americano bajó su producción. Aunque América del Norte mantuvo un nivel similar al del 2021, la producción en centro y sudamérica se redujo un 8.4% debido a un fuerte impacto negativo en Brasil por la reducción de la demanda interna y de sus exportaciones en todos sus mercados clave. Sin embargo, en un mercado contraste, África experimentó un crecimiento del 13% gracias al aumento en la producción de Egipto, Argelia, Ghana, Kenia y Zambia (Ceramic World Web, 2022).

A pesar de esta inestable situación en los mercados internacionales, el sector cerámico ha logrado afrontar situaciones inesperadas como la crisis generada por la COVID-19 y el conflicto bélico entre Rusia y Ucrania, países que representan un mercado significativo de producción y consumo para productores de todo el mundo.

En relación a México, el sector cerámico se ha caracterizado por ser uno de los principales exportadores en el mundo, ocupando hasta 2022 el décimo lugar en el ranking mundial superado sólo por potencias productoras como China, España, India, Italia, Irán, Turquía y Brasil (Baraldi, 2023). En la figura 4.1 se muestra dicha evolución desde el 2018 a 2022, donde se resalta el efecto negativo que se experimentó entre 2019 y 2020, y el breve repunte que se ha tenido en 2021 y 2022.

Figura 4.1. *Exportación de recubrimiento cerámico por México*



Fuente: Baraldi (2023).

El mercado mexicano sufrió una caída tanto en producción como exportación entre 2019 y 2020. La pandemia de COVID-19 generó una gran reducción en el consumo de recubrimiento cerámico no sólo a nivel local, sino también internacional, con especial énfasis en América del Norte y América Latina. Sin embargo, de acuerdo con el Consejo Cerámico de Norteamérica (TCNA, por sus siglas en inglés), se estimó que en 2021 y 2022, el sector cerámico en México experimentó una recuperación económica del

4%, lo cual benefició aproximadamente a 20,000 empleos directos (Forbes México, 2021), considerados en su mayoría en las tres principales empresas fabricantes mexicanas, dos de las cuales, están ubicadas entre las 25 mayores empresas fabricantes de recubrimiento cerámico en el mundo.

Grupo Lamosa se consolidó en 2022 como el segundo mayor fabricante en el mundo ya que aumentó su producción hasta los 215 millones de metros cuadrados gracias a la compra e integración en 2021 de Roca Tiles y en 2022 de Fanosa Group, operaciones que representaron un aumento de ingresos del 22% en 2022 y que ahora representan una capacidad instalada de 240 millones de metros cuadrados producidos al año, de los cuales se exportan el 46%. Interceramic México se mantuvo en el lugar 20 en 2022 gracias a sus 44 millones de metros cuadrados de producción, de los cuales exportan el 24%. En lo que respecta a Cerámica Vitromex, ésta pasó a ser adquirida en junio de 2022 por el grupo estadounidense Mohawk Industries, lo cual, reforzó su posición como el primer lugar en el ranking mundial de fabricantes (Baraldi, 2023).

Estas proyecciones vislumbraban un mayor crecimiento en años siguientes. Aunque la pandemia de COVID-19 provocó directamente una caída en el consumo por dar prioridad a otros aspectos, el confinamiento en el que se vio inmerso gran parte de la sociedad también provocó cambios en las decisiones de consumo. Con el tiempo, y ante una nueva realidad económica, gran parte de la sociedad en el mundo dejó de gastar en viajes, eventos sociales y adquisición de artículos personales para pasar más tiempo en su casa. En adición a esto, el crecimiento del teletrabajo y el hecho de que ahora las personas prefieren reunirse en pequeños grupos ha dado paso a preferir remodelar y mejorar sus espacios propios para propiciar un mejor ambiente personal y de trabajo. La demanda de estos productos ha impactado en todos los sectores sociales, pues personas de bajos recursos han realizado compras minoristas para remodelar determinadas partes de sus casas, mientras que familias con mayor poder adquisitivo eligieron construir o remodelar en su totalidad (De Luna, 2021).

La visión en los próximos años, es que el desarrollo urbano y la industrialización sean quienes impulsen el crecimiento de la industria, y que la construcción de viviendas, oficinas, centros comerciales y otros lugares donde la gente se reúne y trabaja podría aumentar de forma significativa. Se

estima que para 2027, el sector cerámico tendrá gran parte del mercado y generará alrededor de 100 000 millones de dólares, lo cual representa una proyección muy alentadora, ya que, en comparación con otros productos (como la madera), el recubrimiento cerámico es más barato, duradero y soporta mejor diversas condiciones climatológicas, lo que lo ubica como la mejor alternativa en aspectos de construcción para el futuro (Mordor Intelligence, 2023).

De Industria 4.0 a Cerámica 4.0

Industria 4.0 nace en 2011 como una nueva transformación industrial en la que las tecnologías de la información se combinan con las tecnologías de fabricación y manufactura, generando un valor adicional para la sociedad (Javaid *et al.*, 2021). Es considerada como la etapa para digitalizar los procesos industriales y productivos, para promover el surgimiento de la inteligencia empresarial y potenciar la interconexión hombre-máquina (Lee *et al.*, 2013). La Industria 4.0 establece sus principios de aplicación bajo el enfoque de nueve pilares tecnológicos: el Big Data, ante la exorbitante adquisición de datos gracias a los cada vez más potentes dispositivos tecnológicos. Esta combinación desempeña un papel trascendental, convirtiendo la información en una ventaja competitiva y en una alternativa de supervivencia, mejorando la eficiencia, la toma de decisiones y el desarrollo de innovación (León, 2023). Hoy en día, el uso de robots de 6 grados de libertad, drones y diversos sistemas autónomos han demostrado su alta capacidad y eficiencia mediante el diseño de hardware y software que les permite una fácil integración a los sistemas industriales, dándoles la ventaja de tomar decisiones pre-programadas dependiendo de una situación específica (Goldiez, 2023). Esta tecnología representa actualmente, un elemento clave para el desarrollo de modelos, así como para el diseño y desarrollo de sistemas de producción complejos ya que permite evaluar riesgos, costos, rendimiento y resultados, siendo la simulación híbrida y los gemelos digitales sus principales representantes tecnológicos (De Paula *et al.*, 2020). De esta forma, las empresas aprovechan las ventajas de las tecnologías de la información para establecer la coordinación e interconexión entre proveedores,

fábricas y clientes (integración horizontal), así como a lo largo de los diferentes niveles y unidades de la organización (integración vertical) (Solleiro, 2022).

El internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), facilitando la comunicación, el almacenamiento y automatización de procesos aprovechando las redes informáticas. Se le identifica como la tecnología que gestiona en su totalidad la información y comunicación entre el resto de las tecnologías (Peralta-Abarca, 2020). Ciberseguridad, dando protección digital a los sistemas industriales digitalizados ante eventuales amenazas cibernéticas. Ante el uso masivo de las tecnologías digitales y su continua evolución es determinante la adopción de tecnología preventiva y correctiva para minimizar y erradicar cualquier impacto de esta índole, dándoles a las organizaciones una garantía de seguridad en sus sistemas de control, almacenamiento y adquisición de información (León *et al.*, 2022). La nube, garantizando espacios virtuales para el almacenamiento de un gran volumen de datos, su capacidad de transferir información a alta velocidad y fácil acceso aseguran la disponibilidad de los datos desde cualquier parte del mundo en cualquier momento (Peralta-Abarca *et al.*, 2020). Manufactura aditiva, proponiendo nuevas formas de producción personalizadas en menor tiempo, al ser una tecnología de fabricación que aprovecha la impresión tridimensional de prototipos de productos con diferentes tipos de materiales de una forma rápida y eficiente (Solleiro, 2022). La realidad aumentada/virtual, combinando el mundo físico con los entornos virtuales (Carro y Sarmiento, 2022), su alcance tecnológico da la oportunidad de visualizar virtualmente objetos o situaciones en diversos campos de aplicación como los servicios médicos, el uso militar, naval y espacial (Peralta-Abarca *et al.*, 2020), creando modelos virtuales y permitiendo la interacción con los mismos, de la misma forma que se haría con un prototipo físico (López, 2020).

Estos pilares dieron paso a un nuevo desarrollo industrial, en la que los sectores empresariales han visto una nueva área de oportunidad ante la necesidad de adaptarse a las condiciones y requerimientos actuales de los mercados y de la sociedad a nivel mundial.

Conceptos como Operador 4.0, Salud 4.0, Construcción 4.0, Logística 4.0 y Educación 4.0 establecieron un escenario que relacionó de forma directa con los principios reconocidos por Industria 4.0 con la sociedad del

nuevo siglo, siendo Cerámica 4.0 uno de estos nuevos preceptos de dicha tendencia tecnológica.

Cerámica 4.0 nació ante la necesidad de que el sector cerámico también evolucionara hacia Industria 4.0, dando sus primeros pasos de forma muy puntual en determinadas áreas (maquinaria más moderna, mejoras en las líneas de producción, gestión de marketing...), pero no así en conjunto, por lo que no generaba un impacto real en toda la empresa ni generaba beneficios evidentes o tangibles. El sector cerámico requería de ciertas claves para alcanzar un verdadero desarrollo que se adecuara a las exigencias de Industria 4.0. Era importante el incorporar tecnologías de la información (TIC) en sus procesos para hacerlos más eficientes, personalizar productos y reducir tiempos de respuesta, aumentar la conectividad con distribuidores para mejorar la comunicación, captar tendencias y nuevas necesidades aprovechando la generación y análisis interno de datos (información), todo debido a la importancia de adaptar sus productos y procesos a la nueva era digital, implementando tecnologías que resolvieran sus necesidades de forma eficiente considerándolas como sus nuevas alternativas para poder perdurar en el tiempo (Veral, 2019).

En este contexto, la Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos (ASCER) menciona que el futuro del sector cerámico, bajo el enfoque de Cerámica 4,0 requiere adentrarse a nuevos retos en tres áreas muy específicas (ASCER, 2018):

- *El diseño de productos:* En este punto se especifica que la eficiencia energética seguirá siendo un aspecto clave para la producción como una fuente de ahorro de energía y como una estrategia para generar productos más sostenibles. Asimismo, será determinante fomentar sistemas productivos enfocados hacia la personalización y consideración de nuevos materiales funcionales (antibacteriales, con determinadas propiedades técnicas, etc.) en otros sectores. Otros aspectos relacionados consideran la fabricación de productos que no dañen el medio ambiente, ya que este tema se ha convertido hoy en día en una cuestión determinante en las decisiones de compra para los consumidores.
- *Atención al consumidor:* Dentro de las principales cuestiones que afronta el sector para los próximos años es la de generar estrategias

que le permitan estar en contacto directo con el usuario final de sus productos. Mejorar las herramientas de comunicación con el cliente, aprovechar las tendencias identificadas en el marketing, estudios aplicando herramientas online para conocer mejor a sus consumidores y buscar nuevos públicos y clientes potenciales (personas de la tercera edad, niños, con habilidades diferentes, etc.) son un ejemplo de estrategias a considerar.

- *Tecnología para el futuro*: De forma similar al diseño de productos, las situaciones relacionadas con el ahorro energético y la búsqueda de nuevas fuentes alternativas de energía son los puntos más destacados por el sector en cuestiones tecnológicas. Áreas como la domótica y smart cities, la personalización just in time, el uso y aplicación de nanomateriales y la incursión en otras áreas que han sido relegadas (por ejemplo, cerámica para motores) plantean un espacio para promover innovaciones orientadas en la diversificación de los productos y procesos.

Bajo estos principios, Cerámica 4.0 representa la evolución tecnológica y digital del sector en los próximos años. Aprovechar los beneficios y ventajas de digitalizar los procesos industriales permitirá establecer principios de ventaja competitiva, conjugando la innovación con la diferenciación, manteniendo tradición y calidad, así como reducir los costos de fabricación, asegurando la competitividad de las empresas. De esta forma, por medio de algoritmos capaces de mejorar los procesos guiados por sistemas de control basados en software se mejorará la calidad de la automatización; gracias a la colaboración entre los dispositivos y elementos interconectados también será posible predecir el comportamiento de la línea de fabricación para obtener realmente los resultados deseados y, mediante la conexión entre los procesos productivos con las necesidades de los clientes, será posible fabricarles productos personalizados y a su medida, con la capacidad de atenderlos en cualquier momento y en cualquier parte del mundo (Digit-S, 2019).

El sector cerámico está en el camino de seguir aprendiendo y mantener el ritmo de crecimiento de Industria 4.0, gracias a que una de sus principales fortalezas es la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D). Es por ello,

que gracias a Cerámica 4.0, el nuevo objetivo de este sector es avanzar hacia procesos más eficientes y productivos, mediante productos que no afecten el medio ambiente gracias a la evolución de las tecnologías digitales, estableciendo nuevas y ambiciosas metas para el futuro, siendo las más destacadas las siguientes (NexusIntegra, 2021):

- Reducir costos: agilizando la producción y recortando gastos innecesarios gracias a la interconectividad de dispositivos y diseño de nuevos modelos de aprendizaje.
- Reducir consumo de energía: lograr los mismos niveles de producción y los mismos resultados de calidad con un mínimo consumo de energía.
- Reducir tiempos de procesos: automatizando y optimizando las principales áreas de trabajo y producción, acelerando los procesos y reduciendo pausas y paros no deseados.
- Mejorar la calidad: procesos inteligentes permiten crear diseños y productos inteligentes, asegurando de forma permanente la calidad y predilección de los clientes.
- Reducir los residuos: ahorrar energía, aprovechar de forma eficiente los insumos y reaprovechar los materiales considerados como residuos o desperdicio impulsará al sector hacia una sustentabilidad integral.

Cerámica 4.0 apuesta por un proceso de digitalización que permita a las empresas conservar su competitividad aprovechando la disrupción en el mundo de las tecnologías digitales. Esta disrupción digital puede expandir el mercado con productos cada vez más innovadores y a menor costo. Tendencias como diseños inteligentes, recubrimientos cerámicos sustentables y con eficiencia energética ya son una realidad (NexusIntegra, 2021).

Esto nos lleva a definir que Cerámica 4.0 representa una nueva ideología con propuestas para un mayor desarrollo empresarial, propuestas que las empresas del nuevo siglo (y no sólo las del sector cerámico, sino también las de otros giros), deben considerar como complemento de tres ejes importantes: de la competitividad, aprovechando el incremento de las tecnologías digitales para una mayor eficiencia; de la innovación, ante la impor-

tancia de generar continuamente nuevos conceptos para sus clientes y, del desarrollo sustentable, como una contribución adicional que la sociedad actual reclama para bien de su entorno social, ambiental y personal.

De tal forma que empresas de cerámica en el mundo ya han iniciado el camino para implementar Cerámica 4.0 en sus procesos y productos. Macer S.L. empresa española líder en diseño y fabricación de moldes para prensas de piezas cerámicas ha desarrollado un modelo de molde inteligente denominado Molde 4.0, el cual tiene la capacidad de capturar señales a través de sensores para transmitirlos a la nube en tiempo real monitoreando el estado de uso del molde, gestionando avisos automáticos de necesidad de reparación y capacidad de asistencia online (Spanish Ceramic Technology, 2018). Valentia Ceramics del grupo Azuiber España, en su proceso de transformación digital, ha instalado software de gestión de color y sistemas de visión inteligentes para la captura y análisis de piezas en forma automática, mejorando su eficiencia y calidad (Spanish Ceramic Technology, 2021). Eurocerámica S.A.S. en Colombia planteó una renovación en su planta automatizando sus sistemas de embalaje, obteniendo un mayor control al final de su proceso, contando además con información en tiempo real de su embalaje, mejor control en el uso de consumibles y mayor certeza de que sus productos y personal están mejor protegidos (Spanish Ceramic Technology, 2022).

Cerámica 4.0: Un nuevo enfoque de competitividad, innovación y desarrollo sustentable

Ser competitivo significa tener capacidad de respuesta a las continuas exigencias de la sociedad sin perder valor y calidad. Las nuevas generaciones de consumidores demandan cada vez más nuevos aspectos como originalidad, personalización y variedad de elección, entornos donde la innovación debe ser constante. Asimismo, la sociedad actual demuestra ya abiertamente su preocupación por las generaciones futuras, ante el hecho de que los recursos naturales del planeta se consumen con mayor rapidez en comparación con el tiempo que tardan en renovarse (Sothis, 2021).

Hablar de competitividad implica que las empresas deben preocuparse por implementar acciones y estrategias que les permitan reducir costos re-

organizando sus actividades para lograr una mayor eficiencia en sus procesos de fabricación. Por otro lado, también deben ocuparse por ser diferentes, ofreciendo a sus clientes un producto o servicio con un desempeño único o superior con respecto al de sus competidores (Porter, 2015).

Con respecto a innovación, el Manual Oslo (2018) establece su clasificación como innovación de productos e innovación de procesos de negocios, reconociéndola como un aspecto determinante que puede potenciar las fortalezas de cada organización. Carro *et al.* (2017) mencionan que la innovación se puede promover y desarrollar aprovechando el entorno de cada empresa, es decir, desde el exterior por medio de factores dinámicos, donde la tecnología, el conocimiento y el negocio-mercado son los responsables de su desarrollo, y desde el interior por los denominados factores de transferencia, siendo el factor humano, la estructura y cultura organizacional sus componentes principales.

Finalmente, desde el punto de vista de desarrollo sustentable, éste debe ser orientado a cuatro dimensiones principales: la ambiental, promoviendo la fabricación de productos y procesos que no afecten medio ambiente, mediante la prevención de la contaminación y la gestión eficiente de recursos naturales; la social, en la búsqueda del bienestar social de las personas y de su ambiente personal; económica, promoviendo las inversiones verdes, tanto en tecnología como en procesos; e institucional, fomentando una cultura sustentable que se practique como parte de la vida cotidiana laboral y personal (Carro *et al.*, 2017).

Bajo este esquema empresarial (competitividad, innovación y sustentabilidad), Cerámica 4.0 construye nuevas oportunidades de desarrollo que empresas alrededor del mundo han empezado a adoptar bajo los siguientes enfoques:

Implementación de la robótica y equipos autónomos

Modernizar áreas específicas de una planta de producción mediante la introducción de procesos automatizados y robótica mejora la flexibilidad y eficiencia terminal. Operaciones como la manipulación y carga de productos por medio de personas se ha vuelto un proceso obsoleto, antieconómi-

co y riesgoso para la salud de los trabajadores, por lo que la implementación de sistemas robóticos para automatizar estas actividades ha convertido a las líneas de producción en lugares más seguros y eficientes, logrando incluso una mejor gestión de carga para garantizar movimientos más precisos y confiables (Marcheluzzo, 2023). Un ejemplo muy claro es el trabajo de almacenamiento inteligente y autónomo por medio de dispositivos móviles dotados de sistemas digitales de localización en tiempo real, sensores industriales para la autoidentificación del producto y navegadores gráficos 3D que garantizan una trazabilidad total y sin errores de desplazamiento y control. Las versiones más recientes han aprovechado el crecimiento exponencial de las tecnologías digitales para mejorar las técnicas de geolocalización agregando nuevos y mejores componentes (GPS, cámaras, láser, Wifi), mejorando también la manipulación y trazabilidad de los productos (palets enteros, productos no paletizados, cajas), haciendo más eficiente las salidas de cada línea de producción hasta el almacenamiento, preparación de productos vendidos y finalmente, el envío al cliente (Intellimag, 2020).

Eficiencia energética y ahorro de energía

Actualmente, más de un tercio de la energía que consume el sector cerámico se deshecha o disipa en forma de calor. Aunado a esto, el alza en el costo de los combustibles fósiles, el cambio climático y la poca inversión en fuentes de energía limpia se vuelve muy relevantes económicamente (Eco-Tech, 2022). Por lo que la eficiencia energética, el reciclaje más eficiente de residuos y la reducción de emisiones de CO₂ se han convertido en las prioridades principales que las empresas y la sociedad deben atender. Adoptar verdaderamente una economía circular se ha convertido en un tema fundamental bajo un nuevo principio: considerar la reutilización de equipos existentes pero marcados como obsoletos. La sustentabilidad económica de las inversiones requiere que la industria en general rescate en lo posible sus equipos existentes implementando tecnología que les permita actualizar la maquinaria que ya no se ajusta a las demandas del mercado e integrarlas nuevamente de forma fluida y sostenible a su entorno productivo, dando como resultados el ahorro tanto en gastos de operación como en inversiones

iniciales (Marcheluzzo, 2023). Cerámica 4.0 hace referencia a que ya no es posible imaginar una actividad industrial que no considere a la sustentabilidad. Para ser competitivos, todo proceso de fabricación debe considerar el conservar los recursos energéticos, reciclar materias primas para reducir residuos y consumos no necesarios, y adoptar tecnologías limpias que no afecten el medio ambiente (System Ceramic, 2022). Dada esta situación, mejorar la eficiencia energética será determinante para que la maquinaria térmica (secadores y hornos) alcance mejores niveles de rendimiento durante su proceso como parte de una solución que permita ahorrar energía al recuperar el poder calorífico producido en el interior de estos equipos durante las etapas de secado y cocción. Esto es posible gracias al resultado del modelado virtual y simulación 3D del sistema de control individual de las energías involucradas mediante el control avanzado de volúmenes y temperaturas al interior de los canales de secado y cocción (ICF-Welko, 2017).

Análisis y diseño mediante entornos virtuales

Las nuevas tecnologías digitales permiten el modelado de diseños que prácticamente cobran vida con tecnología 3D y entornos virtuales. La incorporación del modelado 3D permite perfeccionar nuevos modelos de recubrimiento cerámico para diseñar modelos virtuales, permitiendo simular su apariencia, su fabricación y su comportamiento mecánico. Esta tecnología ha empezado a aplicarse para perfeccionar el diseño de moldes, cabezales de extracción y moldes madre considerando los requisitos de producción especificados por cada cliente. Esto es posible gracias a software de diseño de alta precisión que utiliza técnicas matemáticas como el Método del Elemento Finito (MEF) para calcular y optimizar parámetros físicos, como lo es el reducir peso o aumentar la resistencia mecánica (Franz-Banke, 2023). La aplicación de software que realice funciones de visión general hasta el control integrado de los flujos de producción mejorará la eficiencia de la fabricación, desarrollando un nuevo ecosistema que interconecta tecnología, personas y procesos mediante el diseño de configuraciones a la medida, optimizando costos económicos y medioambientales, definiendo lo que hoy es reconocido como una fábrica inteligente. Implementando funciones avan-

zadas de sistemas de ejecución manufacturera (MES, por sus siglas en inglés) se vinculan las tecnologías de la información y de tecnología operativa de la planta para ofrecer a los operadores un excelente control de acceso, lo que les permite monitorear mediante dispositivos fijos o móviles todos los datos principales de la planta mediante el cálculo de indicadores clave de rendimiento (KPI's, por sus siglas en inglés), permitiendo la identificación en tiempo real de las causas de cualquier problema que se presente en las línea de producción (Sacmi, 2020). Aplicando software de última generación, diversas empresas estudian y analizan mediante entornos virtuales los recorridos y flujos fluidodinámicos al interior de hornos, secadores e intercambiadores de calor, identificando zonas críticas, lo que permite mejorar el diseño interno de las máquinas, logrando un nivel de eficiencia energética muy alto (Poppi-Clementino, 2023). De esta forma se optimiza el comportamiento y funcionamiento de la maquinaria permitiendo realizar mejoras que se pueden aplicar secuencialmente, sin afectar la calidad de la producción (ICF-Welko, 2017). La aplicación de sofisticados software de gestión permiten hoy en día, un mejor procesamiento de datos de funcionamiento de la planta en tiempo real, la comparación de trabajo real con el óptimo, la programación de las intervenciones necesarias de mantenimiento, el historial de trabajo de la maquinaria y el estado de eficiencia de la planta (Puccini, 2017).

Implementación de tecnologías digitales

Nuevas innovaciones en el área de esmaltado han revolucionado aspectos tan simples como lo es el esmaltado, la decoración y los acabados. La decoración digital se ha potencializado gracias al desarrollo exponencial de la informática (Internet de las cosas, big data y la nube). Hoy es posible realizar esmaltados muy detallados controlando el caudal de esmalte y sus métodos de aplicación. Además, las tecnologías digitales mejoran la coordinación del proceso de impresión entre máquinas ubicadas en diferentes puntos de las líneas de producción. Gracias a sistemas coordinados de adquisición de datos, sensores, conectividad vía internet y sistemas de seguimiento en tiempo real mediante dispositivos de visión avanzada es posible

detectar problemas en la línea (como el incorrecto posicionamiento de piezas) reduciendo en gran proporción los paros no deseados, el consumo de energía y el desperdicio de materia prima. Gracias a la interconexión entre máquinas, las impresoras digitales reciben instrucciones precisas y coordinan sus aplicaciones decorativas sincronizando operaciones, permitiendo al operador controlar todo tipo de combinaciones posibles en la línea de una forma sencilla y desde una única ubicación sin tener que ajustar cada unidad de forma individual (Genya, 2022). El uso integrado de aplicaciones de IoT para mantenimiento y otras operaciones da como resultado una mayor vida útil de los equipos, mayor productividad, optimización, competitividad, y creación y desarrollo de nuevos servicios avanzados. Por medio de Cerámica 4.0, las empresas ahora pueden ofrecer a sus clientes maquinaria cada vez más inteligente con la facilidad de interconectarse entre sí. Impulsados por el IoT es posible procesar paquetes de mantenimiento preventivo basados en sistemas de aprendizaje automático gracias a la recopilación de datos (big data) clave para plantas y maquinaria. Ésta es la principal característica que está impactando en tres grandes actores del sector industrial: cliente, servicios e ingeniería, ya que mediante el apoyo de algoritmos analíticos, estas nuevas tecnologías digitales permiten ofrecer programas de mantenimiento preventivo capaces de reducir los paros de línea no deseados y recortar costos de mantenimiento (Marino, 2017).

Maquinaria y procesos más eficientes y sustentables

En complemento a lo integrado por Cerámica 4.0, se han desarrollado nuevos procesos innovadores enfocados hacia una eficiencia y sustentabilidad integral. Nuevas innovaciones de control digital en el área de esmaltado han aprovechado la creación de tintas a base de agua para mejorar la productividad debido al ahorro de consumo de esmalte, lo que también permite reducir la huella ambiental al eliminar el proceso de pulverización. Mediante estos nuevos procesos se tiene el potencial de garantizar una mayor vida útil de la maquinaria con una menor necesidad de mantenimiento (System Ceramics, 2022). En el área de las materias primas y la preparación de polvos se han implementado controladores extremadamente precisos para al-

canzar un control óptimo del proceso y un comportamiento estable en las etapas posteriores. Los molinos continuos y de bolas ahora son máquinas automatizadas que destacan por la sencillez de operación, lo cual, permite al operador controlar fácilmente, todos los principales parámetros de la máquina y del producto. En la sección de secado por aspersión, el control digital de temperatura y tamaño de partícula permite una alta eficiencia terminal en la etapa de prensado. Los secadores y hornos son ahora máquinas más sencillas en su funcionamiento gracias al preciso control digital, resolviendo en gran medida problemas de antaño, como lo eran los problemas de tono, calibre y forma. Gracias a una completa integración digital, es posible monitorear, gestionar y controlar todas las líneas de producción como una sola unidad, desde el inicio del proceso hasta el control de producto terminado en el almacén (ICF-Welko, 2017). Finalmente, para la parte final de clasificación y empaquetado se han incorporado sistemas de visión para el control de calidad de grandes superficies cerámicas. Mediante dos cámaras digitales, una en blanco y negro y otra en color se visualizan las baldosas para permitir una inspección precisa de los defectos estructurales o decorativos. Estos nuevos sistemas de visión pueden examinar las texturas superficiales y sus decoraciones, y un dispositivo de posicionamiento micrométrico selecciona perfectamente el producto de acuerdo con el tamaño y el espesor. Este nuevo proceso de clasificación automática funciona sin la necesidad permanente de un operador, siendo un principio básico de Industria 4.0 y Cerámica 4.0 (System Ceramics, 2019).

Conclusiones

Desde su inicio, la Industria 4.0 ha impactado en diversos sectores industriales gracias a la integración de tecnologías digitales que están en constante evolución, siendo Cerámica 4.0 un buen representante de esta nueva ideología industrial. Hablando de competitividad, Cerámica 4.0 ha demostrado a las empresas la importancia de lograr una mayor sensación de valor para el cliente al hacer más eficientes sus procesos y más amigables con el medio ambiente, presentando una diferencia perceptible (en comparación con otros sectores) para la sociedad y para los consumidores. Lo que sigue

pendiente es seguir trabajando en mejorar la eficiencia energética, ya que el sector cerámico es uno de los sectores que más consumen recursos debido a la particularidad de sus procesos que requieren un gran consumo de gas y de agua.

Con respecto a innovación, desde hace décadas este sector se ha caracterizado por ser de los que más innovaban a nivel tecnológico. Hoy con Cerámica 4.0 se ha dado el paso para que el desarrollo de innovación ya no sea exclusivamente el uso de nueva tecnología. Ahora, la tecnología es el puente para pasar a otro tipo de innovaciones como lo es la innovación comercial, introduciendo nuevos métodos de diseño, el uso de espacios virtuales para diseñar nuevos productos con enfoque sustentable, así como la personalización de los mismos, innovaciones que pueden reducir en gran escala los costos de producción.

En el tema de desarrollo sustentable, Cerámica 4.0 ha promovido con su aportación que las empresas concentren sus esfuerzos en optimizar sus insumos, materia prima, reciclaje, recuperación de residuos, así como el reducir su consumo de agua y energía, por lo que el aprovechar las tecnologías digitales para diseñar procesos que reutilicen el calor desechado de la maquinaria térmica y reciclar el agua de las áreas de molienda y esmaltado es actualmente, la tendencia hacia el futuro próximo, considerando así, de forma inherente a la dimensión económica y ambiental de la sustentabilidad. Por otra parte, Cerámica 4.0 también ha venido a fortalecer dos aspectos importantes de la sustentabilidad social: mejorar la seguridad del personal mediante maquinaria autónoma que requiere poca intervención humana para su manejo y control, y en consecuencia, promover la necesidad de capacitar al personal sobre dichas tecnologías, lo que originará un mayor desarrollo personal y profesional de los trabajadores.

Finalmente, en la dimensión institucional de la sustentabilidad, Cerámica 4.0 representa a una naciente y renovada cultura organizacional, donde la misión, visión y valores institucionales ahora representan una nueva forma de vida laboral y personal que conviven abiertamente con el desarrollo tecnológico.

En el horizonte ya se visualizan los cambios tecnológicos que se vienen a futuro, y nuevas aplicaciones de tecnología que están tomando mayor relevancia (como lo es la Inteligencia Artificial). El sector cerámico ha defini-

do un rumbo específico con Cerámica 4.0, lo que le garantiza una competitividad permanente en el tiempo, una continua innovación y ante todo, una sustentabilidad más rentable y reconocida ante la sociedad del nuevo siglo.

Bibliografía

- Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos. (2018). *Líneas de innovación para el sector cerámico*. https://www.observatoriomercado.es/wp-content/uploads/Lineas_de_innovacion_para_el_sector_ceramico.pdf
- Baraldi, L. (2021). World production and consumption of ceramic tiles. *Ceramic World Review*, 31(153), 26-41.
- (2022). World production and consumption of ceramic tiles. *Ceramic World Review*, 32(148), 36-51.
- (2023). World production and consumption of ceramic tiles. *Ceramic World Review*, 33(153), 58-73.
- Carro, J., Reyes, B., Rosano, G. y Garnica, J. (2017). Modelo de desarrollo sustentable para la industria de recubrimientos cerámicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(1). 131-139. <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.12>
- , B., Garnica, J. y Rosano, G. (2017). Modelo del proceso de innovación mediante factores dinámicos y de transferencia. *Conciencia Tecnológica*, 1(53), 2-20.
- Carro, J. y Sarmiento, S. (2022). El factor humano y su rol en la transición a Industria 5.0: una revisión sistemática y perspectivas futuras. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 10(24), 1-19. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.81727>
- Ceramic World Web (2021). *World production and consumption of ceramic tiles (2021)*. <https://ceramicworldweb.com/en/economics-and-markets/world-production-and-consumption-ceramic-tiles-2021>
- (2022). *World production and consumption of ceramic tiles (2022)*. <https://ceramicworldweb.com/en/economics-and-markets/world-production-and-consumption-ceramic-tiles-2022>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2020). *Sectores y empresas frente al COVID-19: emergencia y reactivación*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/96d52d67-9907-4af8-b115-b613046f0ffe/content>
- De Luna, T. (2021). Covid favorece ventas de pisos y azulejos. *Milenio*. <https://www.milenio.com/negocios/ceramica-confinamiento-impulsa-venta-pisos-azulejos>
- De Paula, W., Armellini, F. y De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149(1), 106868. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106868>
- Digit-S. (2019). *Cerámica 4.0 Herramientas para la transformación digital del sector cerámico*. <https://digit-s.com/ceramica-4-0/>
- Eco-Tech (2022). Turning waste heat into clean energy. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/turning-waste-heat-clean-energy>

- Franz-Banke (2023). From the product to tailor-made technology. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/franz-banke-product-tailor-made-technology>
- Forbes México (2021). Industria de la cerámica prevé crecimiento de 4% en 2022. <https://www.forbes.com.mx/industria-de-la-ceramica-preve-crecimiento-de-4-en-2022/>
- Genya (2022). A step forward for collaborative full-digital technology. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/genya-step-forward-collaborative-full-digital-technology>
- Goldiez, R. (2023). Robots autónomos: Qué son y su uso en la Industria 4.0. <https://www.universal-robots.com/mx/blog/robots-aut%C3%B3nomos-qu%C3%A9-son-y-su-uso-en-la-industria-40/>
- ICF-Welko (2017). The ceramic factory 4.0. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/ceramic-factory-40-icf-welko>
- Intellimag (2020). The semi-automatic system for the management of ceramic warehouses and picking. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/intellimag-pro-tile40-semi-automatic-system-management-ceramic-warehouses-and-picking>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., Khan, S. y Suman, R. (2021). Blockchain technology applications for Industry 4.0: A literature-based review. *Blockchain: Research and Applications*, 2(04), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2021.100027>
- Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B. y Kao, H. (2013). Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manufacturing Letters*, 1(1), 38-41. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2013.09.005>
- López, G. (2020). Realidad virtual, ¿Cuál es su papel en la industria 4.0? <https://www.esi-group.com/blog/realidad-virtual-cual-es-su-papel-en-la-industria-4-0>
- León, E. D., Tesillo, C. M., Escobar, Y. A. y Godoy, L. A. (2022). Revisión de los avances y cambios en ciberseguridad en el Perú, para una transformación digital. *Revista Innovación y Software*, 3(2), 109-120.
- León, O. A. (2023). Impacto de las capacidades de análisis de big data en la innovación empresarial. *Ingeniería y Competitividad*, 25(2), 1-19. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i2.12611>
- Marcheluzzo (2023). Marcheluzzo upgrades Fornace Vizzolese's production line. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/marcheluzzo-upgrades-fornace-vizzoleses-production-line>
- Marino, L. (2017). The Service 4.0 plan by SITI B&T. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/service-40-plan-siti-bt>
- Mordor Intelligence. (2023). Tamaño del mercado de baldosas cerámicas en México y análisis de participación: tendencias y pronósticos de crecimiento (2023-2028). <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/mexico-ceramic-tiles-market>
- NexusIntegra. (2021). La transformación digital en la industria cerámica. <https://nexusintegra.io/es/transformacion-digital-industria-ceramica/>
- Peralta-Abarca, J., Martínez-Bahena, B. y Enríquez-Urbano, J. (2020). Industria 4.0. *inventio*, 16(39), 2-7. DOI: 10.30973/inventio/2020.16.39/4

- Poppi-Clementino (2023). New heat recovery solutions. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/new-heat-recovery-solutions>
- Porter, M. E. (2015). *Ventaja competitiva. Creación y sostenimiento de un desempeño superior*. México: Grupo Editorial Patria.
- Puccini, S. (2017). LB-Plus, integrated systems and services for an efficient factory. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/lb-plus-integrated-systems-and-services-efficient-factory>
- Sacmi (2020). Sacmi *HERE: A modular, scalable approach to digitalization*. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/sacmi-here-modular-scalable-approach-digitalization>
- Solleiro, J.L. (2022). *La industria 4.0 y los cambios en la política industrial*. *Ciencia*, 74(2), 56-61.
- Sothis (2021). Cerámica 4.0: la transformación de la industria cerámica. <https://www.sothis.tech/ceramica-40-la-transformacion-de-la-industria-ceramica/>
- Spanish Ceramic Technology (2018). MACER presenta el Molde 4.0 en CEVISAMA. <https://spanishceramictechnology.com/macer-presenta-el-molde-4-0-en-cevisama/>
- (2021). Valentia Ceramics se lanza a la “Cerámica 4.0” de la mano de Digit-S. <https://spanishceramictechnology.com/valentia-ceramics-se-lanza-a-la-ceramica-4-0-de-la-mano-de-digit-s/>
- (2022). Eurocerámica Colombia automatiza por completo su final de línea con Innova Group. <https://spanishceramictechnology.com/euroceramica-colombia-automatiza-por-completo-su-final-de-linea-con-innova-group/>
- System Ceramics (2019). Advanced technologies for tile sorting and packaging. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/advanced-technologies-tile-sorting-and-packaging>
- (2022). Sustainability takes center stage. <https://www.ceramicworldweb.com/index.php/en/technology/system-ceramics-tecna-22-sustainability-takes-centre-stage>
- Veral, S. (2019). Ventajas Industria 4.0: qué es y cómo puede ayudar a tu empresa. Spanish Ceramic Technology. <https://spanishceramictechnology.com/ventajas-industria-4-0-que-es-y-como-puede-ayudar-a-tu-empresa/>