

Estrategias de sostenibilidad para la mayor competitividad en la industria cementera de México

P. Angulo^{1*}, C. Ochoa¹

*Autor de Contacto: tapy_angulo@hotmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i2.637>

Recibido: 06/09/2022 | Correcciones recibidas: 11/04/2023 | Aceptado: 14/04/2023 | Publicado: 01/05/2023

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es identificar y discutir las estrategias sostenibles más ecoeficientes para aprovechar o reducir emisiones de NO_x, SO_x y polvos de SiO₂ en la fabricación de cemento, con el objetivo de mejorar la competitividad en la industria cementera de México. El diseño de investigación fue cualitativo, observacional y deductivo. Los resultados mostraron que los biorreactores de residuos de SO_x tienen mayor ecoeficiencia; seguido de los domos para capturar y aprovechar el SiO₂ y los filtros de mangas. Estas estrategias son efectivas para contaminantes específicos derivados de la producción de cemento. Este estudio indaga en un tema escasamente abordado en México, la sostenibilidad del cemento. Al aplicar estas estrategias, el sector cementero mexicano impulsaría su competitividad empresarial.

Palabras clave: competitividad empresarial; indicadores de competitividad; sostenibilidad; industria cementera.

Citar como: Angulo, P., Ochoa, C. (2023), “Estrategias de sostenibilidad para la mayor competitividad en la industria cementera de México”, Revista ALCONPAT, 13 (2), pp. 254 – 270, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i2.637>

¹ Fundación Universitaria Iberoamericana, Ciudad de México, México.

Contribución de cada autor

En este trabajo, la autora Patricia Angulo contribuyó con la idea original, la recolección de datos y la escritura del artículo. El autor Carlos Ochoa contribuyó con el planteamiento metodológico, la discusión de resultados y la revisión del documento.

Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2023) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2024 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2023.

Sustainability strategies for greater competitiveness in the cement industry of Mexico

ABSTRACT

The objective of this research is to identify and discuss the most eco-efficient sustainable strategies to take advantage of or reduce emissions of NO_x, SO_x and SiO₂ dust in cement manufacturing, with the aim of improving competitiveness in the Mexican cement industry. The research design was qualitative, observational and deductive. The results showed that SO_x waste bioreactors have greater eco-efficiency, followed by domes to capture and use SiO₂ and baghouses. These strategies are effective for specific pollutants derived from cement production. This study explores a topic that has been scarcely addressed in Mexico, cement sustainability. By applying these strategies, the Mexican cement sector would boost its business competitiveness.

Keywords: business competitiveness; competitiveness indicators; sustainability; cement industry.

Estratégias de sustentabilidade para maior competitividade na indústria cimenteira do México

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é identificar e discutir as estratégias sustentáveis mais ecoeficientes para aproveitar ou reduzir as emissões de poeiras de NO_x, SO_x e SiO₂ na fabricação de cimento, com o objetivo de melhorar a competitividade da indústria cimenteira no México. Seguiu-se um desenho de pesquisa qualitativa, observacional e dedutiva. Os resultados mostraram que os biorreatores de resíduos de SO_x têm maior ecoeficiência; seguido por cúpulas para capturar e aproveitar SiO₂ e filtros de mangas. Estas estratégias são eficazes para contaminantes específicos derivados da produção de cimento. Este estudo investiga um tema raramente abordado no México, a sustentabilidade do cimento. Ao aplicar estas estratégias, o sector do cimento mexicano aumentaria a sua competitividade empresarial.

Palavras-chave: competitividade empresarial; indicadores de competitividade; sustentabilidade; indústria de cimento.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

1. INTRODUCCIÓN

Una competitividad alineada a regímenes de sostenibilidad ambiental garantiza a toda organización empresarial el éxito productivo, una economía estable, la sobrevida empresarial y permite que adopte las transformaciones que exigen los cambios del mundo globalizado. La innovación científica y el desarrollo tecnológico aportan las herramientas y los medios necesarios para el diseño de mejores estrategias productivas y ecoeficientes, así como para una toma de decisiones más objetiva (Jaramillo, 2017).

Este estudio se enfoca en la industria del cemento, un sector que libera al medio ambiente una gran cantidad de gases con efecto invernadero y otros compuestos contaminantes. Esta situación representa un reto importante que debe ser resuelto para garantizar la salud de las generaciones futuras (León-Velez y Guillén-Mena, 2020; Rodgers, 2018; Kumar, 2018). En este contexto, desarrollar la competitividad empresarial en la industria cementera mexicana implica un análisis de la viabilidad y aplicabilidad de estrategias sostenibles y ecoeficientes en el proceso productivo del cemento. El estudio de estas estrategias puede reforzar el control de calidad en la fabricación de este material y brinda una mejor comprensión y dominio en temas como el medio ambiente, aspectos legales, ética, costos y gestión de seguridad en el sector de construcción. Además, los resultados observados en compañías cementeras internacionales y algunas locales pueden contribuir a mejorar el uso y preservación de los recursos con los que cuenta la industria cementera mexicana.

1.1 La competitividad empresarial desde un enfoque sostenible

La competitividad empresarial busca lograr una mayor estabilidad, mayor competencia en el mercado y una productividad basada en procesos sostenibles, garantizando así la vida de una empresa a largo plazo. La adopción de estrategias productivas más ecoeficientes va en línea con las prerrogativas que enmarca la Agenda 2030 para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), propuesta por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el año 2016 (Rivera-Hernández et. al., 2018; ONU, 2018). La sostenibilidad refiere al uso adecuado, desarrollo y recuperación de todos los recursos tangibles e intangibles, materiales y naturales con los que cuenta una organización empresarial o industrial, permitiendo así su estabilidad y productividad a largo plazo (Roy, 2021). En este punto es importante no confundir los conceptos de sustentabilidad y sostenibilidad. El primero aborda el cuidado y uso de los recursos naturales, mientras que el segundo refiere al desarrollo relacionado con el cuidado al medio ambiente (Rivera-Hernández et.al., Ruggerio, 2021).

Los ODS que se relacionan de forma directa con un sector industrial sostenible son una producción y consumo responsables, acción por el clima, preservación de la vida submarina y ecosistemas terrestres, agua limpia y saneamiento, así como el acceso a energía no contaminante. Estos ODS están ligados al desarrollo humano comunitario a nivel local, regional y global. Además, confluyen con la sustentabilidad ambiental de tal forma que promueven un óptimo desarrollo y salud comunitarios (ONU, 2018; Balanzátegui et.al., 2019; The Cement Sustainability Initiative o CSI, 2019).

La evidencia muestra que un corporativo industrial puede mejorar su desarrollo, reputación social, imagen empresarial y genera rendimientos económicos a largo plazo cuando opera bajo los términos reales de sostenibilidad, Responsabilidad Social Corporativa (RSC) y Responsabilidad Medio Ambiental Corporativa (RMAC); sobre todo si sus acciones sobrepasan los intereses y obligaciones legales (González y Cuesta, 2018). El proceso general que conlleva al desarrollo de una mayor competitividad empresarial en términos sostenibles implica:

- identificar objetivos y metas adecuadas a las características de cada organización;
- definir los planes estratégicos de acción;

- generar un sistema de indicadores que muestren la información derivada de la actividad empresarial
- aplicar evaluaciones de su comportamiento.

Es preciso señalar que el diseño de las estrategias y acciones es diferente en cada compañía, porque depende de los resultados de un diagnóstico previo que muestre sus deficiencias, potencialidades, recursos, etcétera (Vega, 2017). Bajo esta sintonía de ideas, la reutilización de los residuos industriales como materia prima en los procesos productivos o la innovación productiva basada en otras estrategias ecoeficientes, son acciones que fortalecen la RMAC de cualquier industria. La experiencia muestra que su implementación reduce los costos productivos y la emisión de gases y demás compuestos contaminantes (Bravo y Arroyo, 2018; Pérez et.al., 2016; Lin et.al, 2017).

1.2 Indicadores de competitividad aplicables en la industria cementera

Tanto el desempeño productivo como el económico son indicadores básicos de competitividad en la industria del cemento. Pérez et.al. (2013) propusieron otros indicadores potenciales que pueden abordarse desde el nivel organizacional y que impulsan en mayor medida la competitividad empresarial en este sector, como:

- Participación en el mercado mundial y una buena posición internacional. Genera mayor crecimiento e integración del propio mercado.
- Desarrollo de RSC y RMAC. Maximiza las funciones y mejora la imagen corporativa.
- Competitividad en precios. Impulsa precios atractivos para el mercado.
- Competitividad tecnológica. Aumenta la productividad mediante la oferta de productos diferenciados.
- Competitividad auténtica o genuina. Incrementa la calidad y la eficiencia productiva mediante el aprovechamiento de economías de escala y diferenciación de productos.
- Competitividad espuria. Genera un sistema de industrialización protegida, reduce la competencia local excesiva y conduce a la estabilidad financiera. Además, permite a las empresas contar con subsidios gubernamentales que tienen su origen en la devaluación de la moneda y la depresión de salarios.

Autores como López (2018) y el grupo Ciudades del Futuro de Siemens (2018) señalan que la innovación tecnológica también contribuye a mejorar la eficiencia productiva y el procesamiento de datos de forma masiva. Estas innovaciones incluyen el uso de drones, sistemas informáticos y automatizados con funciones en tiempo real, adopción del internet de las cosas y del mantenimiento 4.0 y el uso de materiales avanzados. De igual forma, las tecnologías con enfoque ecológico industrial minimizan la emisión de gases residuales y conducen a un menor consumo de energías renovables. Por su parte, la CSI, que aglutina empresas de todo el mundo, establece prácticas e indicadores de desempeño para el desarrollo sustentable en rubros como seguridad, protección del clima, emisiones al aire, uso de combustibles y materias primas, comunicaciones e impactos locales en la tierra y las comunidades. (CSI, 2012).

En síntesis, la implementación de estrategias sustentables y ecoeficientes en la producción de cemento es una necesidad para la industria a nivel mundial, ya que contribuyen a reducir su efecto nocivo al medio ambiente e impulsan la competitividad de las empresas. Por estas razones, en esta investigación se busca identificar las estrategias sostenibles más ecoeficientes para aprovechar o reducir la emisión de NO_x, SO_x y polvos de SiO₂ en la fabricación de cemento, a fin de mejorar la competitividad de la industria cementera mexicana.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La aplicación de estrategias tecnológicas focalizadas en el cuidado y preservación del medio ambiente es actualmente una prerrogativa casi obligatoria en todo el sector productivo empresarial,

porque beneficia en gran medida su competitividad tecnológica e innovadora, además de que su aplicación va en línea con los ODS de la ONU (2018).

La competitividad empresarial en la industria cementera se ve reflejada no solamente en su desempeño económico y nivel de competencia en el mercado, sino también en sus resultados sobre la emisión de residuos contaminantes. En este sentido, las tecnologías adoptadas con el fin de disminuir la emisión de gases de óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógenos (NO_x) y polvos de SiO_2 pueden contribuir a mejorar su competitividad empresarial, sobre todo porque es el sector industrial que más contamina y daña al medio ambiente.

El cemento tipo Portland, mejor conocido como “cemento gris”, se compone principalmente de un polvo fino o *clínker* que contiene compuestos como silicatos de calcio y aluminatos de calcio que, al mezclarse con agua, se fraguan y endurecen a temperatura ambiente o bajo el agua. Los diferentes tipos de cemento varían en su formulación dependiendo del uso que se les dará y la resistencia que se desea obtener (Sanjuán y Chinchón, 2014).

La producción industrial de cemento incluye las fases de cocción y enfriamiento que destacan por sus implicaciones ecológicas adversas durante la quema de combustibles de origen natural como carbón, coque de petróleo, fuelóleo pesado, entre otros. La transformación química que origina el *clínker* recibe el nombre de descarbonatación y consiste en la descomposición del carbonato de calcio (CaCO_3) a $900\text{ }^\circ\text{C}$. Esta reacción produce óxido de calcio (CO) y libera cantidades importantes de bióxido de carbono (CO_2). Además, el CO reacciona con los polvos de SiO_2 , con la alúmina u óxido de aluminio (Al_2O_3) y con el óxido de hierro (Fe_2O_3) a altas temperaturas, formando compuestos que dañan el medio ambiente como los silicatos, aluminatos y ferritos de calcio; todos, elementos formadores del *clínker* (Sanjuán y Chinchón, 2014; Ashby, 2024).

El enfriamiento del *clínker* también tiene consecuencias ambientales adversas (León-Velez y Guillén-Mena, 2020; Sanjuán y Chinchón, 2014), ya que durante esta fase se usan ventiladores eléctricos que generan un desperdicio secundario de aire-energía, que se liberan a una temperatura de $800\text{ }^\circ\text{C}$. Durante el enfriamiento también se emiten a la atmósfera gases contaminantes, principalmente CO, monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de azufre (SO_2). Estos gases se liberan sobre todo cuando no se cuenta con un mecanismo adecuado para su tratamiento.

Según datos recientes, la industria del cemento consume el 40% de la energía primaria del planeta, aproximadamente. Este porcentaje se debe al alto uso que hace del petróleo, gas natural, carbón, biomasa, viento y radiación solar. Esta industria también consume el 60% de la materia prima extraída de la litósfera terrestre (silicatos, corteza y manto terrestre) y produce 5% a 8% de las emisiones globales de CO_2 (León-Velez y Guillén-Mena, 2020; Rodgers, 2018).

Un estudio realizado por la Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos durante los años de 2010 a 2017, trató la relación que existe entre la cantidad de cemento producido y el total de emisiones de CO_2 . Sus resultados mostraron que China es el mayor productor de cemento y, consecuentemente, de las emisiones de CO_2 a nivel mundial; detrás se ubican la India, la Unión Europea, Estados Unidos, Vietnam, Turquía, Egipto y otros países productores (Rodgers, 2018).

Por otro lado, y de acuerdo con varios estudios del año 2020 realizados por la Global Cement and Concrete Association (GCCA), el cemento es el material que más se consume en el mundo y, consecuentemente, su proceso productivo es el que genera mayor emisión de CO_2 (alrededor de unas 150 toneladas por segundo); asimismo, estos estudios mostraron que se utiliza un total de 14,000 millones de m^3 de hormigón al año (France 24, 2021).

Como puede observarse, los daños ambientales generados por la producción masiva de cemento representan un obstáculo para fortalecer la competitividad empresarial de este sector, sobre todo porque sus efectos ambientales transgreden los ODS (ONU, 2018). Por eso, no es posible considerarlo como un sector sostenible en términos reales.

Al margen del compromiso de reducir los estragos del cambio climático que han adoptado los líderes de la industria cementera, es necesario que cada compañía aplique estrategias ecoeficientes

que conduzcan a la transformación de sus procesos productivos y evidencien la disminución de sus emisiones contaminantes, mediante evaluaciones respaldadas en evidencia científica (Rodgers, 2018).

La aplicación de modelos sistemáticos para evaluar las emisiones contaminantes antes, durante y después de la aplicación de estrategias sostenibles, representa un marco de referencia objetivo que va más allá de un discurso comprometido. En opinión de algunos expertos, esta vía destaca como principal herramienta para una estimación real de los escenarios posibles. Esto contribuye a una toma de decisiones basada en los resultados que arroja la evidencia científica, la cual conduce a diseñar alternativas viables de solución y se orienta hacia mejores acciones futuras (Gessa, 2016).

2.1 Contexto del problema en México

En México la industria del cemento es fuerte, altamente productiva y rentable, ya que aporta el 1% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional. De acuerdo con datos de 2018 de la International Trade Center, esta industria se encontraba en el primer lugar como comercializador de cemento en América Latina; en el lugar 19 como exportador de cemento a nivel mundial y ocupaba el lugar 22 como importador de este producto. Sin embargo, datos más recientes del año 2020 revelaron que actualmente la industria mexicana del cemento ocupa el segundo lugar en América Latina debido a la competencia de la industria cementera china (Clavijo y Guevara, 2020; Aguilar, 2019; Martínez y Alexandre, 2020).

De acuerdo con la Cámara Nacional del Cemento (2020), la industria cementera mexicana se conforma por las compañías Grupo Cemex, Grupos de Cemento Chihuahua (GCC), CYCNA, Cemento y Concreto Moctezuma, Holcim Cementera, Cementos fortaleza y Cementos Cruz Azul. Estas compañías conforman la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM). Según este organismo, el sector cementero produce un total de 40 millones de toneladas de cemento al año y genera más de 170 mil empleos directos e indirectos en el país. Algunas de estas empresas han adoptado las siguientes estrategias para reducir sus emisiones contaminantes:

- Grupo Cemex. Implementación de un modelo de sustentabilidad en sus operaciones que incluye infraestructura energéticamente sustentable (Grupo Cemex, 2021).
- GCC. Fomento de la responsabilidad ambiental y protección del clima para la sustentabilidad económica (GCC, 2023).
- Cemento y Concreto Moctezuma. Desarrollo de tecnología y modernización de las plantas cementeras para reducir los impactos ambientales (Cemento y Concreto Moctezuma, s. f.).
- Cementos Cruz Azul. En algunas de sus plantas se tiene sistemas de tratamiento de agua y de captación de lluvia para ser utilizada. También utilizan fuentes alternativas de energía, en específico biomasa obtenida a través del nopal (Cooperativa la Cruz Azul, 2016).

En 2020 la CANACEM reportó que para mejorar el RSC este sector busca una mejor gestión del coprocesamiento o incineración de los residuos sólidos urbanos provenientes de diversos estados de la república mexicana, como Colima, Baja California Sur, Ciudad de México, Michoacán, Nayarit, Quintana Roo y Sinaloa. Para ello, esta organización interviene mediante la instalación de centros de transferencia, recepción, separación, trituración, compactación, compostaje y biodigestión de los residuos; además los somete a un adecuado tratamiento e inclusión en la producción industrial del cemento (Cámara Nacional del Cemento, 2020).

Aún con la implementación de estas medidas, no es posible afirmar que el sector cementero mexicano sea una industria sustentable ya que muestra claras deficiencias para mostrar científicamente la ecoeficiencia de sus procesos productivos. Por ejemplo, entre las compañías mexicanas, solamente CEMEX ha reportado la reducción de un 30% de su huella de carbono en sus procesos productivos, también afirmó haber reducido a un 10.2% el consumo de agua en los últimos 10 años (García-Muñoz y Pérez-Sánchez, 2020). Al respecto, es preciso enfatizar que dichos datos carecen de información clara sobre el modelo de evaluación que los respalda.

Si bien empresas como CEMEX y cementos Cruz Azul han implementado infinidad de acciones estratégicas que dan muestra de su intención por alinearse a los objetivos de la agenda 2030 de la ONU (García-Muñoz y Pérez-Sánchez, 2020), no existen datos que sustenten a cabalidad sus resultados. Como puede observarse, la industria cementera mexicana necesita mostrar de forma más sistemática la ecoeficiencia en la implementación de sus estrategias sostenibles (León-Velez y Guillén-Mena, 2020).

En este contexto, la evidencia científica internacional y nacional muestra que la aplicación de análisis ecoeficientes permite cuantificar el impacto ambiental de la producción de cemento, sobre todo cuando se busca aprovechar la sustitución de materia prima para el ahorro en recursos naturales no renovables, tales como combustible y agua; o bien, si se desea el aprovechamiento de residuos propios del proceso productivo con el fin de reducir la emisión de gases contaminantes (Pérez et.al., 2013; Sanjuán y Chinchón, 2014; Ruiz et.al., 2017).

Como se mencionó anteriormente, durante el proceso productivo del cemento no solamente se libera CO₂ a la atmósfera, sino también gases NO_x, SO_x y polvos de SiO₂, entre otros contaminantes (Kumar, 2018; SEMARNAT, s. f.; Cooperativa la Cruz Azul, s.f.). Los gases NO_x y SO_x merman la calidad de aire y contribuyen al efecto invernadero. Por otro lado, los polvos de SiO₂ representan un importante riesgo a la salud pulmonar de los trabajadores al interior de una planta productora de cemento.

En México no existen estudios que muestren científicamente la ecoeficiencia de las estrategias sostenibles aplicadas a las emisiones residuales de gases SO_x y NO_x y de polvos SiO₂ del proceso productivo del cemento. Aunque algunas empresas como CEMEX y Cementos Cruz Azul afirman aplicar estrategias que parecen alinearse con los ODS de la Agenda 2030 de la ONU. Con la presente investigación se pretende conocer estas estrategias que, además, permitan mejorar la competitividad empresarial del sector cementero.

3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Se utilizó un diseño de investigación de corte cualitativo-observacional-deductivo (Hernández et.al., 2014), junto con la aplicación de estrategias de investigación como la búsqueda y selección de información, análisis documental e interpretación de datos.

La búsqueda de literatura se realizó a través de plataformas *online* de investigación científica como Redalyc, Dialnet, Google Scholar y Scielo, usando palabras clave como “gases y producción de cemento”, “gases efecto invernadero”, “producción sustentable de cemento”, “aprovechamiento de residuos industriales”, entre otras. Se seleccionó un aproximado de 35 documentos entre artículos de revistas indexadas y académicas escritas principalmente en español e inglés.

El análisis documental consistió en identificar conceptos clave e ideas innovadoras sobre métodos y análisis de los procesos de interés. La visualización de las soluciones viables a la problemática planteada se basó en el hallazgo de nuevos datos para el contexto mexicano. Entre las principales herramientas de análisis documental que se usaron se encuentran:

- clasificación de la literatura que conforma el estado del arte del problema abordado,
- elaboración de tablas informativas,
- construcción de esquemas, diagramas o mapas conceptuales,
- elaboración de fichas de estudio, entre otras (Hernández et.al., 2014).

La interpretación de los datos de estudios de diseño cualitativo consistió en un “aislamiento de porciones de discursos” (Schettini y Cortazzo, 2015), es decir, en una selección particular de información que los investigadores realizaron mediante la inferencia de algunos aspectos de su investigación. Durante este procedimiento influyen no solamente la hipótesis y los objetivos, sino también el mundo sociocultural, la intuición y la experiencia de vida de quien interpreta.

4. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y PROPUESTA

4.1 Resultados

Con base en la revisión bibliográfica del presente estudio, se identificó que durante el procesamiento base del cemento se suceden un sinnúmero de reacciones químicas, como las de tipo exotérmicas, llamadas así porque liberan energía en forma de calor, luz o sonido durante la formación del *clínker*. Estas reacciones son fuente de compuestos residuales como nitrógeno molecular (N₂), radical amino (NH₂) y agua (H₂O). La mayor cantidad de emisiones contaminantes de SO₂ se generan no solamente durante esta fase del proceso, sino también en la molienda, enfriamiento y empaquetado del producto terminado. El nivel máximo permisible en la emisión de este tipo de residuos es de alrededor de 400 mg/m³, que se mide de forma anual con el método de “infrarrojo no disperso NMX-AA-55-1979”, como lo estipula la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales en México (SEMARNAT, s. f.).

El SiO₂ es parte de la materia prima que se utiliza en la producción de cemento, aunque también puede liberarse como residuo durante este proceso e incluso en la fase de almacenamiento del cemento. El polvo generado de la producción del *clínker* es una mezcla de micro partículas de sílice + oxígeno + carbono + aluminio + calcio. Se ha observado que esta mezcla afecta la salud de los trabajadores al interior de una planta productora de cemento, ya que al aspirarla puede generar irritaciones en el tracto respiratorio y la piel. También puede ocasionar daños oculares graves. Dichos efectos se relacionan con el desarrollo de enfermedades crónicas como la silicosis, tuberculosis, cáncer de pulmón o enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (Kumar, 2018; Cobo y Estébanez, 2021).

Para reducir al máximo los residuos de NO_x, SO_x y SiO₂ durante el procesamiento industrial del cemento, se necesita considerar las propiedades químicas de la materia prima utilizada, la aplicación de estrategias ecoeficientes como la sustitución de combustibles fósiles, el diseño de sistemas para la captación de residuos, el uso de nanotecnología (Poudyal y Kushal, 2021) y otras estrategias que redunden en este objetivo, tanto a corto, mediano y largo plazo. En la Tabla 1 se analizan diversas estrategias que se han aplicado en México y otros países para reducir la emisión de estos residuos.

Tabla 1. Estrategias internacionales y nacionales para la reducción de NO_x, SO_x y polvos de SiO₂, derivados del proceso productivo del cemento

Autor, país y año	Objetivo	Estrategia para aprovechar o reducir la emisión de NO _x , SO _x y SiO ₂	Ecoeficiencia mostrada	Conclusiones
Comisión Europea, Europa, 2010	Mantener bajas las emisiones de residuos SO _x durante la fase de elaboración del <i>clínker</i> .	Mejores Técnicas Disponibles (MTD): 1.- Permite reducir los gases de combustión durante el precalentamiento y precalcificación del horno, mediante la adición de material absorbente o un depurador húmedo.	Valor medio diario de emisión obtenido de SO ₂ : <50 mg/Nm ³ , cuando el contenido de azufre en materia es de <0,10% mg/Nm ³ . 250-400 mg/Nm ³ , si el contenido de	Los márgenes de emisión dependen del contenido de azufre en la materia prima utilizada, por tanto, la estrategia estriba en seleccionar materia prima

Autor, país y año	Objetivo	Estrategia para aprovechar o reducir la emisión de NO _x , SO _x y SiO ₂	Ecoeficiencia mostrada	Conclusiones
		2.- Optimiza los procesos de molienda de materias primas para procesos en seco.	azufre es >0,25% mg/Nm ³ .	con las menores concentraciones de este químico.
CEMEX, México, 2012 y 2016. CSI, 2014.	Sustituir combustibles fósiles y gas con residuos sólidos urbanos u orgánicos, durante la cocción para la formación del <i>clinker</i> .	Aprovechamiento de desechos sólidos urbanos: llantas usadas, residuos solventes de desperdicio, aceites usados, entre otros. Aprovechamiento de residuos orgánicos: cascarilla de arroz, café, sedimentos de aguas residuales, entre otros.	CEMEX redujo su huella de carbono en un 22.7% en 2012, y en 2016 reportó que obtuvo el 26.6% de la energía de sus hornos de biomasa y residuos. No se encontraron datos sobre la eco-eficiencia de estas estrategias. Tampoco presentan resultados para residuos de NO _x , SO _x y SiO ₂ .	La publicación de datos sobre la ecoeficiencia de estas estrategias puede ayudar a sustentar la reducción de la huella de carbono.
Rocha et.al., Bolivia y Brasil, 2022.		Uso de energía y materia prima alternativa con un menor impacto ecológico.	El 85% del Clinker se fabricó con combustibles convencionales en 1990. En 2014, ese porcentaje se redujo a 23%.	
Sagástegui, Perú, 2012.	Captar la mezcla de polvos fugitivos en una planta productora de cemento.	Instalación de domos de captación de polvos fugitivos. Estos domos cuentan con un sistema de filtrado de aire desde el exterior que ayuda a reducir al máximo la emisión de polvo fugitivo. Se instalan sobre los almacenamientos	<ul style="list-style-type: none"> • Beneficia directamente la salud de los trabajadores. <ul style="list-style-type: none"> • Su mantenimiento no tiene costos excesivos. 	Las micro partículas de SiO ₂ no tiene un efecto medio ambiental importante, pero sí pueden dañar la salud de quienes aspiran sus polvos. Por esta razón, también

Autor, país y año	Objetivo	Estrategia para aprovechar o reducir la emisión de NO _x , SO _x y SiO ₂	Ecoeficiencia mostrada	Conclusiones
		temporales o en la cancha del <i>clínker</i> .		se recomienda que los trabajadores usen equipo de protección especial con mascarilla.
Sanjuán y Chinchón, España, 2014	Reducir las partículas de polvo y gases contaminantes emitidos por fuentes localizadas.	Uso de precipitador electrostático o filtros de mangas Absorbentes de SO ₂ . Se aplican en hornos por vía seca.	Generalmente se producen emisiones <50 mg/Nm ³ .	Tanto el precipitador como los filtros de mangas funcionan en puntos de carga, descarga y transporte. Han mostrado reducir gases NO _x y SO _x .
Feijoó et.al., Cuba, 2016. CSI, 2012.	Realizar un balance de las principales reacciones químicas que sufre el azufre durante el procesado del cemento.	Sistema de monitorización química estequiométrica. Se basa en el cálculo de la masa molar del azufre y sus reacciones químicas.	Detecta valores de referencia estándar de SO ₃ y Na ₂ O, necesarios para que el procesado de cemento ocurra de forma óptima.	Este sistema permite saber cuándo se deben aplicar estrategias para evitar anillos de azufre en el horno.
Veana et al., México, 2019.	Producir bioenergía en forma de biogás metano puro.	Biorreactor que procesa residuos agroindustriales. Produce una interacción bioquímica de compuestos orgánicos con contenidos de biometano + dióxido de carbono + vapor de agua + hidrógeno + sulfuro de hidrógeno.	Se basa en reacciones bioquímicas de bacterias quimiolitotróficas, cuyo procesamiento garantiza una menor emisión de gases y residuos contaminantes.	Este biorreactor destaca por su doble funcionalidad en el proceso productivo del cemento. Por un lado, permite procesar los residuos generados de SO _x y, por el otro, produce biogás metano que puede usarse en lugar de

Autor, país y año	Objetivo	Estrategia para aprovechar o reducir la emisión de NO _x , SO _x y SiO ₂	Ecoeficiencia mostrada	Conclusiones
				combustibles fósiles.
Badillo et al., México, 2020.	Termovalorización en la separación de los residuos para producir fuentes alternas de combustible para el sector cementero.	Termovalorización de los residuos y su aprovechamiento. Residuos como los textiles son procesados como combustible en la producción del <i>clínker</i> .	No muestra especificidad para residuos tipo NO _x , SO _x y polvos de SiO ₂ .	Podría favorecer un cambio de actitud en la población, ya que promueve la separación de basura. Requiere de la colaboración conjunta entre la población y el sector cementero.
Poudyal y Kushal, Estados Unidos, 2021.	Enfoque integrado para la producción sostenible de cemento.	Captación de CO ₂ para producir CaCO ₃ que puede utilizarse como insumo.	Integración de tres estrategias: captura de emisiones, sustitución de materiales y combustible y uso de nanotecnología.	La adopción de estas estrategias puede tener beneficios para el medio ambiente y la sociedad.

Fuente: Elaboración propia con base en datos recabados de la Comisión Europea (2010), CEMEX (2012), CEMEX (2016), CSI (2014), Rocha et.al. (2022), Sagástegui (2012), Sanjuán y Chinchón (2014), Feijóo et.al. (2016), CSI (2012), Veana et.al. (2019), Badillo et.al. (2020) y Poudyal y Kushal (2021).

4.2 Discusión

Al comparar estas estrategias con otros estudios o revisiones documentales se encontraron algunas similitudes. En cuanto a la sustitución de combustibles fósiles, la cementera CEMEX afirmó que el 26% de sus hornos operaban con biomasa o residuos en 2016 (CEMEX, 2016), una cifra que concuerda con la reportada por Teja et.al. (2022) que fue del 20% al 30%. Cabe destacar que es posible sustituir del 3% al 80% del *clínker* con cenizas de biomasa.

En contraste, Huh et.al. (2018) reportó que el mayor problema para la sustitución de combustibles fósiles por biomasa es que este último sigue siendo más costoso. En su estudio compararon las utilidades marginales de empresas coreanas usando diferentes tipos de combustibles en sus procesos y encontraron que el carbón sigue siendo mejor que otras fuentes de energías alternativas, al menos en cuanto al costo, lo que dificulta su uso en muchas empresas.

Guo et.al. (2023) también realizaron una revisión documental para identificar estrategias que permitan reducir el impacto ecológico de la producción de cemento. En sus resultados mostraron que algunas se centran en mejorar la eficiencia de los procesos y la reducción del gasto de energía

y se llevan a cabo principalmente en países asiáticos como China e India. Estas estrategias coinciden con la ya mencionada sustitución de energías fósiles por combustibles alternativos (Badillo et.al., 2020, CEMEX, 2016) y con aquellas que contribuyen a mantener niveles adecuados de emisiones contaminantes, como el sistema de monitorización química o los filtros de manga (Figura 1 y Figura 2).

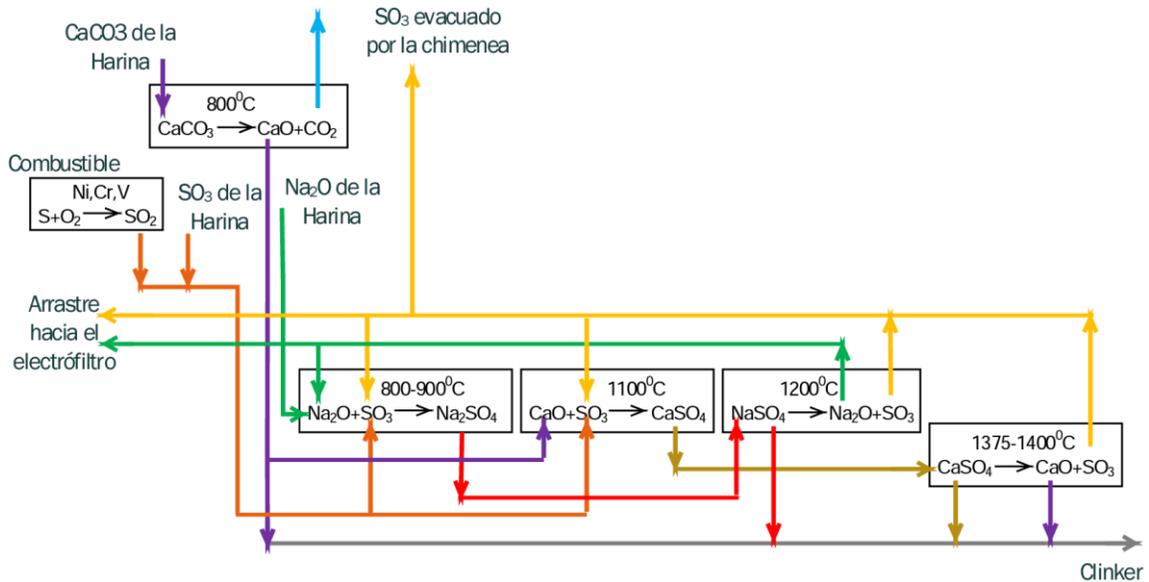


Figura 1. Sistema de monitorización química estequiométrica. Fuente: Feijóo et.al. (2016).

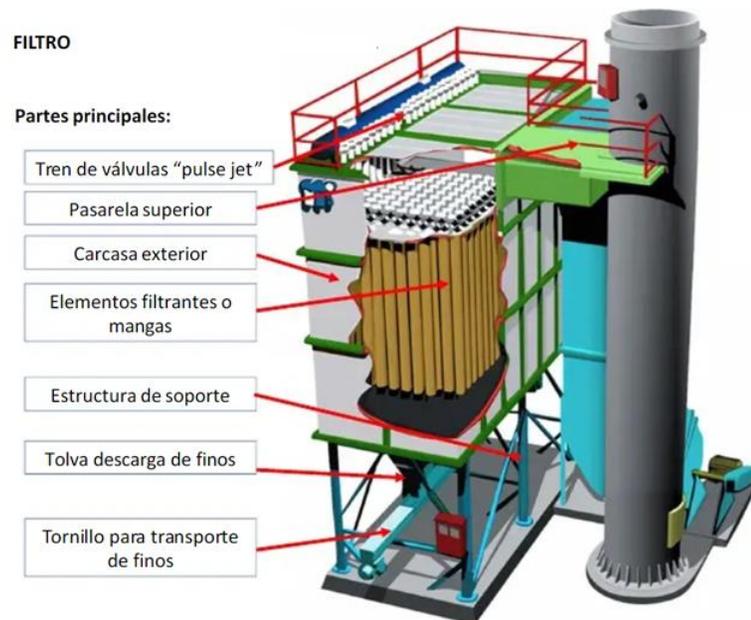


Figura 2. Filtro de manga utilizado en la industria cementera. Fuente: Camargo (s. f.).

Otro tipo de estrategias reportadas por Guo et al. (2023) se relacionan con el desarrollo de tecnologías para capturar, utilizar y almacenar las emisiones de carbono, cuya implementación ocurre mayoritariamente en países europeos. En este estudio se encontraron estrategias de este tipo adoptadas en México y otros países de habla hispana, como los domos para captar SiO₂ (Sagástegui, 2012) o la transformación de residuos de SO_x en biorreactores por medio de procesos de oxidación del azufre (Figura 3).

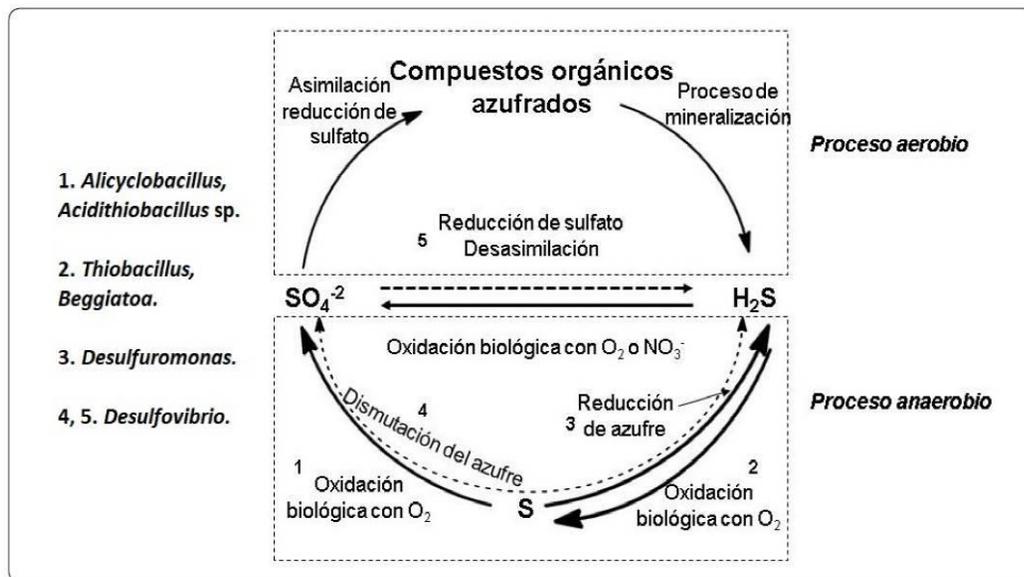


Figura 3. Ejemplo del ciclo generado en biorreactor. Fuente: Veana et.al. (2020).

4.3 Propuesta

Para visualizar la prioridad e importancia de las estrategias sostenibles analizadas, en la Figura 4 se ordenan de acuerdo con su viabilidad de aplicación en el sector industrial cementero en México. Las opciones ubicadas en la cúspide de la pirámide mostraron mayor ecoeficiencia y beneficios, de acuerdo con la evidencia científica que las sustenta.

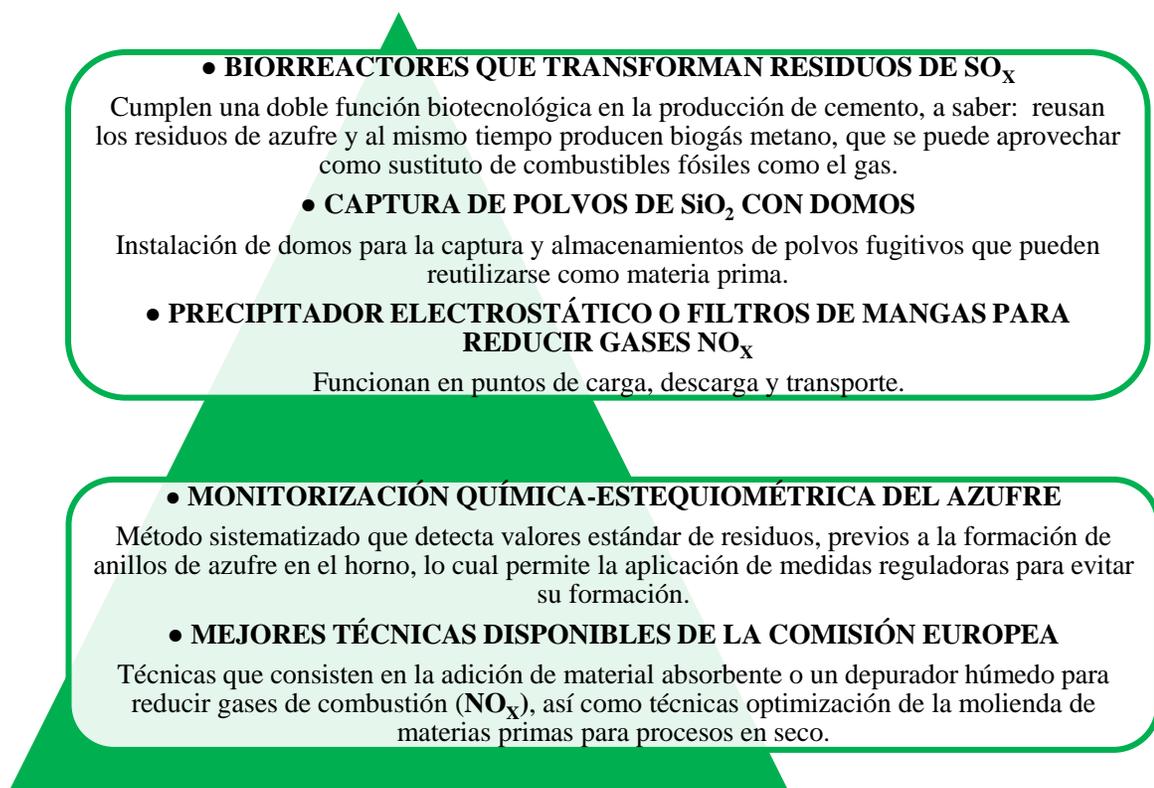


Figura 4. Diagrama jerárquico de estrategias ecoeficientes que han probado reducir al máximo la emisión de residuos NO_x , SO_x y polvos de SiO_2 durante la producción del cemento.

5. CONCLUSIONES

Los biorreactores de SO_x muestran mayor ecoeficiencia porque reutilizan los residuos de azufre y producen biogás metano que es útil como combustible, los domos capturan polvos de SiO_2 que se pueden reutilizar como materia prima y los filtros de mangas probaron reducir la emisión de gases residuales NO_x . La adopción de estas estrategias permitiría al sector cementero mexicano probar con evidencia científica la ecoeficiencia de sus procesos productivos. Hasta la redacción de este artículo, solamente CEMEX y Cementos Cruz Azul han adoptado estrategias como la sustitución de fuentes de energía fósiles por biomasa o residuos, pero no refieren la aplicación de otras estrategias para mitigar la emisión de los contaminantes considerados en esta propuesta.

Asimismo, las cementeras mexicanas obtendrían un valor agregado en sus procesos productivos y el cemento terminado cuando siguen procesos ecoeficientes. Todo esto contribuiría a fortalecer su competitividad empresarial, cuyos beneficios van más allá de solamente obtener las certificaciones ambientales que exige la ley.

También es necesario redoblar esfuerzos para revisar con mayor profundidad si las estrategias que han venido adoptando las cementeras en México son realmente sostenibles y están alineadas a los ODS de la ONU. Nuevamente CEMEX y Cementos Cruz Azul son las únicas cementeras que parecen alinearse con estos objetivos mediante sus estrategias de sustitución de combustibles fósiles. El resto cementeras mexicanas expresan un compromiso con el desarrollo sostenible, pero no presentan estrategias o indicadores para reducir su impacto ambiental.

Finalmente, se sugiere implementar mejores métodos para evaluar los resultados antes, durante y después de la aplicación de estrategias sostenibles en este sector, ya que esto brindaría mayor certeza sobre su ecoeficiencia. Se reitera que el gran reto a enfrentar por este sector es que los métodos sostenibles que aplica prueben, bajo evidencia científica, su ecoeficiencia.

6. REFERENCIAS

- Aguilar, J. D. (2019), *Cemento, el oro gris mexicano*. Consultado el 23 de marzo de 2023. <https://www.milenio.com/especiales/cemento-el-oro-gris-mexicano>
- Ashby, M. F. (2024), “*Materials and Sustainable Development*”. Elsevier, España, pp. 377–390. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98361-7.00016-6>
- Badillo, M. M., Martínez, L. A., Flores, J. R., y Flores, J. I. (2020), “*La termovaloración de combustibles alternativos y materias primas (AFR) en hornos para la producción de cemento Portland: una opción sostenible*”. *Academia Journals*, Hidalgo, México.
- Balanzátegui, R. I., Coba, L. M. y Vega, J. G. (2019), *Desarrollo sostenible de proyectos productivos sobre la base de la ley de Economía Popular Solidaria*. *Revista Espacios*. 40(22): 4–21.
- Bravo, D. N. y Arroyo, F. R. (2018), *Innovación sustentable: un camino al desarrollo productivo del Ecuador*. *Innova Research Journal*. 3(5): 29–44. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n5.2018.512>
- Cámara Nacional del Cemento (2020), *Co-procesamiento en la industria del cemento: Alternativa de manejo de residuos ambientalmente segura*. Consultado el 24 de marzo de 2023. https://comisiones.senado.gob.mx/ambiente/reu/docs/presentacion4_e121020.pdf
- Camargo, G. (s. f.), *Filtro de Mangas Partes y Funcionamiento*. Consultado el 05 de abril de 2023. <https://es.scribd.com/document/439978098/Filtro-de-Mangas-Partes-y-Funcionamiento#>
- Cemento y Concreto Moctezuma (s. f.), *Compromiso por contribuir al desarrollo social*. Consultado el 05 de abril de 2023. <https://www.cmoctezuma.com.mx/desarrollo-sostenible>
- CEMEX (2016), “*La contribución de CEMEX hacia un futuro bajo en carbono. Postura de CEMEX respecto al cambio climático*”. CEMEX, México.

- CEMEX. (2012), “*Construyendo las ciudades del futuro. Informe de desarrollo sustentable*”. CEMEX, México.
- Ciudades del Futuro (2018), *Cemento 4.0: la disrupción tecnológica llega a la industria cementera*. Siemens. Consultado el 20 de marzo de 2023. <https://ciudadesdelfuturo.es/cemento-4-0-la-disrupcion-tecnologica-llega-la-industria-cementera.php>
- Clavijo, P. A. y Guevara, M. M. (2019), “*Análisis Sostenible de la Cementera Holcim con Repercusiones de Mercadeo y Finanzas*”, Trabajo de Grado, Universidad del Rosario, Bogotá.
- Cobo, M. E. y Estébanez, S. (2021), “*Guía para el control de la exposición a polvo de sílice*”. Asepeyo prevención, Madrid, España.
- Comisión Europea (2017), “*Prevención y control integrados de la contaminación. Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de fabricación de cemento, cal y óxido de magnesio*”. Observatorio de la economía circular en la industria cementera, Sevilla, España.
- Cooperativa la Cruz Azul (2016), *La Cruz Azul y los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Consultado el 05 de abril de 2023. <https://www.aciamericas.coop/IMG/pdf/apolinarortiz.pdf>
- Cooperativa La Cruz Azul (s. f.), *Medición isocinética a fuentes fijas y perimetral de partículas*. Consultado el 18 de marzo de 2023. <https://acortar.link/MpNMyg>
- Feijoó, J. A., Fabelo, J. A. y Rodríguez, I. L. (2017), *Evaluación del ciclo del azufre en el horno de la fábrica de cemento de Cienfuegos*. Revista Centro Azúcar. 44(2): 1-9.
- France 24 (2021), *El hormigón, tercer emisor mundial de gases de efecto invernadero*. Consultado el 21 de marzo de 2023. <https://www.france24.com/es/minuto-a-minuto/20211019-el-hormig%C3%B3n-tercer-emisor-mundial-de-gases-de-efecto-invernadero>
- García-Muñoz, A. C. y Pérez-Sánchez, B. (2020), *La responsabilidad social en CEMEX*. Investigación Valdizana. 14(4): 175–87. <https://doi.org/10.33554/riv.14.4.728>
- Gessa, P. A. y Sancha, D. M. P. (2016), *Alternativas de reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO2) en la producción de cemento. Propuesta de un modelo de evaluación*. Innovar. 26(60): 51–66. <https://doi.org/10.15446/innovar.v26n60.55532>
- González, M. J. y Cuesta, V. P. (2018), *De responsabilidad social a sostenibilidad corporativa: una revisión actualizada*. Revista Internacional de Investigación en Comunicación. 17(7): 46-71. <https://doi.org/10.7263/adresic-017-04>
- Grupo Cemex (2021), *Sostenibilidad*. Consultado el 05 de abril de 2023. <https://www.cemexmexico.com/sostenibilidad>
- Grupos de Cemento Chihuahua (2023), *Sustentabilidad*. Consultado el 05 de abril de 2023. <https://www.gcc.com/es/sustentabilidad/#:~:text=La%20estrategia%20de%20sustentabilidad%20de,para%20esta%20y%20pr%C3%B3ximas%20generaciones.>
- Guo, Y., Luo, L., Liu, T., Hao, L., Li, Y., Liu, P. y Zhu, T. (2024), *A review of low-carbon technologies and projects for the global cement industry*. Journal of Environmental Sciences. 136: 682–697. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.01.021>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. P. (2014), “*Metodología de la investigación*”. Mc Graw Hill Education, Distrito Federal, México.
- Huh, S.Y., Lee, H., Shin, J., Lee, D. y Jang, J. (2018), *Inter-fuel substitution path analysis of the korea cement industry*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 82: 4091–4099. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.065>
- Jaramillo, R. A. (2017), *Una Mirada a la competitividad*. Dictamen libre. 20:87-98.
- Kumar, C. A. (2018), “*Cement production technology. Principles and Practice*”. CRC Press, Florida, Estados Unidos.
- León-Velez, A. y Guillén-Mena, V. (2020), *Energía contenida y emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador*. Ambiente Construido. 20(3): 611-25. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300448>

- Lin, K.-L., Lo, K.-W., Hung, M.-J., Cheng, T.-W., y Chang, Y.-M. (2017), *Recycling of spent catalyst and waste sludge from industry to substitute raw materials in the preparation of Portland cement clinker*. *Sustainable Environment Research*, 27(5). <https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.05.001>
- López, N. V. (2018), *El papel de la innovación tecnológica industrial y la sustentabilidad. Un acercamiento a la industria cementera*. *Tekhné Revista de la Facultad de Ingeniería*. 21(2): 83-95.
- Martínez, L. M. y Alexandre, P. M. (2020), *Industria cementera en México: Sin señales de recuperación a pesar de tocar fondo el año pasado*. Consultado el 24 de febrero de 2022. <https://www.spglobal.com/assets/documents/ratings/es/2020-01-22-industria-cementera-mexico.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas y Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2018), *“La Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe”*. ONU-CEPAL, Santiago de Chile, Chile.
- Pérez, E. M. J., Espinoza, C. C. y Peralta, M. B. (2016), *La responsabilidad social empresarial y su enfoque ambiental: una visión sostenible a futuro*. *Revista Universidad y Sociedad*. 8(3): 169-78.
- Pérez, S. B., Guzmán, S. A., Mayo, C. A. y Heredia, R. H. (2013), *Evolución histórica de cementos mexicanos: un grupo económico de capital nacional*. *Hitos de Ciencias Económico Administrativas*. 19(55): 115-30. <https://doi.org/10.19136/hitos.a0n55.113>
- Poudyal, L. y Adhikari, K. (2021), *Environmental sustainability in cement industry: An integrated approach for green and economical cement production*. *Resources, Environment and Sustainability*. 4, 100024. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100024>
- Rivera-Hernández, J. E., Alcántara-Salinas, G., Blanco-Orozco, N., et.al. (2017), *¿Desarrollo sostenible o sustentable? La controversia de un concepto*. *Revista Posgrado y Sociedad*. 15(1): 57-67. <https://doi.org/10.22458/rpys.v15i1.1825>
- Rocha, J. H. A., Toledo Filho, R. D. y Cayo-Chileno, N. G. (2022), *Sustainable alternatives to CO2 reduction in the cement industry: A short review*. *Materials Today: Proceedings*. 57, 436–439. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.565>
- Rodgers, L. (2018), *La enorme Fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías*. Consultado el 17 de marzo de 2023. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783>
- Roy, M. (2021), *“Sustainable Development Strategies”*. Elsevier, España, pp. 1–25. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818920-7.00005-0>
- Ruiz, Y., Domínguez, E. R., Sánchez, S., Castillo, L., Martirena, J. F. y Suppen, N. (2017), *Análisis de ecoeficiencia de la producción de cementos de bajo carbono mediante la sustitución de clínker*. *Revista Centro Azúcar*. 44: 77–88.
- Ruggerio, C. A. (2021), *Sustainability and sustainable development: A review of principles and definitions*. *Science of The Total Environment*, 786. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147481>
- Sagástegui, D. A. (2012), *“Propuesta para reducir las emisiones de polvo fugitivo en el proceso productivo de una empresa cementera”*, Tesis de ingeniería, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Santiago de Surco, Perú.
- Sanjuán, M. A. y Chinchón, S. (2014), *“Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland”*. Universidad de Alicante, España.
- Schentini, P. y Cortazzo, I. (2015), *“Análisis de datos cualitativos en la investigación social. Procedimientos y herramientas para la interpretación de información cualitativa”*. Editorial de la Universidad Nacional de la Plata, La Plata, Argentina.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s. f.), *“Guía para la elaboración de la cédula de operación anual. Industria del cemento, cal y yeso”*. SEMARNAT, México.

- Teja, R., Hiremath, R.B, Rajesh, P., Kumar, B., y Renukappa, S. (2022), *Sustainable transition towards biomass-based cement industry: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 163. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112503>
- The Cement Sustainability Initiative (2012), “*The Cement Sustainability Initiative*”. World Business Council for Sustainable Development, Washington, DC, Estados Unidos.
- The Cement Sustainability Initiative (2014), “*Cement Industry Energy and CO2 Performance Getting the Numbers Right (GNR)*”. World Business Council for Sustainable Development.
- The Cement Sustainability Initiative (2019), “*Indian Cement Sector SDG Roadmap*”. World Business Council for Sustainable Development, Ginebra, Suiza.
- Veana, F., González-Purata, P. Y., Wong-Paz, J. E., Aguilar-Zárate, P., Muñoz-Márquez, D. B. (2019), *Tendencias de la bioenergía: del metagenoma de hábitats ricos en azufre a la purificación del biogás*. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 22: 1-11. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.190>
- Vega, L. A. (2017), *Sustentabilidad y competitividad en empresas hortícolas de México*. Sapientiae. 2(2): 110-26.