



Holcim como modelo de sostenibilidad ambiental en la industria cementera

Yessica Garcia Correa

Universidad de Medellín
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas
Medellín, Colombia
2023

Holcim como modelo de sostenibilidad ambiental en la industria cementera

Yessica García Correa

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Administración MBA

Director:
Ph.D. Luis Fernando Castrillón

Universidad de Medellín
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas
Medellín, Colombia
2023

(Dedicatoria o lema)

Tuyos son, Señor, la grandeza y el poder, la gloria, la victoria y la majestad. Tuyo es todo cuanto hay en el cielo y en la tierra. Tuyo también es el reino, y tú estás por encima de todo. De ti proceden la riqueza y el honor; tú lo gobiernas todo. En tus manos están la fuerza y el poder, y eres tú quien engrandece y fortalece a todos. Por eso, Dios nuestro, te damos gracias, y a tu glorioso nombre tributamos alabanzas.

1 Crónicas 29: 11-13

Agradecimientos

El principal agradecimiento es a Dios por la oportunidad que me ha dado de llevar a cabo esta maestría, además de darme de su gracia, de su sabiduría e inteligencia para alcanzar este nuevo logro en mi vida. Él se ha encargado de mostrarme su amor a través de personas que han hecho de este camino una gran bendición para mi vida, como mis padres, que no sólo su apoyo económico permitió que hoy estuviera cumpliendo un sueño más en mi vida, sino también su amor, comprensión y ayuda desmedida.

También, quiero agradecer a mi esposo por su apoyo incondicional, sus aportes a esta tesis y sobre todo su estímulo constante a culminar este gran paso en mi vida.

Agradezco a Holcim por haberme abierto sus puertas, por haberme brindado la información necesaria para demostrar la importancia de su rol en este camino de la des carbonización, pero sobre todo por el gran equipo de trabajo que me ha dado y los cuales fueron pieza clave para el éxito de esta tesis. Gracias Christian Dueweke, Brandon Van Damme, Lanre Upalenke y Stacy Stripes.

Por último, pero no menos importante quiero agradecer a mi profesor y asesor de tesis el Doctor Luis Fernando Castrillón, ya que sin él esto no sería hoy una realidad, pues desde su experticia como investigador y su gran rol como profesor, fue una guía constante en este camino para concluir con éxito este proyecto que desde su comienzo pareció una batalla interminable.

Gracias a todos por creer en mi e impulsarme a siempre ser mejor.

Resumen

La industria cementera es una de las industrias más contaminantes debido a las altas emisiones de CO₂ que libera en sus procesos de producción. Por tal motivo este trabajo analiza los cambios que Holcim está llevando a cabo en sus procesos para mitigar el impacto medioambiental que genera este mismo y así poder servir de ejemplo a otras industrias del sector para que estas puedan comenzar un proceso de des carbonización y que así, puedan alcanzar el cero neto.

Para la realización de esta tesis se usó el método de investigación documental, se accedió a los datos disponibles en diversas fuentes que están enfocados en el mismo propósito, tales como el uso de fuentes de energía renovables, además del uso de otros materiales alternativos en el proceso de producción.

Gracias a todo esto, se puede evidenciar que las medidas tomadas por Holcim han impactado positivamente el medio ambiente debido a la reducción de CO₂ emitidos año tras año. A pesar de todo esto, se deberá seguir trabajando para que se puedan seguir hallando nuevas maneras de mejorar los procesos de producción para que su impacto medio ambiental cada vez sea menor y así poder cumplir con las metas de reducción de emisiones tanto para el año 2030 como en las metas de largo plazo al año 2050.

Palabras clave: (Industria cementera, contaminación ambiental, emisiones de CO₂, energía renovable, des carbonización, cero neto)

Abstract

The cement industry is one of the most polluting industries due to the high CO₂ emissions it generates in its production processes. For this reason, this thesis analyzes the changes that Holcim is carrying out in its processes to mitigate the environmental impact it generates and thus serve as an example to other industries in the sector so that they can begin a decarbonization process and thus achieve net zero.

For the realization of this thesis we used the documentary research method, we accessed the data available in various sources that are focused on the same purpose, such as the use of renewable energy sources, in addition to the use of other alternative materials in the production process.

As a result, it can be seen that the measures taken by Holcim have had a positive impact on the environment due to the reduction of CO₂ emitted year after year. Despite all this, work must continue so that new ways can be found to improve the production processes so that their environmental impact is less and less and so that the emission reduction goals for the year 2030 and the long-term goals for the year 2050 can be achieved.

Keywords: (Cement industry, environmental pollution, CO₂ emissions, renewable energy, decarbonization, net zero).

Tabla de contenido

Resumen.....	5
Lista de figuras.....	8
Lista de tablas.....	9
Introducción.....	10
1. Planteamiento del problema.....	12
2. Justificación.....	20
3. Objetivo General.....	25
4. Objetivos específicos.....	26
5. Estado del arte.....	26
5.1 Sostenibilidad ambiental:	27
5.2 Impacto de la industria cementera en el medio ambiente.....	34
5.3 Evaluación de los diversos procesos de producción de la industria cementera:	38
6. Referente teórico.....	41
6.1 El enfoque ecologista.....	42
6.2 Enfoque sectorial.....	43
6.3 Enfoque económico.....	44
6. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	49
6.1 Enfoque: Cualitativo.....	49
6.2 Tipo: Investigación Descriptiva.....	51
6.3 Método Documental.....	52
7. Análisis de información.....	55
Casos de éxito.....	67
8. Conclusiones y recomendaciones.....	72
Conclusiones	72
Recomendaciones.....	75
9. Bibliografía.....	76

Lista de figuras

Figura 1: Emisiones totales de CO2 por quema de combustibles fósiles desde 1750 a 2019.....	12
Figura 2: Emisiones de Alcance 1, 2 y 3.....	16
Figura 3: Líneas de sostenibilidad ambiental.....	56
Figura 4: PPA – Acuerdo de compra de energía.....	61
Figura 5: Proyectos en fase de aprobación final y futuros proyectos.....	65
Figura 6: Equivalencia de 6,738,125 TO/CO2 Evitados representado en acciones de la vida diaria. ..	66
Figura 7: Molinos de viento	67
Figura 8: Campo de paneles solares y baterías	68
Figura 9: Campo de molinos de viento en zona cálida	70

Lista de tablas

Tabla 1: Clasificación por categorías de los documentos escogidos después de la revisión documental	27
Tabla 2: Histórico de emisiones generadas en el año 2021	59
Tabla 3: Histórico de emisiones generadas en el año 2022	59

Introducción

Hay sectores e industrias que son pieza clave en el desarrollo de la economía de un país, como por ejemplo el sector de la construcción. La industria cementera juega un papel primordial a nivel mundial no sólo por su capacidad productiva, su contribución al crecimiento económico y al desarrollo de la infraestructura de los países, sino también por la generación de empleo que esta genera.

Pero a pesar de que es uno de los sectores económicos de mayor crecimiento e importancia a nivel mundial, es a su vez, uno de los sectores que produce más efectos negativos en el medio ambiente debido a que los procesos productivos del cemento son grandes contribuyentes al calentamiento global y el cambio climático, ya que las emisiones de CO₂ generadas en su proceso, son una fuente importante de contaminación del aire, uno de los principales problemas ambientales en todo el mundo, generando un aumento de la temperatura global y un cambio climático que afecta a todos los seres vivos.

Es por esto que la industria cementera se ha visto obligada a adoptar medidas que prevengan peores escenarios futuros en cuanto a la contaminación ambiental y en cuanto a los conflictos sociales que esto pueda generar.

A causa de lo antes dicho, se pretende poder contribuir en estrategias para reducir el impacto negativo que está generando la compañía en el medio ambiente y a su vez generar líneas futuras de investigación que aporten un beneficio a la academia y a otras empresas del sector.

Por tal motivo, se pretende dar respuesta mediante un objetivo general que plantea describir las estrategias implementadas por la empresa Holcim para mitigar las emisiones de CO₂ desde el año 2021 hasta el 2023 en las plantas de Alpena, Hagerstown y Paulding.

Y a su vez, poder presentar mediante unos objetivos específicos los resultados que se pretenden alcanzar a través de la investigación. Estos plantean analizar los procesos productivos de la empresa para identificar las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes del aire, desarrollar un plan de acción para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes del aire, considerando medidas como la implementación de tecnologías más eficientes y limpias, así como la adopción de prácticas de gestión ambiental y evaluar el impacto que ha tenido las medidas implementadas y el uso de fuentes de energía alternativas en la reducción de las emisiones de CO₂ en las plantas de Holcim de Alpena, Hagerstown y Paulding durante los años últimos 2 años.

Todo esto por medio del planteamiento del problema, los objetivos antes mencionados, la justificación, el marco de referencia y las diferentes metodologías.

1. Planteamiento del problema

En las últimas dos décadas la preocupación por el medio ambiente ha venido cobrando fuerza a nivel mundial, lo cual se evidencia en tratados internacionales como el acuerdo Climático de París en el 2015 implementado por las Naciones Unidas (ONU) con el objetivo de establecer estrategias para la reducción de los gases de efecto invernadero y cuyo principal resultado fue la elaboración de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible).

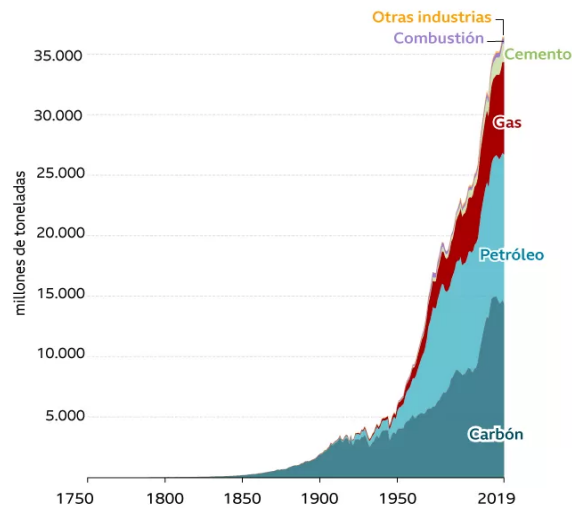
Los seres humanos han tenido un impacto adverso en el medio ambiente, sobre todo en las emisiones que afectan la calidad del aire. Como lo menciona la Agencia de Protección Ambiental (EPA) (2023):

A pesar de que el dióxido de carbono (CO₂) se encuentra presente de manera natural en la atmósfera como parte del ciclo del carbono de la Tierra (la circulación natural de carbono, los océanos, la tierra, las plantas y los animales), las actividades del ser humano están alterando este ciclo porque suman más CO₂ incidiendo en la capacidad de los disipadores naturales, como los bosques, para eliminarlo de la atmósfera, lo cual influye sobre la capacidad de la tierra para almacenar carbono.

Aunque las emisiones de CO₂ son provenientes de distintas fuentes naturales, las emisiones que están relacionadas con las acciones que el ser humano lleva a cabo, son las responsables del aumento del más del 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero en los últimos 30 años, donde el principal incremento se encuentra por la quema de combustibles fósiles como carbón, petróleo, gas y cemento (ver Figura 1)

Figura 1: Emisiones totales de CO₂ por quema de combustibles fósiles desde 1750 a 2019.

Emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles



Fuente: Global Carbon Project

BBC

Fuente: BBC News Mundo. (2021, 6 de noviembre). *Los gráficos que muestran que más del 50% de las emisiones de CO₂ ocurrieron en los últimos 30 años - BBC News Mundo*. BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-59013521>

Muchos procesos industriales como la minería, la industria del acero y las centrales térmicas se encuentran entre algunos de los principales productores de contaminación del aire, ya que emiten carbonos y azufres que no se encuentran de forma natural en el medio ambiente, lo que provoca un desequilibrio en la calidad y composición del aire. A demás también existen ciertos tipos de procesos como la producción y el consumo de productos minerales tales como el cemento que también producen emisiones de CO₂ a través de reacciones químicas sin combustiones. (Stephen, 2018)

En relación con lo anterior y como Lucy Rodger comenta en BBC news (2018):

En 2016, la producción mundial de cemento generó alrededor de 2.200 millones de toneladas de CO₂, equivalente al 8% del total mundial. Más de la mitad provino del proceso de calcinación. Junto con la combustión térmica, el

90% de las emisiones del sector podrían atribuirse a la producción de clinker¹.

Asimismo, para Jwvein & Pixabay (2022) en 2021, el uso del carbón se intensificó en el mundo para poder generar electricidad a un menor costo, ya que el gas natural alcanzó precios récord lo que dificultaba la adquisición de este mismo. Esto elevó las emisiones mundiales de CO₂ procedentes de la generación de electricidad en más de 100 millones de toneladas. Este aumento global de las emisiones de CO₂ representó más del 40 %, lo que se traduce a 15.300 millones de toneladas de CO₂. Todo esto debido al cambio de gas a carbón sobre todo en Estados Unidos y Europa, donde la competencia entre ambas centrales es más dura. Como lo menciona la EPA (2023), “la principal actividad del ser humano que emite CO₂ es la combustión de combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) para generar energía”. Según el punto de vista empresarial, Lewandowska, Witczak y Kurczewski (2017) señalan que:

La finalidad de que una organización implemente medidas de carácter medioambiental radica en disminuir los efectos provocados por sus productos o servicios, mejorar y difundir la imagen y reputación empresarial producto de dichas medidas e incrementar la rentabilidad económica. Para ello, es fundamental el compromiso no solo de la organización, sino también de sus clientes, ya que la adopción de una postura ecológica debe ser de ambas partes. Una organización debe estar en condiciones de responder a las nuevas necesidades y demandas de los clientes que han adoptado un comportamiento ambientalista; además si una organización las cumple a cabalidad ello se constituirá en una ventaja competitiva. (p.)

¹ Componente clave del cemento que se forma tras calcinar caliza y arcilla

En este sentido como objeto de esta investigación se aborda el caso de la Cementera Holcim, líder mundial en soluciones de construcción innovadoras y sostenibles como cemento, concreto premezclado, agregados y soluciones y productos (Holcim, 2022). La compañía cuenta con más de 100 años de trayectoria en el mercado tiene aproximadamente 13 plantas y 416 locaciones a lo largo de Estados Unidos de las cuales 118 están enfocadas en el cemento y 298 en agregados.

Con el actual incremento de la población y la urbanización, Holcim tiene un papel fundamental en la construcción de viviendas e infraestructuras esenciales para mejorar el nivel de vida de todos. Por eso están construyendo más con menos para acelerar el cambio de nuestro mundo hacia el cero neto, por lo cual está proponiendo soluciones de construcción innovadoras y sostenibles, convirtiéndose en parte de la solución. Para ello, está poniendo en el centro de su estrategia la acción climática, para construir un mejor progreso no solo para las personas, sino también para el planeta, además están innovando cada día para:

- Hacer que las ciudades sean más verdes desde los cimientos hasta el tejado, desde los materiales de baja emisión de carbono hasta las soluciones de eficiencia energética y de innovación.
- Dotar a la sociedad de una infraestructura más inteligente, con sistemas a medida que permitan una movilidad ecológica, energía renovable y saneamiento esencial.
- Mejorar el nivel de vida de todos, incrementando el acceso a viviendas con asociaciones y tecnologías innovadoras.
- Impulsar la construcción circular para construir más con menos, desde el hormigón verde hecho con residuos de construcción y demolición hasta tejados con plástico reciclado en su interior.


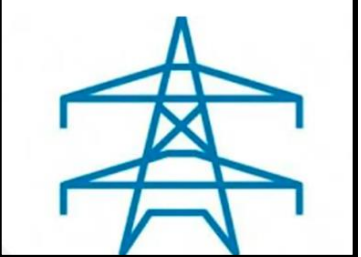

La magnitud de la crisis climática requiere la colaboración de toda la cadena de valor, desde los arquitectos hasta los responsables políticos. Con esto en mente, Holcim ha validado sus objetivos de carbono neto cero para el año 2030 y el año 2050 mediante la iniciativa SBTi (Science Based Targets). Estos objetivos abordan tanto los impactos directos como los indirectos, y los cuales guiarán durante las próximas décadas la estrategia de bajas emisiones de carbono que tiene la compañía.

Como lo menciona Holcim:

Nuestra compañía está habilitando ciudades más ecológicas, una infraestructura más inteligente y mejorando los estándares de vida en todo el mundo. Con la sostenibilidad en el centro de su estrategia, nos estamos convirtiendo en una empresa neta cero, con la gente y comunidades en el centro de nuestro éxito. Estamos impulsando la construcción circular como líder mundial en reciclaje para construir más con menos. Son 70.000 personas en todo el mundo apasionadas por generar progreso para las personas y el planeta a través de cuatro segmentos comerciales: cemento, concreto premezclado, agregados y soluciones y productos (Holcim, 2023, párr. 2)

En este viaje se está tomando un enfoque basado en la ciencia y con objetivos que atraviesan toda la cadena de valor, incluyendo emisiones de Alcance 1, 2 y 3 como se puede evidenciar a continuación en la Figura 2:

Figura 2: Emisiones de Alcance 1, 2 y 3

Emisiones de alcance 1	Emisiones de alcance 2	Emisiones de alcance 3
		
<p>Representan el 75 % de su huella de carbono, incluyen todas las emisiones de CO2 liberadas directamente de sus operaciones, principalmente durante la producción de cemento.</p>	<p>Incluyen las emisiones indirectas de CO2 producidas durante la generación de energía para hacer funcionar los equipos que son propiedad de Holcim o están controlados por ella. Representan el 5% de su huella de carbono.</p>	<p>Son emisiones indirectas generadas en su cadena de suministro, como la extracción y producción de materiales comprados, combustibles y transporte. Representan el 20% de su huella de carbono.</p>

Fuente: Our net-zero journey. (2023). Sustainable Construction & Building Company | Holcim. <https://www.holcim.com/sustainability/climate-action/our-net-zero-journey>

El cemento pertenece a uno de los materiales de construcción más utilizados y su producción está aumentando en todo el mundo. Pero, a su vez, es una fuente importante de emisiones de partículas como CO2, NOX, SOX, COV, etc. debido a que sus componentes emiten muchas emisiones, olores y ruidos provocando que las emisiones generadas por la fabricación de este material sean uno de los más grandes contribuyentes al calentamiento global y al cambio climático. (Zimwara et al., 2012)

Con las mega tendencias actuales (la disrupción tecnológica; cambio climático y sostenibilidad; evolución demográfica global; preocupación por la salud y el bienestar; y nuevos hábitos de consumo) el sector de la construcción nunca había sido más atractivo, pero hay que tener en consideración que la industria de la construcción es a su vez uno de los líderes en deterioro del medio ambiente por el agotamiento de los recursos, el consumo de energía y la creación de residuos (Stajanca y Estokova., 2012).

Como Holcim dentro de su política de sostenibilidad señala:

Es una industria que está comprometida con el desarrollo sostenible como un factor presente en las actividades de producción de cemento, concreto, agregados, morteros y productos químicos. Y apoya este concepto en tres principios: desempeño económico, balance medioambiental y responsabilidad social, entre los cuales debe existir un perfecto equilibrio con el fin de lograr progreso económico y tecnológico, en armonía con los recursos naturales y el entorno social.

La compañía lidera la búsqueda de alternativas viables para obtener operaciones más limpias, promueven la conservación de recursos naturales no renovables, el reciclaje y el manejo eco eficiente de los residuos y de esta forma poder entregar a las generaciones futuras un planeta sano, habitable y con suficientes recursos.

El compromiso ambiental incluye el cumplimiento de los requisitos legales aplicables, la búsqueda de herramientas y tecnología que favorezcan la prevención de la contaminación, el fomento de buenas prácticas ambientales en las partes interesadas y la mejora continua de sus operaciones, y cuyos objetivos son: racionalizar el uso de los recursos naturales para proteger el medio ambiente, promover el reciclaje y el manejo ecoeficiente de los recursos y mejorar continuamente el desempeño medioambiental de nuestras operaciones (Holcim, 2022, párr 1-6.)

Por esta razón Holcim se compromete a tomar las siguientes medidas estratégicas para lograr el cero neto en las emisiones de:

Alcance 1: Eficiencia energética y materias primas alternativas.

Alcance 2: Energía eólica para nuestras plantas, recuperación de calor residual y descarbonizar el suministro de energía.

Alcance 3: Transporte aguas abajo y clinker más ecológico.

El tema sostenibilidad es una ventana abierta a todos, pero, a su vez, es también un compromiso para lograr un progreso que tenga en cuenta, no sólo lo ambiental, sino también lo económico y social para así poder tener un impacto positivo y hacer parte de una evolución real.

Como Holcim en su Informe de sostenibilidad menciona:

Con la trayectoria actual, el mundo consumirá los recursos de más de dos planetas para 2040. Para permanecer dentro de los límites, debemos pasar de una economía lineal de “tomar, hacer, desperdiciar” a una economía circular, para “reducir, reutilizar, reciclar” siempre que podamos (Holcim, 2021, p. 28).

Con el fin de caracterizar la experiencia, se ha escogido a Holcim, ya que esta compañía busca alinearse con las empresas responsables a nivel global además de liderar la transición hacia la construcción zero neta empleando energías renovables; desarrollando productos con baja huella de carbono, con altos estándares productivos y de calidad; promoviendo la economía circular, tanto en la utilización de materiales para la elaboración de sus productos, como energía térmica alternativa evitando el uso de fuentes fósiles y que a su vez, ésta sirva de referente para otras empresas del sector cementero.

2. Justificación

El ambiente es todo lo que rodea a las personas, es decir, “el sistema de elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos con que interactúa el hombre, a la vez que se adapta al mismo, lo transforma y lo utiliza para satisfacer sus necesidades” (Ley n. 81 del Medio Ambiente de Cuba, 1997).

El medio ambiente es uno de los campos de estudio interdisciplinarios que está recibiendo más atención priorizada por parte de la comunidad científica mundial. La preocupación por el medio ambiente forma parte del discurso de la sociedad. En las últimas décadas hay un consenso entre los gobiernos, quienes han llegado a acuerdos importantes para tratar de tomar decisiones y ofrecer soluciones. Algunas reuniones como la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, en 1992, o las más recientes de Nueva York (1997), Kyoto (1997) y Argentina (2004), evidencian la conciencia pertinente ante los problemas ambientales e impulsan el desarrollo de áreas de conocimiento.

Como lo menciona el Tiempo:

Los ecosistemas del mundo se están degradando más rápido de lo que pueden recuperarse. La gestión inadecuada del medio ambiente y de los recursos naturales da lugar a pérdidas económicas considerables. La contaminación atmosférica es el principal riesgo medioambiental para la salud, con un costo equivalente al 6,1 % del PIB mundial al año. La naturaleza está amenazada y las especies animales y vegetales, se encuentran en peligro de extinción, muchas de ellas en un plazo de 10 años (El Tiempo, 2023, párr 7).

Para la Editorial Etecé (2022), “el ser humano es el organismo vivo que más interviene en el medio: no solo crea el medio ambiente artificial, sino que a su vez, explora, modifica y utiliza los recursos del medio ambiente natural para su supervivencia y bienestar” (Párr 16). Todo esto mediante la urbanización, el uso desmedido de recursos naturales y la industrialización.

Francisco J. Arenas Cabello resalta que:

El impacto ambiental producido por la industria de la construcción constituye un compromiso de las sociedades industrializadas, debido al cambio de técnicas para la producción de los materiales; teniendo en cuenta que anteriormente estos eran naturales, propios de la biosfera, procedentes del entorno inmediato, de fabricación simple y adaptados a las condiciones climáticas del territorio donde se llevaba a cabo la construcción, en consecuencia esto ha ocasionado situaciones desfavorables para el medio ambiente; en primera instancia, en un gran aumento de la distancia entre la obtención de materias primas y la ubicación de su elaboración o construcción; en segundo lugar, el agotamiento de los recursos naturales próximos; y finalmente, en el aumento de la emisión de contaminantes.

Asimismo, la gran demanda de materiales de construcción exige la extracción y procesamiento de materias primas, elaboración de nuevos materiales y el tratamiento de una elevada cantidad de residuos de construcción y demolición, con el costo ambiental que ello representa. (Francisco J. Arenas Cabello, 2022)

La industria de la construcción es una de las actividades económicas más significativas a nivel mundial, contribuyendo en un gran porcentaje al producto interno bruto global. Su importancia no se limita únicamente a su impacto económico, sino que también abarca su influencia en la sociedad y su contribución al progreso humano al satisfacer una necesidad fundamental. Sin embargo, esta industria, impulsada por avances científicos y tecnológicos, ha alterado de manera significativa el entorno geográfico a través de la explotación de recursos naturales y la transformación del paisaje. Este proceso ha dado lugar a cambios desproporcionados en la naturaleza, con consecuencias irreversibles en los ecosistemas

No obstante, el desafío principal que enfrenta la industria de la construcción, en todas sus diversas tipologías, sigue siendo la adopción fundamental de materiales de construcción con un impacto ambiental reducido. Esto se debe a que estos materiales tienen la mayor influencia en la alteración del entorno natural, sin dejar de considerar otros factores como el consumo de energía y la gestión de residuos, que también generan impactos significativos

Por lo anterior, el mayor reto para la Ciencia e Ingeniería, es el desarrollo de materiales con criterios o parámetros de sostenibilidad ambiental. Donde la constante sea el empleo de materiales cuyos procesos de extracción y fabricación o producción supongan un ahorro energético y procedan de recursos renovables, así como la reutilización y el reciclado de los materiales existentes. Los materiales con menor impacto ambiental, para su empleo en construcción, deben incorporar criterios de sostenibilidad ambiental, como alta eficiencia energética, durabilidad, recuperabilidad, recursos renovables, empleo de tecnología limpia y valorización de residuos.

En consecuencia, el principal desafío que la Ciencia e Ingeniería enfrentan, radica en el desarrollo de materiales que cumplan con rigurosos criterios de sostenibilidad ambiental. En este contexto, se busca el uso de materiales cuyos procesos de extracción y fabricación o producción supongan un ahorro energético y procedan de recursos renovables. Además, se promueve la reutilización y el reciclaje de materiales existentes. Los materiales destinados a la construcción, con el menor impacto ambiental posible, deben incorporar criterios de sostenibilidad como alta eficiencia energética, durabilidad, capacidad de recuperación, uso de recursos renovables, adopción de tecnologías limpias y la gestión adecuada de residuos.

Plantea Pertuz, A. que:

La construcción sostenible se cimienta en la gestión eficaz y reutilización de los recursos naturales, la conservación de la energía, la proyección y comportamiento social y las prácticas de conducta. Considera todo el ciclo de vida: desde el diseño arquitectónico del proyecto y la obtención de las materias primas, hasta el reciclaje de los residuos.

Dentro de su concepción están, minimizar el consumo de energía, utilización de la luz natural, manejo arquitectónico a la exposición solar, manejo de las corrientes naturales de aire, utilización de paneles solares, evitar el uso de materiales asfálticos en las zonas de rodamiento y terrazas e incentivar concretos y adoquines. Plantea Pertuz, A. (2010)

En Holcim, se está ayudando a enfrentar los desafíos climáticos actuales, tomando medidas estratégicas para convertirse en una empresa neta cero. Con los objetivos para 2050 validados

por la iniciativa Science Based Targets (SBTi), se está estableciendo una nueva referencia para la industria de la construcción sostenible.

La magnitud de la crisis climática requiere la colaboración de toda la cadena de valor, desde los arquitectos hasta los responsables políticos. Con esto en mente, Holcim está desarrollando productos y soluciones de vanguardia para acelerar la transición a la construcción ecológica, desde su hormigón ecológico ECOPact hasta su plataforma digital ORIS para la construcción sostenible de carreteras. Se necesitan entornos regulatorios y estándares de construcción que incentiven la adopción de productos bajos en carbono en el mercado para promover estos esfuerzos.

Teniendo en cuenta lo mencionado, se pretende hacer una caracterización de la empresa Holcim enfocada en describir las estrategias que se están aplicando dentro de la compañía para reducir el impacto negativo que está recibiendo el medio ambiente por parte de la industria cementera. Es importante aclarar que se cuenta con acceso a la fuente de información de la empresa, brindándonos la posibilidad de generar líneas futuras de investigación que aporten un beneficio a la academia puesto a la relevancia e impacto social del tema.

Esta investigación puede aportar a otras empresas del sector cementero prácticas que contribuyan a soluciones innovadoras y sostenibles para la construcción y así ayudar a la disminución de la huella de carbono causada en su mayoría por el sector industrial. De esta manera cada empresa del sector cementero podrá contribuir con el medio ambiente por medio de la des carbonización de la construcción a lo largo de todo su ciclo de vida. Al replicar estas prácticas se podrá acelerar un crecimiento ecológico.

El resultado de este trabajo le puede aportar a Holcim para que esta información se pueda replicar a todos los colaboradores de la compañía por medio de un boletín y así ellos puedan entender el trasfondo de la situación, llevarlos a reflexionar sobre la importancia del tema, generar conciencia y a su vez, incentivar el sentido de pertenencia por la empresa al ver como esta está actuando a favor del medio ambiente y las acciones que está tomando al respecto.

Por otra parte, el resultado de esta Tesis servirá para hacer una evaluación, revisión y retroalimentación de los procesos que actualmente llevamos dentro de la organización (parte administrativa) y al interior de las plantas de producción, con el fin de mejorar los métodos ya existentes, además de buscar una reducción de costos y tiempos por medio de la implementación de estas mejoras tales como automatizaciones, cambios más ecológicos desde nuestras oficinas hasta la entrega de los productos.

A nivel académico con este trabajo se espera aportar conocimiento para que se puedan generar líneas futuras de investigación acerca del tema y que de esta manera otras empresas de este y otros sectores, puedan generar conciencia para que sus prácticas y sus procesos sean más amigables con el medio ambiente y que a su vez, ayuden a reducir la huella de carbono

3. Objetivo General

Describir las estrategias implementadas por la empresa Holcim para mitigar las emisiones de CO₂ desde el año 2021 hasta el 2023 en las plantas de Alpena, Hagerstown y Paulding.

4. Objetivos específicos

- Describir los planes de acción que está llevando a cabo Holcim en sus procesos operativos, los cuales apuntan a reducir las emisiones de alcance 2.
- Comparar el histórico de emisiones generadas por las plantas de Holcim de Alpena, Hagerstown y Paulding durante los años últimos 2 años.
- Evaluar los resultados ambientales y económicos que ha obtenido Holcim a partir de las estrategias implementadas y de los proyectos actuales y a su vez, estimar la evitación total de CO₂ a lo largo de la duración de los proyectos futuros.

5. Estado del arte

Para la elaboración del estado del arte se utilizó una herramienta llamada Tree of Science (ToS), según Zuluaga, Robledo, Arbelaez, Osorio, Méndez (2022) resaltan que es:

Una plataforma web integrada para el análisis de la literatura científica.

Basada en métricas de teoría de grafos, esta herramienta visualiza los trabajos en un campo de conocimiento como un árbol donde las raíces son los artículos clásicos, el tronco representa aquellos artículos que permiten que el área crezca y las hojas son los artículos publicados recientemente

Luego de esto se dio paso a una revisión de cada documento para identificar si pertinente con el tema que se está desarrollando en la tesis y de esta manera se escogieron los documentos

principales para luego proceder a clasificarlos en 3 grandes grupos como se puede ver a continuación en la tabla 1:

Tabla 1: Clasificación por categorías de los documentos escogidos después de la revisión documental

Categorías		
1. Sostenibilidad ambiental:	2. Impacto de la industria cementera en el medio ambiente	3. Evaluación de los diversos procesos de producción de la industria cementera:
Lochana Poudyal y Kushal Adhikari (2021)	K.Syamala Devi, V.Vijaya Lakshmi A.Alakanandana (2017)	Kamel Mohamed Rahla, Ricardo Mateus y Luís Bragança (2019)
Soriano Baeza (2022)	Wei Chen, Jinglan Hong y Changqing Xu (2014)	Y.K. Chen, Y. Sun, K.Q. Wang, W.Y. Kuang, S.R. Yan, Z.H. Wang y H.S. Lee (2022)
Ighalo y Adeniyi (2020)	Sabbie A. Millera, Vanderley M. Johnb, Sergio A. Paccac y Arpad Horvathd (2017)	Hrvoje Mikulcic, Heriberto Cabezas, Milan Vujanovic y Neven Duic (2016)
C. Meyer (2009)	J. Vargas y A. Halog (2014)	Deborah N. Huntzinger y Thomas D. Eatmon (2008)
Emad Benhelal, Gholamreza Zahedi, Ezzatollah Shamsaei y Alireza Bahadori (2012)		
F. A. Rodrigues y I. Joekes (2010)		
P.V. Nidheesh, y M. Suresh Kumar (2019)		
Tomatis, Harish Kumar Jeswani, Laurence Stamford y Adisa Azapagic (2020)		

Fuente: Elaboración propia

5.1 Sostenibilidad ambiental:

En este grupo se encuentran todos los artículos, documentos e investigaciones relacionados a la contaminación del medio ambiente a causa de la industria cementera y algunas posibles alternativas para mejorar esta situación

En este grupo encontramos el artículo de Lochana Poudyal y Kushal Adhikari (2021) propone un enfoque integrado en el que el CO₂ capturado de la fábrica de cemento se utilice dentro para producir nano carbonato cálcico (CaCO₃) para su uso en el proceso de

fabricación de este mismo. Con esta tecnología ayuda a las industrias cementeras a producir un producto más sostenible, duradero y económico al tiempo que reduce las emisiones de CO₂ a la atmósfera, lo que conduce a una infraestructura verde y a la sostenibilidad medioambiental mundial. La metodología usada para este trabajo fue de tipo experimental. Entre los principales hallazgos se presentan que el coste del ciclo de vida completo debe considerarse en un contexto social, económico y medioambiental global de beneficios y riesgos, como parte de un enfoque óptimo, sostenible y económico. Así mismo con una investigación más profunda y las implicaciones prácticas de este planteamiento integrado, podría producirse una nueva generación de cemento sostenible, económico y duradero que condujera a una infraestructura ecológica y a la sostenibilidad medioambiental mundial global.

El documento de Soriano Baeza (2022) trata sobre la industria cementera sostenible por medio del empleo más eficiente de los recursos naturales, reducción de los impactos de la actividad, mejora de la relación con su entorno social, contribución a la solución de problemas ambientales de la sociedad y de otros sectores industriales. La metodología usada para este trabajo fue el método de investigación mixta. Y los principales hallazgos fueron que la industria cementera de España firmó un acuerdo voluntario con el Ministerio de Medio Ambiente y espera ratificarlo en breve con las Comunidades Autónomas. Por otra parte, está ofreciendo a la sociedad su enorme capacidad para resolver problemas de gestión de residuos a través de operaciones de reciclado y de valorización energética, contribuyendo con ello a un empleo más racional de los recursos naturales.

Finalmente, está desarrollando iniciativas de comunicación y transparencia tendentes a mejorar el entendimiento con su entorno social en una clara apuesta hacia un modelo de desarrollo más sostenible.

El documento acerca de una perspectiva sobre la sustentabilidad ambiental en la industria del cemento de Ighalo y Adeniyi (2020) plantea la lentitud de los avances en la obtención de la sostenibilidad medioambiental en la industria cementera. Se han propuesto técnicas como la captura y almacenamiento de carbono (CAC), la sustitución de materiales, los combustibles alternativos y las tecnologías energéticamente eficientes como medios para mitigar el impacto medioambiental negativo de la producción de cemento. Se han evaluado en la literatura abierta varios métodos para mitigar la fabricación sostenible en la industria del cemento y se han logrado avances en el frente de la investigación. En los principales hallazgos se observó que se ha avanzado mucho en el ámbito de las innovaciones de investigación respetuosas con el medio ambiente. Estas innovaciones (consideradas disruptivas por las mega cooperaciones) han tenido problemas en la fase empresarial. Las denominadas tecnologías disruptivas han luchado por cumplir algunos requisitos de rendimiento y satisfacer a los evaluadores de la financiación, por lo que sigue siendo difícil comercializarlas plenamente.

Finalmente, la sistematización del problema de la sostenibilidad medioambiental se debatió como una posible vía para avanzar en los ámbitos medioambiental, económico y social. Se concluye que, de cara al futuro, un mayor énfasis en el enfoque sistematizado basado en decisiones podría ayudar a colmar la brecha entre los planes sobre el papel y las aplicaciones prácticas para lograr la sostenibilidad medioambiental.

En el texto de C. Meyer (2009) aborda los últimos avances para mejorar la huella medioambiental que deja la industria del cemento en el planeta Tierra. Con el objetivo de utilizar la mayor cantidad de hormigón, pero con la menor cantidad posible de cemento

Portland. Lo anterior significa la sustitución de la mayor cantidad posible de cemento Portland por materiales suplementarios, especialmente los que son subproductos de procesos industriales, y utilizar materiales reciclados en lugar de recursos naturales. La metodología usada es el método experimental y sus principales hallazgos son el creciente uso de materiales cementantes que pueden servir como sustitutos parciales del cemento Portland, en particular aquellos materiales que son subproductos de procesos industriales, como las cenizas volantes y la escoria granulada de alto horno.

Además, la sustitución de los áridos por diversos materiales reciclados ha progresado notablemente en todo el mundo, reduciendo así la necesidad de extraer áridos vírgenes. Entre ellos, los más importantes son los áridos reciclados para hormigón, el vidrio postconsumo, los neumáticos usados, los plásticos y los subproductos de la industria papelera y otras.

En el documento de Emad Benhelal, Gholamreza Zahedi, Ezzatollah Shamsaei y Alireza Bahadori (2012) se habla de las estrategias globales y los potenciales para mitigar las emisiones de CO₂ en las plantas de cemento. Se identifican y describen exhaustivamente los obstáculos que dificultan el despliegue mundial de las estrategias y se analizan las posibles soluciones. Algunas estrategias son: el ahorro de energía, la separación y el almacenamiento de carbono y la utilización de materiales alternativos. La metodología usada es el método experimental y los principales hallazgos en el caso del ahorro energético fue que cambiar a un proceso más eficiente, podría reducir hasta un 50% de la energía necesaria y mitigar casi el 20% de las emisiones de CO₂ en el proceso, así como aumentar la eficiencia del proceso de molienda. La recuperación de calor de las corrientes de escape, que ahorra hasta un 20% de combustible y, en consecuencia, redujo un 8% las emisiones de CO₂.

En el caso de la separación y el almacenamiento de carbono se evidenció que hasta la fecha y debido a diversas barreras y desafíos, especialmente en términos de factores económicos y legislación, la CAC no ha sido una solución viable. Especialmente en lo que se refiere a los factores económicos y la legislación, no se ha aplicado ningún proceso de captura y almacenamiento y en cuanto a la utilización de materiales alternativos, la reutilización de subproductos industriales y el WDF fueron los que más contribuyeron a reducir las emisiones de CO₂.

En el artículo de F. A. Rodrigues y I. Joekes (2010) “Industria del cemento: sustentabilidad, desafíos y perspectivas” trata del análisis de algunos aspectos de la industria cementera relacionados con las ciencias medioambientales. También se presentan otras cuestiones como los aspectos económicos, la química de la fabricación del cemento y sus propiedades. El objetivo es el uso de materiales alternativos, las nuevas posibilidades y también el reciclado de materiales. La metodología usada es la investigación y el desarrollo necesarios para mejorar la sostenibilidad del cemento. Los principales hallazgos que se obtuvieron fue que la utilización de escombros de construcción y demolición para preparar nuevas estructuras de hormigón es una excelente alternativa a su eliminación en vertederos; además, esta práctica puede ser económicamente viable y ahorrar recursos naturales. Algunas limitaciones a la utilización de escombros son el peso específico, la durabilidad y la cantidad de contaminantes que estos emiten.

En el artículo de la reutilización de polvo de mármol y granito como sustituto del cemento de Amar Danish, Mohammad Ali Mosaberpanah, Muhammad Usama Salim, Roman Fediuk, Muhammad Fawad Rashid y Rana Muhammad Waqas (2021) analizan críticamente el efecto de la MD (Polvo de mármol)/GD (Polvo de granito) en las propiedades de ingeniería de los

materiales cementosos. Se usó una metodología de encuestas y cuestionarios. Se preguntó a 100 investigadores de todo el mundo sobre las principales ventajas de la sostenibilidad y los principales retos que plantea la adición de MD/GD a los materiales cementicios. Los principales hallazgos es que se debe comprobar y analizar la compatibilidad de la MD y la GD para su uso en materiales cementosos de altas prestaciones. Además, las propiedades como la resistencia a la abrasión deben investigarse más a fondo, ya que los trabajos publicados anteriormente no son concluyentes y por último deben analizarse métodos rentables para aumentar la trabajabilidad de los materiales cementosos modificados con MD y GD. Sin embargo, estos métodos no deben afectar negativamente a otras propiedades de ingeniería de los materiales cementosos.

El artículo de P.V. Nidheesh, y M. Suresh Kumar (2019) busca repasar los aspectos de sostenibilidad de las industrias del acero y la producción del cemento. El objetivo es analizar cómo el dióxido de carbono de la industria siderúrgica puede reducirse eficazmente mediante métodos de captura de carbono. La generación de subproductos del acero puede utilizarse como materia prima en la fabricación de pinturas, cemento, fertilizantes, etc. La metodología usada fue la revisión bibliográfica y los principales hallazgos fueron que las estrategias como el coprocesamiento y la mezcla ayudan a reducir significativamente las materias primas. El coprocesamiento es un método en el que se utilizan combustibles alternativos (p. ej., aceites usados) y materias primas (p. ej., suelos contaminados) o ambos (p. ej., lodos de papel, neumáticos usados). reutilizables para reducir las necesidades de combustible y materias primas para la producción de clínker. Además de que el barro rojo también es un buen candidato como material alternativo de gran calidad y que la producción de clinker, uso de materias primas descarbonatadas en lugar de piedra caliza.

En el texto de Marco Tomatis, Harish Kumar Jeswani, Laurence Stamford y Adisa Azapagic (2020) tratase sobre la tecnología termosolar para la calcinación. Su objetivo es investigar si podría ayudar a mitigar el cambio climático y otros impactos ambientales de la producción de cemento en base al ciclo de vida. La metodología usada fue la revisión de literatura. Los principales resultados muestran que la sustitución del calcinador convencional con el sistema solar reduciría 14 de los 17 impactos considerados. Sin embargo, los campos solares requieren grandes extensiones de terreno para la instalación de helióstatos y por lo tanto la disponibilidad de suelo puede ser el factor limitante para el desarrollo de esta tecnología. Por lo tanto, futuras investigaciones encaminadas a optimizar la eficiencia de los helióstatos y su ubicación son necesarias para reducir el tamaño del campo solar. Los estudios futuros también deben considerar los costos económicos para determinar si destinar una gran área de terreno al campo solar representa una inversión adecuada y sostenible.

De esta primera categoría se puede concluir que la industria cementera es una de las más contaminantes del medio ambiente gracias a sus altas emisiones de CO₂, además de la lentitud de los avances en la obtención de la sostenibilidad medioambiental en la industria. Se busca que las industrias cementeras puedan producir cemento sostenible, duradero y económico al tiempo que reduce las emisiones de CO₂ a la atmósfera, lo que conduce a una infraestructura verde y a la sostenibilidad medioambiental mundial. Se han propuesto técnicas como la captura y almacenamiento de carbono (CAC), la sustitución de materiales, los combustibles alternativos y las tecnologías energéticamente eficientes como medios para mitigar el impacto medioambiental negativo de la producción de cemento. Además del uso de otros materiales alternativos para la producción del mismo.

5.2 Impacto de la industria cementera en el medio ambiente

En este grupo de , artículos e investigaciones se pretende mostrar el impacto negativo que tiene la industria cementera y a su vez presentar de más cerca el uso de materiales alternativos para la producción de cemento para así, poder ayudar a mejorar la calidad del aire. En este grupo de artículos se hace mayormente énfasis en las cenizas volantes y como estas pueden llegar a reemplazar uno de los materiales más contaminantes de la industria, el clinker.

El artículo de K.Syamala Devi, V.Vijaya Lakshmi A.Alakanandana (2017) se analizan los principales contaminantes emitidos por la producción de cemento, así como el potencial de la modelización informática y el uso eficiente de la energía para mejorar la calidad del aire. El objetivo del artículo es discutir los impactos ambientales y de salud de la producción de cemento, y las tendencias actuales en el campo de la producción de cemento que se están utilizando para reducir estos impactos. La metodología utilizada en el artículo incluye una revisión de la literatura existente sobre el tema, así como estudios de casos y evaluaciones del ciclo de vida. Los principales hallazgos del artículo incluyen el hecho de que la producción de cemento es uno de los principales contribuyentes al calentamiento global y el cambio climático, y que las emisiones de la producción de cemento son una fuente importante de contaminación del aire. Además, el artículo analiza el potencial del modelado por computadora y el uso eficiente de la energía para mejorar la calidad del aire.

El artículo de Wei Chen, Jinglan Hong y Changqing Xu (2014) discute los desafíos y oportunidades para reducir los impactos ambientales de la industria, así como proporciona

una visión general de los estudios de evaluación de ciclo de vida de la producción de cemento china y el potencial para reducir las emisiones mediante la implementación de estándares de cemento de bajo carbono. El objetivo del artículo es analizar los contaminantes generados por la industria del cemento en China, sus impactos y el potencial para mejorar el medio ambiente mediante el uso de un método de evaluación de ciclo de vida híbrido. La metodología usada en el estudio fue una evaluación de ciclo de vida híbrida (LCA) basada en estadísticas nacionales y datos de sitio.

Los principales hallazgos del estudio mostraron que los factores clave que contribuyen a la carga ambiental general son las emisiones directas de óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas y dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, así como el uso de carbón durante la producción de cemento. Por otro lado, las emisiones de CO₂, SO₂, NO_x, partículas y CO₂ generadas por la industria del cemento en China en 2009 fueron aproximadamente 1.11 billones, 0.53 millones, 2.10 millones y 3.60 millones de toneladas, respectivamente, lo que representó aproximadamente el 14.8%, 2.4%, 12.3% y 26.2% del total nacional de emisiones. Además, se encontró que las emisiones de CO₂, SO₂, NO_x, partículas y CO₂ fueron las principales contribuyentes a las categorías de inorgánicos respiratorios y calentamiento global.

El artículo de Sabbie A. Millera, Vanderley M. Johnb, Sergio A. Paccac y Arpad Horvathd (2017) aborda la introducción de nuevas alternativas de cemento a base de clínker Portland, el uso de materiales activados alcalinamente y la mejora de la eficiencia del uso del cemento que podrían contribuir aún más a los objetivos de reducción. El artículo también discute las incertidumbres y las suposiciones limitantes asociadas con los cálculos, así como el papel de la industrialización, la proporción de mezclas, el diseño estructural, la durabilidad y el mantenimiento en la reducción de las emisiones de CO₂.

El objetivo del artículo es evaluar el potencial de los materiales alternativos para reducir las emisiones de CO₂ en la industria de materiales a base de cemento. La metodología usada es el método de investigación experimental ya que se realizaron evaluaciones de ciclo de vida (LCA) para determinar las emisiones de CO₂ asociadas con la producción de los materiales, considerando el uso de materias primas, la demanda de energía, mezclas de combustibles, mezclas de electricidad, transporte y emisiones de CO₂ derivadas de materias primas.

Los principales hallazgos del artículo son que los materiales alternativos a base de cemento tienen el potencial de reducir significativamente las emisiones de CO₂ en la industria de materiales a base de cemento. Se encontró que los materiales alternativos pueden reducir las emisiones de CO₂ en un 30% en comparación con el cemento Portland. Además, se encontró que los materiales alternativos pueden reducir las emisiones de CO₂ en una cantidad significativa si se implementan a nivel mundial. Sin embargo, se encontró que hay algunas limitaciones potenciales para la implementación generalizada de estos materiales.

El artículo de J. Vargas y A. Halog (2014) trata sobre el uso de cenizas volantes en la producción de cemento y su potencial para reducir las emisiones de carbono. Examina la ecuación para calcular el factor de emisiones totales del cemento que contiene cenizas volantes, el modelo de dinámica del sistema utilizado para simular las emisiones de CO₂ de la producción de cemento CEM I, CEM II A e V y B e V, y el potencial de hasta a 3 millones de toneladas de reducción de emisiones de CO₂ después de 12 meses de producción cuando las cenizas volantes se utilizan como reemplazo del clinker en la producción de cemento. La metodología usada es el meta-análisis ya que la investigación analiza los diversos estudios

que se han realizado sobre el uso de cenizas volantes en la producción de cemento y su potencial para reducir las emisiones de carbono.

Entre los principales hallazgos de esta investigación plantea el uso de cenizas volantes en la producción de cemento puede reducir las emisiones de CO₂ hasta en 3 millones de toneladas después de 12 meses de producción. Además, la investigación encontró que el modelo de dinámica del sistema utilizado para simular las emisiones de CO₂ de la producción de cemento CEM I, CEM II A e V y B e V fue efectivo para predecir el potencial de reducción de emisiones de CO₂ cuando las cenizas volantes se utilizan como sustitución del clínker en la producción de cemento. Finalmente, la investigación encontró que la evaluación del ciclo de vida de la industria cementera española mostró que el potencial de reducción de emisiones de CO₂ cuando las cenizas volantes se utilizan como reemplazo del clínker en la producción de cemento es significativo.

De este grupo se puede concluir que el correcto manejo de los principales contaminantes emitidos por la producción de cemento, así como el potencial de la modelización informática y el uso eficiente de la energía, puede mejorar la calidad del aire. Se discutió los impactos ambientales y de salud a causa de la producción de cemento, y las tendencias actuales en el campo de la producción de cemento que se están utilizando para reducir estos impactos, además del uso de las cenizas volantes como material alternativo. De todo esto se dedujo que las cenizas volantes se pueden llegar a usar como reemplazo del clínker, uno de los materiales más contaminantes de la industria.

5.3 Evaluación de los diversos procesos de producción de la industria cementera:

En este grupo se encuentran los documentos, artículos e investigaciones que muestran algunos estudios que se han realizado a los procesos de fabricación de los tipos de cemento más contaminantes como el cemento Portland, con mezclas de materiales sustitutos como lo son la escoria granulada molida, el humo de Sílice, entre otros, los cuales ayudaron a reducir el porcentaje de contaminación que estos causan en el medio ambiente .

El artículo de Kamel Mohamed Rahla, Ricardo Mateus y Luís Bragança (2019) trata acerca del proceso de fabricación del Cemento Portland Ordinario (OPC) está vinculado a riesgos potencialmente adversos, tiene consecuencias sobre el medio ambiente, ya que consume cantidades considerables de recursos y libera enormes cantidades de CO₂ a la atmósfera. El objetivo de este trabajo fue investigar el desempeño ambiental, económico y funcional de las mezclas de hormigones mixtos binarios que contienen cenizas volantes (FA), escoria de alto horno granulada molida (GGBFS) y Humo de Sílice (SF) a diferentes porcentajes de sustitución de OPC. Usando el método MARS-SC, los hormigones se compararon y clasificaron según su rendimiento de sostenibilidad, sobre la base de una lista de quince indicadores de sostenibilidad.

Los resultados mostraron que el concreto que contenía 40% de GGBFS se clasificó como el más sostenible entre las mezclas estudiadas, ya que presentó las compensaciones más adecuadas para lograr el desempeño más alto en sustentabilidad. El hormigón con 15% de SF fue catalogado como el menos sostenible, con un nivel de sostenibilidad inferior al del hormigón convencional. Desde una perspectiva de sostenibilidad, se encontró que la tasa de reemplazo es: 40% para GGBFS, 5% para SF y 20% para FA, lo que significa que exceder

esa relación de sustitución probablemente conducirá a un hormigón mixto binario con un nivel de sostenibilidad más bajo.

En el artículo de Y.K. Chen, Y. Sun, K.Q. Wang, W.Y. Kuang, S.R. Yan, Z.H. Wang y H.S. Lee (2022) demostró la viabilidad de utilizar polvo de cáscara de huevo (ESP) de residuos biológicos como material de relleno potencial. Se utilizaron múltiples métodos experimentales que involucran potencial zeta, calorimetría isotérmica, prueba de resistencia a la compresión, difracción de rayos X (XRD), infrarrojo de transformada de Fourier espectroscopía (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados mostraron que el potencial zeta de ESP está controlado por la adsorción dependiente de la concentración de Ca^{2+} , y se ve menos afectado por el pH de la solución alcalina. Debido a la afinidad de ESP con Ca^{2+} , efecto de nucleación heterogénea se facilitó y se encontró que se formaban y crecían más hidratos en la superficie de ESP. Por lo tanto, la hidratación del cemento está incrementada. Esta conclusión también fue respaldada por las curvas de calor de hidratación acumuladas desacopladas y las observaciones microscópicas. A través de análisis XRD y FTIR, se puede inferir que el carbonato de calcio en el ESP puede reaccionar con la fase de aluminio en el cemento para producir monocarboaluminato. Se realizó una evaluación para analizar la emisión de dióxido de carbono. Se concluyó que en este estudio un ESP nivel de reemplazo de alrededor del 5% proporciona el mejor rendimiento y reduce la contaminación ambiental.

El artículo de Hrvoje Mikulcic, Heriberto Cabezas, Milan Vujanovic y Neven Duic (2016) plantea que la industria del cemento necesita adoptar tecnologías más eficientes energéticamente para reducir su demanda de combustibles fósiles y el impacto en el medio ambiente. El objetivo de esta investigación es analizar la Huella Energética y Ecológica de

diferentes cementeras y sus procesos de fabricación. Las medidas de mitigación consideradas en este trabajo fueron el uso de combustibles alternativos y un proceso de horno más eficiente energéticamente. Con el fin de estimar el efecto de sostenibilidad de las medidas antes mencionadas, se calcularon para cuatro escenarios diferentes.

Los resultados muestran que Energy, debido a la alta masa de entrada de materia prima necesaria para la producción del clinker, se mantiene más o menos al mismo nivel. Sin embargo, para la Huella Ecológica, los resultados muestran que combinando el uso de combustibles alternativos junto con un proceso de horno más eficiente energéticamente, se puede reducir el impacto ambiental por el proceso de fabricación de cemento.

El artículo de Deborah N. Huntzinger y Thomas D. Eatmon (2008) trata del aumento de la preocupación por el impacto de las emisiones antropogénicas de carbono en el clima mundial. En este documento se busca evaluar el impacto ambiental de cuatro procesos de fabricación de cemento: (1) la producción de cemento Portland tradicional, (2) cemento mezclado (puzolanas naturales), (3) cemento en el que el 100% del polvo del horno de cemento se recicla en el proceso, y (4) cemento Portland producido cuando el polvo del horno de cemento (CKD) se utiliza para secuestrar una parte de las emisiones de CO₂ relacionadas con el proceso. El análisis realizado con el programa informático SimaPro 6.0 muestra que los cementos mezclados son los que más reducen el CO medioambiental, seguido de la utilización de CKD para el secuestro. El reciclado de CKD presenta escasos ahorros en comparación con el proceso tradicional.

Se puede concluir de esta categoría que hay diversas mezclas que se pueden realizar con materiales alternativos en la producción de cemento. Se debe tener en cuenta que estas

mezclas deben contar con unas prácticas ambientales, económicas y funcionales específicas para lograr un desempeño más alto en sustentabilidad. Por otro lado, esta categoría nos permite apreciar cómo un pequeño cambio en el proceso de producción puede disminuir sustancialmente las emisiones de CO₂.

6. Referente teórico

Actualmente, se puede evidenciar una constante contradicción entre buscar un crecimiento económico ilimitado versus las realidades ambientales y sociales de un territorio determinado, puesto que, durante mucho tiempo se ha tenido una actitud de indiferencia hacia el medio ambiente, ya que se ha buscado un crecimiento económico sin límites y sin importar las consecuencias a largo plazo.

Hoy en día, esta conciencia se está viendo reemplazada por una conciencia que sabe de la importancia de los costos del desarrollo y el progreso naturales y humanos, que busca un bienestar no solo para las generaciones actuales sino también para las futuras y a que a su vez procura encontrar un equilibrio entre ambas partes, a todo esto es a lo que hoy en día se le determina desarrollo sostenible.

La pregunta hasta este punto debería ser ¿Cuál es la importancia del desarrollo sostenible? y su respuesta es muy sencilla y es que se debe a que tenemos unos recursos naturales que son limitados (agua potable, nutrientes en el suelo, minerales, entre otros.), y que cada vez, son más susceptibles a agotarse, ya que el uso incorrecto de estos recursos, puede llevar a grandes problemas en el medio ambiente, los cuales pueden llegar a ser irreversibles.

Es por esto que la industria cementera se debe ver obligada a optar por medidas que le ayuden a prevenir futuros escenarios relacionados con la contaminación ambiental y los conflictos sociales que puedan surgir debido a esto. Pues, aunque este es uno de los sectores económicos de mayor relevancia a nivel mundial, dado a la generación de empleo, el comercio de materiales y la creación de infraestructura esencial para el desarrollo social, es a su vez, uno de los sectores que produce más efectos negativos en el medio ambiente.

Por esta razón es necesario explicar los tres tipos de enfoques relacionados con el objetivo común de conseguir el desarrollo sostenible, pues esto ayudará a demostrar que la industria cementera busca tener un enfoque económico en el cual se preocupa por un avance en el sector sin dejar de lado el cuidado del medio ambiente, pero esto se profundizará más adelante. Estos enfoques son:

6.1 Enfoque ecologista

Según el enfoque de la economía verde o ecológica, el camino hacia el desarrollo sostenible se logra a través de la implementación de planes y estrategias que permitan el suministro constante de alimentos, agua potable y energía más limpia para asegurar la supervivencia humana presente y futura. Sin embargo, este enfoque descuida la dimensión distributiva de la economía para abordar la pobreza y se centra exclusivamente en los límites naturales del planeta, reconociendo la insostenibilidad del desarrollo permanente.

Este enfoque requiere de la colaboración de los gobiernos, empresas, ONG y la sociedad en general para lograr la correcta implementación de los planes y estrategias para la economía verde.

En el ámbito gubernamental, es imperativo implementar políticas inclusivas que promuevan la equidad en la distribución de recursos y el acceso a oportunidades, al tiempo que se fomenta la creación de empleos en sectores sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

El sector productivo debe comprometerse a mejorar la gestión del agua, reducir significativamente las emisiones de contaminantes atmosféricos y minimizar la generación de desechos peligrosos como parte de su responsabilidad ambiental y social.

En cuanto a la comunidad en general, es esencial que se asuma la responsabilidad de gestionar de manera responsable los desechos domésticos y se adopten cambios en los patrones de consumo excesivo de bienes, promoviendo un estilo de vida más sostenible.

Por otro lado, es esencial reconocer los obstáculos que ralentizan el avance de las políticas verdes, como los costos que los Estados deben afrontar al implementar iniciativas como la creación de empleos verdes. También, es importante considerar la influencia negativa que pueden ejercer las grandes industrias y sus propietarios al resistirse a adoptar nuevas formas de producción y prácticas más amigables con el entorno.

6.2 Enfoque sectorial

Desde esta perspectiva, se plantea que el concepto de desarrollo sostenible puede aplicarse en distintos sectores, como el gubernamental, industrial y la población en general, a través de estrategias adecuadas y adaptadas a cada actividad y sus objetivos específicos. Es necesario planificar y desarrollar actividades con planes diversificados de uso de recursos naturales, estudios de ordenamiento y evaluación de impacto ambiental, así como el uso de tecnologías menos dañinas y la distribución equitativa de los beneficios económicos entre los actores involucrados en el proceso productivo.

Este enfoque plantea que un sector productivo será sostenible y sustentable en el tiempo si no tiene un impacto negativo en el medio ambiente y si genera un beneficio económico periódico. Este enfoque es inherentemente limitado en su alcance geográfico, sectorial y en la cantidad de individuos involucrados, sin embargo hasta el momento ha sido la única manera de hacer operativas algunas ideas de la sostenibilidad, no obstante, es evidente que soluciones aisladas y de pequeña escala no pueden conducir ni nunca conducirán a un verdadero desarrollo sostenible.

Ejemplos de este enfoque incluyen la agricultura sostenible, el ecoturismo, la industria limpia y la pesca sostenible, entre otros. Si se aplica a propuestas de desarrollo urbano específicas y a una población determinada, se considera un enfoque sectorial del desarrollo sostenible.

6.3 Enfoque económico

El enfoque económico sostenible se basa en la idea de que la economía y el medio ambiente pueden coexistir en armonía, y que el crecimiento económico puede ser alcanzado de manera

sostenible sin agotar los recursos naturales. Este enfoque es el más predominante a nivel global, ya sea en países desarrollados o en vías de desarrollo. Esta perspectiva busca principalmente garantizar un equilibrio entre el bienestar humano y el crecimiento económico a través de la satisfacción de las necesidades básicas de las personas mediante la producción y la prestación de servicios. En este enfoque, la naturaleza se considera fundamental como herramienta para mejorar la calidad material de la vida humana a través de su explotación.

A pesar de que esta perspectiva no considera el agotamiento de los recursos, si considera que el crecimiento económico es una condición necesaria para proteger el medio ambiente puesto que basa la inversión como objetivo para alcanzar el desarrollo sostenible, esta concepción apuesta por un "*crecimiento inteligente*" de la economía pues espera que el crecimiento económico y el fortalecimiento de la competitividad se traduzcan en inversión privada en la naturaleza y la biodiversidad, y en una disminución absoluta de las emisiones peligrosas al medio ambiente gracias al desarrollo tecnológico de la empresa privada.

Se argumenta que la humanidad tiene una tendencia natural a buscar un constante crecimiento en la producción y el consumo. La premisa básica es que el crecimiento económico es una condición necesaria para mejorar la protección y la regeneración del medio ambiente, ya que fomentará la inversión privada interesada en proteger los ecosistemas. Además, se considera que el crecimiento económico es esencial para el desarrollo sostenible del mundo, ya que solo a través de él se podrán distribuir los recursos de manera equitativa y reducir la marginación. En ausencia de crecimiento, no se puede alcanzar la igualdad.

Según la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, se requiere de un crecimiento económico que se base en políticas que apoyen y amplíen los recursos

ambientales, ya que se considera que dicho crecimiento es esencial para reducir la pobreza que persiste en gran parte del mundo en desarrollo. Sin embargo, para lograr este objetivo, es fundamental el desarrollo de nuevas tecnologías y el aporte de la ciencia en temas como la producción, la urbanización y los procesos industriales que aseguren la satisfacción de las necesidades y deseos de la población en constante aumento en el planeta.

En resumen, el enfoque económico de la sostenibilidad busca lograr un equilibrio entre el crecimiento económico, la protección ambiental y la justicia social. Diferentes autores han propuesto distintas estrategias para lograr esta meta, desde el "crecimiento cero" propuesto por Herman Daly hasta la inversión en tecnologías verdes propuesta por Jeffrey Sachs.

Paul Hawken, en su libro "La ecología de comercio" (1993), sostiene que el comercio y la industria no tienen que ser incompatibles con la sostenibilidad. Él argumenta que los negocios pueden ser una fuerza positiva para el medio ambiente, siempre y cuando se adopten prácticas ecológicas y se promueva la responsabilidad social.

Herman Daly, en su obra "Economía ecológica" (2002), propone una economía que reconozca los límites de los recursos naturales y la capacidad de carga del planeta. Daly sugiere que el crecimiento económico debe ser desacoplado del aumento en la extracción de recursos naturales y la producción de residuos, y que se deben implementar medidas para desalentar el consumo excesivo. Daly, H. E. (2002). Economía ecológica. Fondo de Cultura Económica.

Amartya Sen, en su libro "Desarrollo y libertad" (2000), aboga por un enfoque de desarrollo sostenible que tenga en cuenta no sólo los factores económicos, sino también los sociales y

políticos. Sen sostiene que la pobreza es un impedimento para el desarrollo sostenible y que se deben abordar las desigualdades sociales para lograr una economía sostenible y justa. Sen, A. (2000). Desarrollo y libertad. Planeta.

Jeffrey Sachs, en su obra "El fin de la pobreza" (2005), argumenta que el crecimiento económico sostenible es la clave para erradicar la pobreza en todo el mundo. Sachs sostiene que el desarrollo sostenible debe ser impulsado por la innovación tecnológica y el aumento de la productividad, pero también por la protección del medio ambiente y la inclusión social. Sachs, J. D. (2005). El fin de la pobreza. Debate.

En conclusión, muchos casos de "desarrollo" han llevado a un aumento de la pobreza, vulnerabilidad y degradación ambiental. Debido a esta necesidad urgente surgió un nuevo concepto de desarrollo, el "desarrollo sostenible", que protege el progreso humano hacia el futuro. Muchas acciones actuales supuestamente dirigidas al progreso son insostenibles y ponen una carga pesada sobre los recursos naturales limitados. Aunque puedan beneficiar a nuestra generación, dejan pérdidas para nuestros hijos. La Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo plantea que la humanidad tiene la capacidad para lograr un "desarrollo sostenible" que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. El concepto de desarrollo sostenible implica limitaciones y requiere una distribución más equitativa de los recursos para aquellos que más los necesitan. Esta equidad requiere el apoyo de sistemas políticos que garanticen una mayor participación ciudadana en los procesos de toma de decisiones, es decir, más democracia a nivel nacional e internacional.

En el contexto de la industria cementera, es esencial reconocer que el enfoque no debe limitarse únicamente a la maximización de las ganancias económicas. Se requiere la implementación de estrategias orientadas a la innovación en productos y servicios. Esto implica adoptar un enfoque integral en el desarrollo del modelo de negocio para mantener la competitividad en los mercados, siguiendo la fórmula de la sostenibilidad que es: gestión económica + la gestión ambiental + la gestión social. Solo mediante este enfoque holístico podremos avanzar hacia un futuro más sostenible en la industria cementera.

En el ámbito de la sostenibilidad, se busca proporcionar a este tipo de negocio una perspectiva distintiva. Esto implica no perder de vista la relevancia de los rendimientos económicos, pero al mismo tiempo, contribuir al desarrollo incorporando los aspectos ambientales y sociales. Sin mantener un equilibrio entre estos tres pilares fundamentales del desarrollo, las empresas, las naciones y la comunidad global en su conjunto no podrán perdurar a largo plazo.

La exclusiva atención a los resultados económicos descuida aspectos cruciales que son determinantes en las organizaciones actuales. Obtener beneficios financieros a expensas de factores esenciales para el medio ambiente y el progreso social conlleva efectos desequilibrados y desigualdades que perjudican la evolución de una empresa. Estos aspectos resaltan la trayectoria y el impacto de la organización en su entorno.

En la industria cementera, se vuelve imperativo promover una cultura que colabore y se alinee con las estrategias empresariales contemporáneas que tienen como objetivo el desarrollo sostenible. Estas estrategias están dirigidas a:

1. Generar un valor económico a corto y largo plazo, al mismo tiempo que aportan beneficios sociales y ambientales significativos.
2. Promover un conocimiento profundo y una gestión eficiente de los recursos, minimizando el desperdicio y maximizando la eficiencia.
3. Reconocer la importancia de proporcionar un nivel de bienestar adecuado tanto para las generaciones actuales como para las futuras, garantizando un equilibrio entre el progreso económico, social y ambiental.
4. Implementar análisis continuos que permitan a las organizaciones adaptarse constantemente a las cambiantes necesidades socioeconómicas del país y de la sociedad en general.
5. Comprometerse de manera genuina con la calidad en todas las facetas de la operación, asegurando estándares elevados y coherentes en sus productos y servicios.

Si el sector construcción, más específicamente la industria cementera logra generar ese equilibrio entre lo económico y lo ambiental, no solo seguirá siendo uno de los sectores económicos de mayor crecimiento e importancia a nivel mundial, sino que impactará de una manera muy positiva la generación presente y futura, pues dejará un mejor planeta para los que llegan.

6. DESARROLLO METODOLÓGICO

6.1 Enfoque: Cualitativo

Históricamente, han surgido dos enfoques de investigación bien definidos, el enfoque cualitativo y cuantitativo. Cada uno de ellos se fundamenta en sus respectivos paradigmas respecto a la concepción de la realidad y la adquisición del conocimiento. En el contexto de la presente tesis centrada en la sostenibilidad ambiental, nos centraremos en detallar el enfoque cualitativo como el abordaje metodológico de elección para este estudio.

Por enfoque cualitativo se entiende “al procedimiento metodológico que utiliza palabras, textos, discursos, dibujos, gráficos e imágenes para comprender la vida social del sujeto a través de los significados desarrollados por éste” (Mejía, como se citó en Katayama, 2014, p. 43).

El enfoque cualitativo, según la definición proporcionada por Mejía (como se citó en Katayama, 2014, p. 43), se refiere a una metodología que se vale de elementos como palabras, textos, discursos, dibujos, gráficos e imágenes para adentrarse en la vida social del individuo, explorando los significados que este construye. A partir de esta perspectiva, la investigación cualitativa se caracteriza por su enfoque en la descripción profunda de los fenómenos, con el propósito fundamental de comprenderlos y explicarlos. Este enfoque se apoya en la aplicación de métodos y técnicas derivados de sus fundamentos epistémicos, tales como la hermenéutica, la fenomenología y el método inductivo. En esencia, la investigación cualitativa busca capturar la riqueza y complejidad de las experiencias humanas y sociales, priorizando la comprensión contextual y la interpretación de los datos recopilados.

El análisis cualitativo está basado en el pensamiento de autores como Max Weber. Es inductivo, lo que implica que “utiliza la recolección de datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación” (Hernández,

Fernández y Baptista, 2014). A diferencia de la investigación cuantitativa, que se basa en una hipótesis, la cualitativa suele partir de una pregunta de investigación, que deberá formularse en concordancia con la metodología que se pretende utilizar.

Este enfoque busca explorar la complejidad de factores que rodean a un fenómeno y la variedad de perspectivas y significados que tiene para los implicados (Creswell, 2003). La investigación cualitativa considera que la realidad se modifica constantemente, y que el investigador, al interpretar la realidad, obtendrá resultados subjetivos (Bryman, 2004). A diferencia de la investigación cuantitativa, que basa sus resultados en datos numéricos, la investigación cualitativa se realiza a través de diferentes tipos de datos, tales como entrevistas, observación, documentos, imágenes, audios, entre otros.

6.2 Tipo: Investigación Descriptiva

En el contexto de una tesis centrada en la sostenibilidad ambiental, la investigación descriptiva se enfoca en identificar y detallar las características de la población o fenómeno bajo estudio. Esta metodología se concentra en responder al 'qué', en lugar del 'por qué', priorizando la tarea de proporcionar una visión precisa de la naturaleza de un segmento demográfico o situación particular. Su objetivo principal radica en describir exhaustivamente el tema de investigación sin adentrarse en las causas subyacentes. Como ejemplo aplicado a la sostenibilidad, consideremos una empresa del sector de la construcción interesada en evaluar el impacto de las emisiones contaminantes generadas por sus plantas de producción en los Estados Unidos. Esta empresa llevaría a cabo una serie de estudios y recopilaría datos en la región correspondiente para luego llevar a cabo una investigación descriptiva que detallaría minuciosamente las características y magnitud de dicho impacto, sin necesariamente explorar las razones específicas detrás de este fenómeno ambiental.

La investigación da cuenta de detalles sobre «cuál son las emisiones negativas y lo que estas producen en el medio ambiente», pero no cubrirá ningún detalle sobre «por qué» se obtienen esos patrones, ya que para la empresa cementera que intenta ser más amigable con el medio ambiente, entender cuáles son esos efectos negativos es el objetivo del estudio.

6.3 Método Documental

El método de investigación documental se utiliza principalmente en los estudios cualitativos. Implica un acercamiento indirecto a la realidad, basado en fuentes secundarias. Por ello, para la realización de esta tesis se accede a datos disponibles en fuentes escritas o visuales que han sido generados por personas, investigadores e instituciones que están enfocados en el mismo propósito. Como menciona Ruiz (2012), se accede al contenido de los documentos escritos sin cambiarlos o modificarlos.

De esta manera, a través del análisis del texto escrito se accede a situaciones, experiencias, actividades y conocimientos diversos. Es decir, este es un método válido para analizar diversos discursos escritos en sus propios contextos, emitidos por personas o instituciones, sin alterar su contenido. Los documentos que se han usado, son documentos oficiales, gubernamentales, políticos, institucionales y de gestión pública o privada. Sabiendo que entendemos por documentos a “todo material al que se puede acudir como fuente de referencia, sin que se altere su naturaleza o sentido, los cuales aportan información o dan testimonio de una realidad o un acontecimiento” (Bernal, 2010, p.11).

El método de investigación documental es diferente de aquél que se enfoca en el análisis de contenido. Por un lado, como manifiesta Ruiz (2012), el primero permite identificar, seleccionar y organizar la información del documento escrito con la finalidad

de dar cuenta según las categorías de análisis de la investigación. Por otro lado, el segundo suele usarse en estudios cualitativos y cuantitativos, y no solo se queda en la selección y análisis de la información, sino que procura una interpretación en base a ciertos criterios, al realizar inferencias y, a veces, al procurar la generación de nueva información.

Es decir, el análisis cualitativo de contenido no se queda en reconocer el dato informativo, sino que examina intensamente el lenguaje con el propósito de clasificar grandes cantidades de texto según las categorías que representan significados similares. Estas categorías pueden representar comunicación explícita o tácita.

Entre otros, los objetivos de la investigación documental son:

- **Facilitar la Sistematización y Organización del Conocimiento:** Contribuir al proceso de estructurar y ordenar los elementos de conocimiento relacionados con la sostenibilidad ambiental, lo que permite una comprensión más clara y eficiente de los datos y conceptos relevantes.
- **Ampliar la Asimilación del Conocimiento Existente:** Ayudar en la asimilación y comprensión más profunda de los conocimientos previos ya generados en el campo de la sostenibilidad ambiental, fomentando la base de conocimiento de la cual se parte en la investigación.
- **Promover la Verificabilidad de las Conclusiones:** Facilitar la formulación de afirmaciones y conclusiones basadas en evidencia sólida, lo que permite que estas sean susceptibles de verificación y validación, contribuyendo así a la rigurosidad científica de la tesis.

- **Apoyar la Memoria y Retención del Conocimiento:** Reforzar la capacidad de retención y recordación de información relevante para la investigación, lo que facilita la incorporación de datos clave en el proceso de análisis y toma de decisiones.

Estos puntos resaltan la importancia de una metodología efectiva en una tesis enfocada en sostenibilidad ambiental, ya que una metodología sólida es fundamental para la generación de conocimiento confiable y la toma de decisiones informadas en este campo crucial.

En el proceso de investigación documental se requiere primero que nada una fase de investigación; es decir, la búsqueda e identificación de fuentes de información, su localización y obtención, etcétera.

Una vez analizadas y valoradas es necesario sistematizar toda la información que consideremos valiosa. Después debemos determinar la modalidad de exposición de la información encontrada, esto es, la manera de presentar tal información.

Etapas del proceso de investigación documental:

1. Selección del tema
2. Recopilación de la información
3. Análisis y sistematización de la información
4. Integración, redacción y presentación del producto de investigación documental.

Estas etapas son fundamentales para llevar a cabo una investigación documental sólida en el contexto de una tesis sobre sostenibilidad ambiental. La meticulosidad en la selección de

fuentes, el análisis riguroso de la información y la presentación clara de los resultados son clave para el éxito en esta área de estudio.

En resumen, deseamos enfatizar la importancia de la investigación documental como un enfoque científico sólido, aplicable tanto en contextos cuantitativos como cualitativos. Al considerar los principios que respaldan este tipo de investigación, se hace evidente la complejidad inherente al proceso y la necesidad de ejercer un cuidado meticuloso y rigor en particular en las etapas de análisis e interpretación. Estas habilidades son cruciales para aquellos que buscan lograr objetivos innovadores y concretos en el ámbito de la investigación. Por lo tanto, resulta esencial que, al explorar las fuentes originales de los autores y sus trabajos, se experimente una conexión cercana con el proceso de construcción del conocimiento y el desarrollo del pensamiento científico, tanto en términos temporales como espaciales.

7. Análisis de información

El análisis de la información se centrará en el tema de la sostenibilidad medioambiental enfocado en la línea de clima y energía, y el cual se aplicará a Holcim, específicamente a uno de sus alcances con los cuales buscan alcanzar el “Net Zero”.

Holcim busca reducir las emisiones a través de tres alcances diferentes que informan su enfoque hacia el “Net Zero”. Como ya se ha mencionado anteriormente, El Alcance 1 se centra en las emisiones que surgen por el proceso de producción del cemento, el Alcance 2 incluye las emisiones indirectas de la generación de electricidad comprada y consumida en los equipos que posee o controla la empresa y es el alcance en el cual se enfocará el análisis. Por último, se encuentra el Alcance 3, este incluye otras emisiones indirectas por la extracción y producción de materiales, además de los combustibles comprados y el transporte de los productos.

Holcim viene implementando diversas estrategias que apuntan a reducir el impacto ambiental de sus procesos, maximizando su potencial y los valores de la compañía, además de trazarse metas para el 2030 y 2050 que ayuden a mantener un impacto positivo en la sociedad y el medioambiente.

Uno de sus compromisos con el liderazgo en sostenibilidad comienza con la huella de carbono. Tener un menor consumo de energía por tonelada de cemento producido, principalmente mediante el uso de combustibles alternos y la mejora de la eficiencia de los procesos de la compañía con importantes inversiones. Le apuestan a la sostenibilidad en cada uno de sus procesos.

Pilares de sostenibilidad de Holcim

La base del desempeño sostenible de Holcim se enmarca en el Plan 2030, que está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), definidos por la Organización de Naciones Unidas, focalizándose en cuatro áreas específicas, en donde se puede realizar su mayor aporte: Clima y Energía, Economía Circular, Ambiente y Personas, como se puede ver a continuación en la Figura 3:

Figura 3: Líneas de sostenibilidad ambiental



Objetivo	Reducción emisiones CO ₂	Incrementar el re-uso de recursos derivados de residuos	Reducción de la captación de agua	Creación de valor compartido
Indicador principal	CO ₂ emitido (kg CO ₂ /tonelada material cementante)	Cantidad de re-uso de residuos (Millón de toneladas)	Agua fresca extraída (litros de agua/tonelada de cemento)	Número de nuevos beneficiarios (Millón nuevos beneficiarios)
Desempeño 2019	561	48	299	5.9
Resultado 2018	576	52	305	2.9
Meta 2022	550	60	291	7
Meta 2030	Alcance 1: 520 Alcance 2: 13	80	262	10

Fuente: <https://www.holcim.com.co/sites/colombia/files/images/IDS%25202018-2019-v21.pdf>

En este análisis de la información nos centraremos en la línea de Clima & Energía.

1. Clima y Energía:

El cambio climático es una realidad que afecta al mundo y altera las distintas formas de vida y economías, pero también genera un cambio en los sistemas meteorológicos que cada vez son más extremos. Según información de las Naciones Unidas, Junio de 2023 quedará en los anales de la historia marcando 0,5 °C por encima del promedio del periodo 1991-2020, y superando el anterior récord de junio de 2019, según el Servicio de Cambio Climático de Copernicus de la Unión Europea, que colabora con la OMM.

A esto se le suma que los niveles de dióxido de carbono (CO₂) y de otros gases efecto invernadero en la atmósfera aumentan año tras año. Por eso, desde Holcim trabajan día a día en una operación

responsable, bajo el marco del desarrollo sostenible y sustentada en políticas, estrategias y planes pensados para aportar a la mitigación de estos efectos, y de cara a las comunidades, educar, sensibilizar y crear proyectos para generar un efecto positivo que llame a la acción y al compromiso.

Frente al clima, su foco es reducir las emisiones netas de CO₂ por tonelada de material cementante en lo cual se está trabajando a través de los alcances y además buscar ayudar a sus clientes a través de su portafolio de productos y servicios sostenibles, a evitar esas emisiones generadas por los edificios y la infraestructura haciendo un cemento más ecológico, para así, seguir posicionándose como la compañía del sector con la mayor eficiencia de CO₂. El fin es además, en línea con el acuerdo climático global celebrado en París en la COP21, comprometerse a revisar este objetivo periódicamente para adaptarse a las innovaciones técnicas y a la evolución de las regulaciones del cambio climático.

Por otro lado, la eficiencia energética en los procesos de producción hace una contribución relevante en el uso responsable de la energía, por lo tanto, se consumen menos recursos, lo que contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Como parte de su compromiso para lograr la reducción de emisiones en alcance 2 introduciendo energías limpias en sus procesos, generando energía a través de gases residuales e instalando paneles solares.

Meta 2030

Holcim se ha trazado el objetivo de reducir el nivel de emisiones a 490 Kg de CO₂ por tonelada de material cementante al año 2030.

A continuación, se puede observar en la Tabla 2 y en la Tabla 3, el histórico de emisiones generadas en los últimos dos años en las 3 plantas de Holcim escogidas para este análisis.

Solo se cuentan con históricos a partir del 2021 ya que desde esta fecha se empezó a hacer un seguimiento específico de la información en pro de alcanzar los objetivos trazados para 2030 y 2050.

Tabla 2: Histórico de emisiones generadas en el año 2021

Scope 2 - 2021			
Sitio	Abreviatura del sitio	KG de CO2 emitidos por tonelada de cemento producido	Total de toneladas de CO2 emitidas
Alpena Cement Plant	ALP	30	57,207
Hagerstown	HT	50	33,674
Paulding Plant	PDG	69	22,586

Tabla 3: Histórico de emisiones generadas en el año 2022

Scope 2 - 2022			
Sitio	Abreviatura del sitio	KG de CO2 emitidos por tonelada de cemento producido	Total de toneladas de CO2 emitidas
Alpena Cement Plant	ALP	31	62,124
Hagerstown	HT	39	25,006
Paulding Plant	PDG	68	21,814

Fuente: Elaboración propia

En la planta de Alpena se puede ver un aumento en las emisiones de CO2 debido a un crecimiento en la producción, ya que a finales del año 2020 y comienzos del año 2021 se estaba culminando un periodo de recesión a causa del COVID 19 en el que la actividad de la empresa no estaba al 100%.

Por consiguiente, en el año 2022 que se reactivaron los procesos en su totalidad, se puede ver que la producción aumentó, pero también la contaminación emitida.

Acciones Holcim

El Equipo de Energía de Holcim para Norte América se centra principalmente en los acuerdos de compra de energía, gas natural, carbón, entre otros, ya que, estos son los recursos principales para la generación de energía en los procesos de producción.

Dentro de este, equipo se cuenta con varias sub categorías, entre esas se encuentra un dedicado grupo de personas que se encarga de todo el tema de "Sostenibilidad". Este equipo se enfoca en negociar, implementar y gestionar acuerdos de compra de energía con costos competitivos que brinden oportunidades de reducción de CO2/GEI.

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, GEI o Mitigación de Gases Efecto Invernadero es:

La gestión que busca reducir los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, a través de la limitación o disminución de las fuentes de emisiones, como la deforestación, la industria, el transporte, ganadería, entre otros y el aumento o mejora de los depósitos y reservas. Su gestión incluye todas las políticas, estrategias, programas, proyectos, incentivos o desincentivos, orientados a limitar o reducir las emisiones de GEI y mejorar los depósitos de carbono, de acuerdo a lo pactado en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático -CMNUCC-.

(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022, párr 1)

Los acuerdos que hace el grupo de sostenibilidad pueden ser presenciales (PPA) o no presenciales a través de un mecanismo virtual (VPPA), utilizan energía eólica, solar y solar/batería y además le dan

prioridad a la cobertura de Plantas de Cemento mientras se extiende la cobertura a Terminales, Sitios Agrícolas, etc

Diferencia entre PPA y VPPA: Un acuerdo PPA le proporciona electricidad y REC (certificados de energía renovable) , mientras que un VPPA le proporciona REC y la electricidad se vende en su nombre, es decir que es un contrato financiero entre el proveedor de energía y el comprador, pero no hay entrega de electricidad en un lugar físico. Es estrictamente un contrato financiero por el valor primario de la energía.

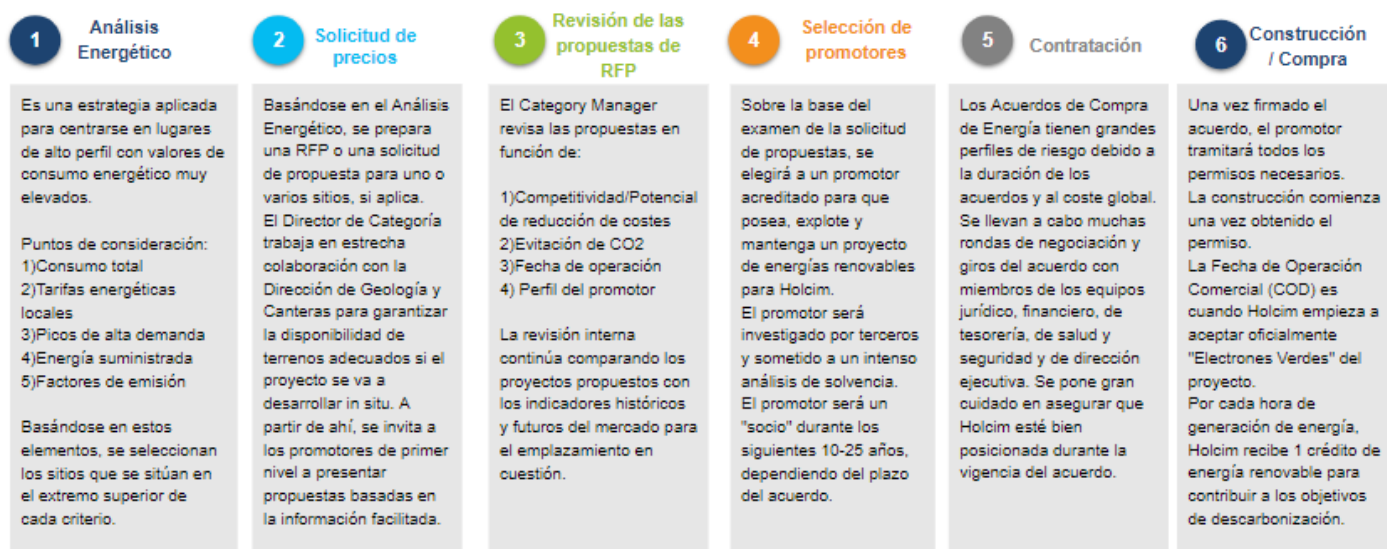
SOSTENIBILIDAD Y ACUERDOS DE COMPRA DE ENERGÍA

Visión general desde el análisis hasta la extracción de energía verde

A continuación, en la Figura 4, se muestran los pasos para llegar a un acuerdo de compra de energía:

Figura 4: PPA – Acuerdo de compra de energía

PPA - Acuerdo de compra de energía



Fuente: Elaboración propia*²

PROYECTOS ANTERIORES Y YA EXISTENTES

Proyectos operativos que reducen las emisiones de alcance 2, se han logrado reducir 1,000,000 de toneladas métricas de CO₂ en 2022.

1. Planta de cemento de Alpena: Recuperador de calor residual (Capacidad de 15 MW) = 50% Sustitución renovable. 562.810 TO/CO₂ evitados.
2. Hagerstown: Paneles solares instalados (10 MW de capacidad) con 20 años de duración = 24% de sustitución por energías renovables. 253.560 TO/CO₂ evitados.

² Una RFP o una solicitud de propuesta es un documento comercial que anuncia un proyecto, lo describe y solicita ofertas de contratistas cualificados para llevarlo a cabo.

3. Paulding: Instalación de un aerogenerador (turbina de viento o molino de viento) de 4,5 MW de capacidad con 20 años de duración = 30% de sustitución renovable. 178.305 TO/CO2 evitados.

4. Bath: Baterías de almacenamiento: 5,3MW de capacidad de almacenamiento en cada batería. Evitación de la aplicación de los ajustes globales debido a los picos en los precios.
Fecha estimada de funcionamiento = 31 de julio de 2021. Coste anual evitado = 1,01 millones de CHF (CHF: Francos Suizos).

Logros en 2022 y lo que se espera para años futuros:

- 46 SITIOS IMPLICADOS (1,9M TONELADAS DE CO2 REDUCIDAS)
- Ahorros del año 1 (2022) = \$3,25 millones de CHF
- Se espera para el 2023 tener un ahorro aproximado de \$0,37 millones de CHF
- Para el 2025 un ahorro aproximado de \$4,67 millones de CHF para un Total de \$8,29 millones

Contratos de compra de energía:

1. Alberta (Planta de cemento Exshaw): 2 años - 200 GWh³ PPA (acuerdo de compra de energía) = 141.736 TO/CO2 evitados. Ahorro en el primer año: 3,25 millones de CHF.
Prórroga firmada por 2 años para 2024 - 2025, 150 GWh = 106.302 TO/CO2 evitados.

³ El gigavatio hora, abreviado como GWh, es una unidad de energía que representa mil millones (1 000 000 000) de vatios-hora y equivale a un millón de kilovatios-hora. Los gigavatios hora se utilizan principalmente como medida de la producción de grandes centrales eléctricas.

2. ERCOT (TX 35 sitios): 20 MW⁴ eólicos VPPA (acuerdo de compra de energía virtual) -5 años de duración = 255.000 TO/CO2 evitados.
Fecha de entrada en funcionamiento: 01/01/2023. Ahorro estimado en el primer año = 0,33 millones de CHF.
3. Ft. Totten RMX: Proyecto para los próximos 20 años - 320 KW⁵ de paneles solares en tejado y cochera = 5.562 TO/CO2 evitados.
Fecha estimada de funcionamiento = 31/07/23. Ahorro Estimado para el año 1 = \$47,76 CHF
4. Portland planta de cemento: Proyecto para los próximos 20 años - 33 MW solares y 40 MW de almacenamiento en batería = 607.140 TO/CO2 evitados.
Fecha estimada de funcionamiento: 1er trimestre de 2025. Ahorro estimado en el primer año: 2,9 millones de CHF.

PROYECTOS DE HORIZONTE INMEDIATO E INTERMEDIO EN 42

LOCALIDADES

A continuación, se podrá observar en la Figura 5, la evitación de 3,34 millones de TO/emisiones de CO2 a través de la suma de los diferentes proyectos que están en marcha, en fase de aprobación y futuros proyectos

⁴ Un megavatio (MW) es un millón de vatios

⁵ un kilovatio (kW) es mil vatios.

Figura 5: Proyectos en fase de aprobación final y futuros proyectos

	Unidad de Negocio	Sitio	Tecnología	Tamaño/Termino	CO2 evitado (TO/CO2)
Etapas de aprobación	Cemento/Agregados	MISO(St. Gen) & 30 sites	Solar (Virtual)	76 MW 15 Years Term	1,413,822
	Cemento/Agregados	Alberta(Exshaw)	Solar (Virtual)	63 MW 12.5Year Term	885,850
	Agregados	Millville	Solar	2.78 MW 20 Years Term	49,608
Proyectos futuros	Agregados	Accokeek	Solar	13.70 MW 20 Years Term (Off-Take also going to Sparrows Point)	240,952
	Agregados	Rockville	Solar	.93 MW 20 Years Term	15,591
	Agregados	La Plata	Solar	5.68 MW 20 Years Term (Off-Take also going to Sparrows Point)	99,216
	Cemento (Terminal)	Galena Park	Solar	3.04 20 Years	51,025
	Cemento (Terminal)	Ft. Collins	Solar	.99 MW 20 Years	11,339
	Cemento (Terminal)	Detroit	Solar	1.5 MW-20 Years Term (Symbolic-International Bridge).	2,268
	Cemento	Holly Hill	Solar	15 MW 20 Years Term	326,124
	Cemento	Devil's Slide	Solar	4 MW 20 Years Term	87,423
	Cemento	Ada	Solar	7.4 MW 20 Years Term	157,058



EVITACIÓN TOTAL DE CO2 ESTIMADA A LO LARGO DE LA DURACIÓN DE LOS PROYECTOS ACTUALES Y FUTUROS:

En la Figura 6 se puede ver la equivalencia de 6,738,125 TO/CO2 que se evitaron, representados en diferentes escenarios de la vida diaria:

Figura 6: Equivalencia de 6,738,125 TO/CO₂ Evitados representado en acciones de la vida diaria.

7.500 MILLONES DE LIBRAS DE CARBÓN QUEMADAS	17.200 MILLONES DE KILÓMETROS RECORRIDOS POR COCHES DE GAS
	
8.000 MILLONES DE TELÉFONOS MÓVILES CARGADOS	15,5 MILLONES DE BARRILES DE PETRÓLEO CONSUMIDOS
	

Fuente: Elaboración propia

Casos de éxito

EXSHAW - ACUERDO DE COMPRA DE ENERGÍA EÓLICA (PPA)

Exshaw añade energía eólica a su cartera de electricidad, véase la Figura 7 como imagen de referencia de este proyecto.

Figura 7: Molinos de viento



Situación:

Las fuertes subidas y fluctuaciones de los precios de la electricidad en el mercado de Alberta, junto con los objetivos de sostenibilidad de Lafarge de aumentar el uso de fuentes de energía renovables, significaron que era el momento adecuado para acudir al mercado en busca de un PPA.

Por tal motivo se formó un equipo interfuncional compuesto por expertos de todos los niveles para determinar el alcance y los detalles correctos del proyecto.

Se hicieron peticiones de ofertas al mercado canadiense (promotores/vendedores de electricidad relacionados con la energía eólica)

Y al final, se aprovechó una asociación estratégica para obtener el mejor resultado inmediato que era asegurar el suministro de energía eólica (aprox. 30%) para las necesidades de electricidad de los años 2022 y 2023.

En este proyecto se incluyó y se aprendió de miembros con amplia experiencia, se contó con la posibilidad de reunirse con líderes del sector para aprovechar su experiencia en el mercado canadiense y elegir el paquete de CCE más adecuado.

Y se logró suministrar 100 GWh anuales, garantizar un precio estable de la energía de 31,78 \$/MWh/CFH y un ahorro al año 1 estimado de 3,20 millones de CHF.

Planta de cemento Portland:

Primer contrato de compra de energía solar y baterías de su clase, véase la Figura 8 como imagen de referencia de este proyecto.

Figura 8: Campo de paneles solares y baterías



PPA de 33 MW de paneles solares con 40 MW de baterías de almacenamiento de energía

Situación:

La planta de cemento Portland tiene el precio/MWh más alto de toda la red de EE.UU.(aproximadamente 115,16\$/MWh/CHF). Además es un mercado energético regulado (En el mercado regulado, el precio de la electricidad cambia por horas y por días, mientras que en el mercado libre son las compañías las que lo establecen, y suele ser un precio más fijo (incluso tarifas planas) por lo que deja a Holcim a merced de los cargos de la Utilidad y los aumentos sistémicos.

Por otro lado, sus facturas en más de un 50% se basan en "Cargos por Demanda" masivos, lo que significa que el proveedor calcula el cargo por demanda de su factura mensual tomando el intervalo más alto de 15 minutos de consumo de energía multiplicado por su tarifa actual por kW.

Lo que genera la necesidad de un mecanismo de alivio para evitar los crecientes cargos por demanda. Se necesita un mecanismo para fijar los precios de la energía, llevar a cabo iniciativas de descarbonización y conseguir ahorros que puedan destinarse a futuros gastos operativos de las centrales, ya que los precios del gas natural y el carbón a su vez han fluctuado en un estado de volatilidad durante los últimos 1,5 años.

Debido a todo esto, se lanza una solicitud de ofertas para conocer el alcance y los precios indicativos. El proveedor ganador fue Energies.

Se llevaron a cabo 1,5 años de negociaciones con contribuciones y aprobaciones de la Dirección de Planta, la Dirección del Terreno/Geo, Medio Ambiente/PA, la Dirección Global de Energía, NA y los miembros del EXCO Global.

Se obtuvo un alcance claramente definido en la RFP para que los promotores puedan ajustar con precisión los activos a nuestras necesidades. Se hizo un análisis preciso de los precios históricos de la energía en \$MW/h junto con la modelización de futuros "forwards".

Se logró un acuerdo de compra de energía con diseño y parámetros del sistema proporcionados por Total Energies. Además de una estimación de los costes anuales evitados: entre 1,03 y 3,38 millones de CHF durante el periodo contractual. Unas fluctuaciones basadas en las condiciones anuales del mercado, de aproximadamente \$15,49M CHF (caso base) hasta aproximadamente \$50,27M CHF (caso alto) en total.

Estimación de las emisiones de CO2 evitadas aproximadamente 41.911 toneladas por año.

Proyecto eólico de Texas (ERCOT) - VPPA "Aviator"

Negociación con éxito de un acuerdo de compra de energía virtual de 20 MW en Texas-ERCOT, véase la Figura 9 como imagen de referencia de este proyecto.

Figura 9: Campo de molinos de viento en zona cálida



Situación:

La planta de cemento de Midlothian y los emplazamientos de Agg/RMX son susceptibles de sufrir una tarificación extrema por "picos de demanda". Los precios pueden aumentar por encima del 300% en algunas horas.

Al hacer un acuerdo virtual de compra de energía:

Se bloquean los costes fijos de energía frente al precio de mercado y se obtienen créditos de energía renovable.

Por lo tanto, se realizaron dos metodologías de RFP para la fijación de precios del ERCOT VPPA.

Una RFP tradicional a través de una lista conocida de promotores (Mercado electrónico de PPA "LevelTen"), mediante negociaciones se seleccionó una lista de 3 promotores y CMS Energy fue seleccionada como ganadora debido a sus precios competitivos y plazos más cortos.

Se negoció un contrato de compra de energía virtual de 20 MW/año durante 5 años.

Holcim (US) Inc recibe 1 crédito de energía renovable por 1 MWh generado.

La suma total de los CER generados se destinará a nuestros objetivos de sostenibilidad.

Se obtuvo un alcance claramente definido en la RFP para que los promotores puedan ajustar con precisión los activos a las necesidades de Holcim.

Se hizo un análisis preciso de los precios históricos de la energía en \$MW/h junto con la modelización de futuros "forwards".

Se enlazó con la dirección de Finanzas y Tesorería para la dirección de las transacciones de derivados.

Y se obtuvo una estrecha coordinación con el Director Global de Activos de Energía y el equipo en todos los términos.

Se logró cubrir el 40% de la carga energética de ERCOT/TX con un VPPA eólico además de establecer un precio fijo competitivo para la energía sostenible.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La conservación del medio ambiente se ha convertido en uno de los ejes principales de la problemática del desarrollo socioeconómico entre los países americanos, europeos y asiáticos. En épocas recientes los indicadores de calidad de vida más importantes están relacionados con la valoración del medio ambiente en el que se vive, es por ello que este ámbito ha tenido una creciente aceptación y promoción social.

Es bien sabido que el medio ambiente ha llegado a un nivel de degradación nunca antes visto a causa de las actividades que como seres humanos llevamos a cabo, que alteran las condiciones ambientales y los recursos naturales que son vitales para nuestra supervivencia. Cuidar el medio ambiente se debe convertir en una prioridad, no solo a nivel social, sino también a nivel empresarial e industrial, siendo este último uno de los más grandes contribuyentes a la problemática expuesta, puesto que sus procesos de producción e incluso la extracción de sus materia primas, como lo es el caso de las industrias cementeras, generan grandes emisiones de CO₂ que contaminan el medio ambiente.

Uno de los principales problemas ambientales en todo el mundo es la contaminación del aire. Las emisiones de gases de efecto invernadero, causadas principalmente por la quema de combustibles fósiles, han generado un aumento de la temperatura global y un cambio climático que afecta a todos los seres vivos.

Si bien, la realización de este trabajo fue un acercamiento a esta problemática la cual muestra la estrecha relación de la industria cementera y la incidencia de esta en el medio ambiente. La tesis se enfocó en las practicas que está llevando a cabo Holcim para reducir sus emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes.

Esta tesis de MBA se gesta con la idea de brindar una perspectiva de la utilización y la implementación de tecnologías limpias y el fomento de las energías renovables junto al uso de las metodologías de investigación interdisciplinarias, que generen conocimiento y cambios sustanciales en nuestro presente a través de su estudio.

De este trabajo se puede aprender que el cemento es uno de los productos más necesarios para el crecimiento de los países, que el sector de la construcción tiene muchísima importancia para la economía global y que a su vez es uno de los sectores que más empleos genera en el mundo. Sin embargo, es también uno de los más grandes contaminantes debido a las emisiones de CO₂ que produce y que está afectando en gran manera al medio ambiente. A pesar de esto, podemos ver como algunas industrias como Holcim han comenzado a demostrar por medio de acciones y cambios en sus procesos que el sector cementero puede seguir siendo pilar en las economías globales sin necesidad de ser una de las más contaminantes, haciendo cambios que lleguen a ser un alivio para el ecosistema y ser de ejemplo para otras industrias del sector.

El sector cementero puede aprender y poner en marcha muchas de las prácticas que Holcim está adoptando en sus procesos, y además, generar relaciones estratégicas a largo plazo con esta compañía para que entre todos puedan seguir siendo una de los sectores más sólidos y que más beneficios aportan a la economía mundial mientras ayudan a disminuir el impacto medioambiental a nivel global.

Las cuatro acciones principales que se recomienda llevar a cabo son: la reducción del uso del clinker buscando materiales sustitutos para la elaboración del cemento, la reducción de emisiones de CO₂ generadas en la fabricación del clinker por medio del uso de Amonia y otros compuestos químicos que al reaccionar con los demás materiales y las altas temperaturas eviten una mayor producción de CO₂ en el proceso y que este salga al ambiente y contamine, por otro lado se sugiere una mejora de la eficiencia energética por medio de programas de energías renovables como lo son los paneles solares, los molinos de viento, las baterías y la recuperación de energía en los procesos, y por último pero no

menos importante, incentivar el desarrollo de la economía circular por medio del coprocesamiento, ya que este genera el doble de beneficio ambiental debido a la reducción de CO₂ y a su vez la eliminación segura de residuos.

Del ejercicio que ha hecho Holcim para mitigar estas emisiones se puede concluir que las medidas que se han tomado si han impactado positivamente no solo en los procesos de producción y en el flujo de caja por medio de reducción de algunos costos, estos resultados también se pueden ver reflejados en la reducción de CO₂ emitidos año tras año que han tenido nuestros procesos. A pesar de todo esto, se deberá seguir trabajando para que el conocimiento técnico del sector en relación a los avances de sostenibilidad siga creciendo, que a su vez se puedan seguir hallando nuevas maneras de mejorar sus procesos para que su impacto medio ambiental cada vez sea menor y así poder cumplir con las metas de reducción de emisiones tanto para el año 2030 como en las metas de largo plazo al año 2050.

Por último, esta tesis representa, sobre todo, una invitación a la industria cementera y a la comunidad estudiantil a diversificar los estudios, si bien, las investigaciones de corte administrativo, económico, social y político son de suma importancia, existe también la complementariedad que la historia ambiental mediante sus conceptualizaciones y amplitudes permitirá una integral asimilación de nuestro presente y la construcción de un mejor futuro.

Recomendaciones

- Reducir el consumo excesivo de recursos naturales, como energía, agua y materiales, debido a que esto está agotando los recursos naturales y a su vez, generando residuos y contaminación. Es importante reducir el consumo innecesario de estos recursos y fomentar el uso de productos y servicios sostenibles.
- Adoptar el uso de tecnologías limpias, tales como las energías renovables y los sistemas de transporte eficientes, ya que estos pueden ayudar a la reducción de las emisiones de gases contaminantes y además mejorarla eficiencia energética.
- Aumentar la eficiencia energética del proceso de fabricación del cemento.
- Ampliar la recopilación, disponibilidad y el uso de combustibles y materias primas alternativas de buena calidad, incluidos los residuos de otros sectores en un concepto de economía circular.
- Reducir aún más el contenido de clínker en los cementos para minimizar la parte del proceso intensivo en energía.
- Desarrollar nuevos tipos de cementos que requieran menos energía en sus procesos de producción y menos calcinación.
- Implementar el análisis de ciclo de vida completo para edificios y proyectos de infraestructura, que permita identificar y reducir las emisiones GEI mediante soluciones basadas en el uso de cemento y productos de hormigón.
- Evaluar iniciativas intersectoriales; en particular, la oportunidad de capturar, usar y almacenar carbono a gran escala.

9. Bibliografía

- Baldi López, G., & García Quiroga, E. (2005). Calidad de vida y medio ambiente. La psicología ambiental. *Universidades*, (30), 9-16.
- BBC News Mundo. (2021, 6 de noviembre). Los gráficos que muestran que más del 50% de las emisiones de CO2 ocurrieron en los últimos 30 años - BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-59013521>
- Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E., & Bahadori, A. (2013). Global strategies and potentials to curb CO2 emissions in cement industry. *Journal of Cleaner Production*, 51, 142–161. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.049>
- Chen, W., Hong, J., & Xu, C. (2015). Pollutants generated by cement production in China, their impacts, and the potential for environmental improvement. *Journal of Cleaner Production*, 103, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.048>
- Chen, Y. K., Sun, Y., Wang, K. Q., Kuang, W. Y., Yan, S. R., Wang, Z. H., & Lee, H. S. (2022). Utilization of bio-waste eggshell powder as a potential filler material for cement: Analyses of zeta potential, hydration and sustainability. *Construction and Building Materials*, 325(November 2021), 126220. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126220>
- Devi, K. S., Lakshmi, V. V., & Alakanandana, A. (2017). Impacts of Cement Industry on Environment-an Overview. *Asia Pacific Journal of Research ISSN, February*, 2347–4793. www.apjor.com
- Emisiones de dióxido de carbono - US EPA. (2023, junio 7). Agencia De Protección Ambiental De Estados Unidos. Recuperado 24 de agosto de 2023, de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>
- Global leader in sustainable construction | Holcim. (2023). Sustainable Construction & Building Company | Holcim. <https://www.holcim.com/>
- Holcim. (2023). Global Leader In Sustainable Construction | Holcim. Sustainable Construction & Building Company | Holcim. <https://www.holcim.com/>
- Holcim [Holcim]. (2022, mayo). POLÍTICA AMBIENTAL. Holcim. Recuperado 6 de septiembre de 2023, de <https://www.holcim.com.co/politicas-1#:~:text=Lideramos%20la%20b%20C3%20BAsqueda%20de%20alternativas,habitable%20y%20con%20su%20EF%20AC%2081cientos%20recursos.>
- Holcim [Holcim]. (2022a). Informe de sostenibilidad 2021. En Holcim. Comunicaciones Corporativas - Holcim (Colombia) S.A. Recuperado 6 de septiembre de 2023, de <https://www.holcim.com.co/sites/colombia/files/2022-11/ids-2021-holcim-colombia.pdf>

Huntzinger, D. N., & Eatmon, T. D. (2009). A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies. *Journal of Cleaner Production*, 17(7), 668–675. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.007>

Ighalo, J. O., & Adeniyi, A. G. (2020). A perspective on environmental sustainability in the cement industry. *Waste Disposal and Sustainable Energy*, 2(3), 161–164. <https://doi.org/10.1007/s42768-020-00043-y>

Jwvein & Pixabay. (2022, 14 de marzo). Las emisiones mundiales de CO2 repuntaron en 2021 hasta su nivel más alto de la historia. United Nations Climate Change. <https://unfccc.int/es/news/las-emisiones-mundiales-de-co2-repuntaron-en-2021-hasta-su-nivel-mas-alto-de-la-historia>

Lewandowska, A., Witczak, J. & Kurczewski, P. (3917). Green marketing today – a mix of trust, consumer participation and life cycle thinking. *Management*, 21(2) 28-48. <https://doi.org/10.1515/manment-2017-0003>

Maury Pertuz, A. (2010). Construcción y Medio Ambiente. MÓDULO ARQUITECTURA CUC, 9(1), 105–114. Recuperado a partir de <https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/119>

"Medio ambiente". Autor: Equipo editorial, Etecé. De: Argentina. Para: Concepto.de. Disponible en: <https://concepto.de/medio-ambiente/>. Última edición: 14 de julio de 2022. Consultado: 06 de septiembre de 2023 Fuente: <https://concepto.de/medio-ambiente/#ixzz8Cb9QvAlI>

Meyer, C. (2009). The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites*, 31(8), 601–605. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.12.010>

Mikulčić, H., Cabezas, H., Vujanović, M., & Duić, N. (2016). Environmental assessment of different cement manufacturing processes based on Emergy and Ecological Footprint analysis. *Journal of Cleaner Production*, 130, 213–221. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.087>

Miller, S. A., John, V. M., Pacca, S. A., & Horvath, A. (2018). Carbon dioxide reduction potential in the global cement industry by 2050. *Cement and Concrete Research*, 114(November 2016), 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.026>

Mitigación de Gases de Efecto Invernadero - GEI - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado 9 de septiembre de 2023, de [https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/mitigacion-de-gases-de-efecto-invernadero-gei/#:~:text=Mitigaci%C3%B3n%20de%20Gases%20Efecto%20Invernadero%20\(GEI\)%2C%20es%20la%20gesti%C3%B3n,y%20el%20aumento%20o%20mejora](https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/mitigacion-de-gases-de-efecto-invernadero-gei/#:~:text=Mitigaci%C3%B3n%20de%20Gases%20Efecto%20Invernadero%20(GEI)%2C%20es%20la%20gesti%C3%B3n,y%20el%20aumento%20o%20mejora)

Nidheesh, P. V., & Kumar, M. S. (2019). An overview of environmental sustainability in cement and steel production. *Journal of Cleaner Production*, 231, 856–871. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.251>

Our net-zero journey. (2023). Sustainable Construction & Building Company | Holcim. <https://www.holcim.com/sustainability/climate-action/our-net-zero-journey>

Poudyal, L., & Adhikari, K. (2021). Environmental sustainability in cement industry: An integrated approach for green and economical cement production. *Resources, Environment and Sustainability*, 4(March), 100024. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100024>

Rahla, K. M., Mateus, R., & Bragança, L. (2019). Comparative sustainability assessment of binary blended concretes using Supplementary Cementitious Materials (SCMs) and Ordinary Portland Cement (OPC). *Journal of Cleaner Production*, 220, 445–459. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.010>

RAMÍREZ, Teviño Alfredo, Sánchez Núñez, Juan Manuel "Enfoques de desarrollo sostenible y urbanismo ". *Revista Digital Universitaria*. 10 de julio 2009, Vol. 10, No. 7

Rodger, L. (2018, 17 de diciembre). La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías - BBC News Mundo. BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783#:~:text=En%202016,%20la%20producción%20mundial,a%20la%20producción%20de%20clínker>

Rodrigues, F. A., & Joekes, I. (2011). Cement industry: Sustainability, challenges and perspectives. *Environmental Chemistry Letters*, 9(2), 151–166. <https://doi.org/10.1007/s10311-010-0302-2>

Stephen, M. (2018, 5 de junio). The Effects of Human Intervention on the Environment. Sciencing. <https://sciencing.com/effects-human-intervention-environment-23067.html>

Tiempo, R. E. (2023, 30 marzo). Día de la Tierra: Cuidado del medio ambiente, crucial para supervivencia humana. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/dia-de-la-tierra-por-que-es-importante-cuidar-el-medioambiente-754637#:~:text=Seg%C3%BAAn%20el%20Banco%20Mundial%2C%20entre,afecta%20a%20los%20seres%20vivos>.

Tomatis, M., Jeswani, H. K., Stamford, L., & Azapagic, A. (2020). Assessing the environmental sustainability of an emerging energy technology: Solar thermal calcination for cement production. *Science of the Total Environment*, 742, 140510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140510>

Vargas, J., & Halog, A. (2015). Effective carbon emission reductions from using upgraded fly ash in the cement industry. *Journal of Cleaner Production*, 103, 948–959. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.136>

Xuan, M. yu, Bae, S. C., Kwon, S. J., & Wang, X. Y. (2022). Sustainability enhancement of calcined clay and limestone powder hybrid ultra-high-performance concrete using belite-rich Portland cement. *Construction and Building Materials*, 351(August), 128932. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128932>

Zuluaga, M., Robledo, S., Arbelaez-Echeverri, O., Osorio-Zuluaga, G. A., & Duque-Méndez, N. (2022). Tree of Science - ToS: A Web-Based Tool for Scientific Literature Recommendation. Search Less, Research More!. *Issues in Science and Technology Librarianship*, (100). <https://doi.org/10.29173/istl2696>