



# Universidad **Mariana**

Análisis ambiental de los efectos del uso del cemento basado en estudios a nivel mundial.

Cristhian Ricardo Jaimes Guio  
Leidy Vanesa Montaña Saavedra

Universidad Mariana  
Facultad Ingeniería  
Ingeniería Civil  
San Juan de Pasto  
2022

Análisis ambiental de los efectos del uso del cemento basado en estudios a nivel mundial.

Cristhian Ricardo Jaimes Guio  
Leidy Vanesa Montaña Saavedra

Trabajo De Grado Para Optar Al Título De Ingeniero Civil

Oscar Ricardo Jurado Zambrano  
Especialista en docencia universitaria  
Especialista en electrónica industrial  
Magister en sistemas automotrices  
Asesor

Javier Antonio Contreras Grijalba  
Físico puro  
Maestría en docencia universitaria  
Co-asesor

Universidad Mariana  
Facultad Ingeniería  
Ingeniería Civil  
San Juan de Pasto  
2022

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son  
responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007  
Universidad Mariana

## **Agradecimientos**

En primera instancia, agradecimiento va para cada uno de los miembros de nuestras respectivas familias, ellos hicieron que esto sea posible y el hecho de llegar tan lejos es un claro reflejo del apoyo que tuvimos de su parte, este es un gran paso para nuestro proceso formativo y es grato compartirlo con los que más nos aman.

Agradecerle a nuestro tutor por el tiempo dedicado y los conocimientos que nos brindó para el desarrollo y la materialización de una de nuestras más importantes ideas.

Por último, pero no menos importante, agradecerle a la universidad por la oportunidad de formar parte de una generación dentro de sus instalaciones y por la confianza que se nos depositó para sacar este proceso adelante.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de grado a mis padres, Luis Hernando Montaña Rosero y Susana Marisol Saavedra Burbano, que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte emocional y académica para llegar a ser una profesional en práctica.

A mi hermano, familiares y amigos por el apoyo que siempre me brindaron durante el transcurso de toda mi carrera universitaria.

Agradezco mucho por la ayuda a mis profesores, mis compañeros y a la universidad en general por todos los conocimientos que me han otorgado.

Y finalmente se la dedico especialmente a mi abuelo Luis Antonio Montaña Argoti que lastimosamente no se encuentra en este plano de mi vida, pero donde quiera que este sé que está muy orgulloso.

Leidy Vanesa Montaña Saavedra

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mi familia, uno de los pilares fundamentales en mi formación personal, principalmente a mi madre que siempre me apoyo, a mi hermana que me guio por el camino y me dio la motivación de salir adelante.

Agradezco a mi abuelo, un ser que con sus enseñanzas me mostro el sentido de la vida, de la familia y de la honra, por eso y por mucho más estoy totalmente agradecido con él y aunque no pueda estar presente en este logro, su recuerdo siempre me acompaña.

Agradezco a cada uno de los profesores que hizo posible este trabajo, que nos asesoró durante todo este proceso formativo.

Y finalmente a mi padre, cuya persona me apoyo económicamente he hizo posible que el día de hoy sea considerado un ingeniero.

Cristhian Ricardo Jaimes Guio

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a mis padres Francisco Villota y Adriana Cuastumal, que me han enseñado que los sueños se cumplen con esfuerzo y dedicación trabajando día a día, y que por más difíciles que se presenten los problemas no hay que rendirse jamás ya que siempre habrá solución, gracias por su infinito apoyo, por todo su tiempo y su amor incondicional que me han brindado.

A mis hermanos Dani y Maryori Villota por estar conmigo siempre apoyándome en cada paso que he dado.

A mis abuelos Alejandro Villota y Teresa Pastas porque siempre han estado conmigo enseñándome a salir adelante, a ser una mejor persona, apoyándome incondicionalmente, demostrándome su amor y motivándome a luchar por mis sueños.

Gracias a ustedes soy la persona que soy y estoy cumpliendo una de mis metas más importantes.

Bryan Stivens Villota Cuastumal

## Contenido

1. Resumen del proyecto .....	15
1.1. Resumen .....	15
1.2. Antecedentes de investigación.....	16
1.3. Formulación del problema.....	17
1.4. Justificación .....	17
1.5. Objetivos .....	18
1.5.1. Objetivo general.....	18
1.5.2. Objetivos específicos .....	18
2. Marco teórico .....	19
2.1. Fabricación .....	19
2.2. Tipos de cemento.....	21
2.3. Consumo de cemento.....	22
2.4. Efectos del cemento.....	22
3. Metodología .....	23
3.1. Revisión de diferentes investigaciones.....	23
3.2. Estructura de las investigaciones.....	24
4. Organización de la información encontrada .....	25
4.1. Antecedentes Internacionales.....	25
4.1.1. España .....	25
4.1.2. Ecuador .....	25
4.1.3. México .....	25
4.2. Antecedentes nacionales .....	26
5. Etapas del proceso de producción .....	26
5.1. Recolección de materias primas .....	26
5.2. Producción .....	27
5.3. Transportación.....	27
5.4. Utilización .....	27
6. Análisis de la estructura de investigación. ....	29

6.1. Materiales de Construcción Ecológica.....	29
6.2. Antecedentes de las investigaciones.....	30
6.3. Soluciones a los presentes efectos negativos .....	34
6.4. Aprovechamiento de lodo salmuera para usarlo como material cementante realizado en Colombia.....	35
6.5. Estudio de la Eficiencia energética y sostenibilidad en la industria cementera en Colombia	36
6.6. Estudio de Material de construcción con geo polímeros realizado en España .....	36
6.7. Aprovechamiento de un residuo del carbón para reducción del impacto ambiental de la minería del carbón en Colombia: estudio del potencial de uso en la industria del cemento .....	37
6.8. Mezclas ternarias en el desarrollo de materiales base cemento con un bajo impacto ambiental	38
7. Anexos.....	43

## **Índice de Tablas**

Tabla 1. Descripción de los procesos en donde se generan emisiones.....	43
Tabla 2. Matriz para organizar los resultados .....	44

## **Índice de Figuras**

Figura1. Proceso requerido para la fabricación de cemento.....	21
Figura 2. Etapas donde se generan los problemas ambientales .....	24
Figura 3. Categoría de impacto .....	28
Figura 4. Cuantificación del consumo energético en la clinkerización .....	31
Figura 5. Cuantificación del consumo de emisiones de CO2 en la clinkerización .....	32
Figura 6. Cuantificación del consumo energético en el cemento.....	32
Figura 7. Cuantificación del consumo de emisiones de CO2 en la clinkerización.....	33

**Índice de Anexos**

Metodologías para el cálculo de GEI ... ..	43
Efectos de la salud en las personas .....	44

## **Introducción**

En la actualidad, la calidad del aire es uno de los factores que se ha visto más afectado debido a las micro partículas que se han generado en exceso a lo largo de los últimos años en consecuencia con los avances en cuanto a la explotación de materias primas, la utilización de maquinaria pesada para este fin y la implementación de la industria, el aire se ha ido contaminando poco a poco, hasta un nivel preocupante, si hablamos de Colombia, las construcciones tienen un alto impacto sobre el ambiente, debido a esto se creó el decreto 1220 de 2005 el cual abarca algunas estructuras con la necesidad de solicitar un plan de manejo sustentado y la solicitud de permisos ambientales; en este aspecto se han tenido que tomar medidas preventivas frente a este hecho, por lo que a partir de este decreto, todos los proyectos deberán cumplir la normativa ambiental, ya que, se han presentado problemas de salud como afectaciones respiratorias de los habitantes, la cual ha ido a la alza de manera muy alarmante por lo que con la implementación de estos decretos se busca dar soluciones a estos problemas (Institucion universitario colegio mayor de antioquia, 2010). Esto nos lleva a un escenario en el cual la mitigación del daño ambiental es muy importante para el día a día.

Entrando en campo, la ingeniería civil no se puede quedar atrás, debido a que es una profesión sociológica, por lo tanto, es nuestra responsabilidad aportar con nuestro conocimiento para disminuir este impacto ambiental, por ello, en este trabajo se busca el origen o la situación fundamental que más va a fin con nuestra profesión y que está en nuestras manos la posibilidad de efectuar un cambio.

No obstante, la industria cementera ha incurrido en muchas falencias en cuanto a la dispersión de los desechos que esta fábrica genera, sobre todo en cuanto a CO<sub>2</sub> se habla, ya que para producir tan solo una tonelada de cemento, las plantas utilizadas emiten entre 0.82 y 1 tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera, es decir que la industria del cemento aportó entre 2800 y 3500 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, lo que constituye entre el 5% y el 8% del total de las emisiones resultantes, sumado a esto, los 1450°C de temperatura requeridos durante largos periodos para producir cemento que representan un consumo energético extremadamente alto (León & Guillen, 2020).

Por lo que el presente trabajo, tiene como objetivo analizar los efectos nocivos que tiene el uso del cemento en Colombia, es por ello que una de las propuestas en la producción de cemento es hacer necesario la implementación de estrategias que contribuyan al mejoramiento de su producción de manera sustentable. En la producción de cemento los principales impactos ambientales que presentan un porcentaje de mayor afectación, generalmente son: la generación de energía, las emisiones asociadas al proceso de su producción y el consumo de combustibles fósiles.

Por lo que los grandes temas a tratar en este enfoque serán los excesos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de las fábricas de cemento, las grandes cantidades de energía utilizadas para todo el proceso de fabricación y las afectaciones directas que estas tienen en las personas.

Ya que muchas entidades han hecho un análisis frente a estos puntos en concreto, podemos intuir que el trabajo está bien encaminado y a su vez, se ve la relevancia de este tema a nivel mundial y lo preocupante de la situación ambiental, por lo que se le busca varias posibilidades de mejoramiento y procesos de sostenibilidad.

Para llevar a cabo la monografía se realizó revisión documentada (tesis, artículos científicos, normatividades, entre otros) relacionados con las problemáticas ambientales ya mencionadas, teniendo en cuenta el incremento negativo de estas para llevar a cabo su análisis comparativo y conocer las mejores soluciones posible que se están implementando para mitigar estos daños. Además, comprender cuál ha sido el avance con el uso y efectividad de los entes ambientales en Colombia.

## **1. Resumen del proyecto**

### **1.1. Resumen**

La presente investigación de tipo monografía, se realizó con el fin de buscar información que determine el estado de alerta ambiental debido a la utilización de fábricas de cemento en Colombia, a través de la revisión de artículos científicos, tesis y textos académicos en las diferentes bases de datos (Scopus, Google scholar, Scielo, ScienceDirect, etc.); donde se hizo una recopilación de información sobre los efectos ambientales que se generan debido a la producción y consumo de cemento. Para esto, se recolectó y caracterizó información de diferentes partes del mundo, con estudios que tienen un espectro de investigación más amplio; evidenciando la sustitución de contaminación en Colombia. Con este trabajo se busca también la concientización del uso moderado del cemento e incluso la implementación de otras alternativas, ya que existe la necesidad de explorar y ampliar el estudio frente a este tema, debido a la importancia que se le debe tener ya que es uno de los sectores que más CO<sub>2</sub> produce a nivel mundial.

**Palabras claves:** Dióxido de carbono, Contaminación, Fábricas de cemento, Impacto ambiental, Colombia, fabricación, Artículos científicos.

### **Abstract**

This monograph-type research was carried out in order to find information that determines the environmental alert status due to the use of cement factories in Colombia, through the review of scientific articles, theses and academic texts in the different sources. such as: database from different universities (Scopus, Google scholar, Scielo, ScienceDirect, etc.); where what was done was a compilation of information on the different parameters observed. For this, information from different parts of the world was collected and characterized, with studies that have a broader research spectrum; evidencing the substitution of pollution in Colombia. This work also seeks to raise awareness of the moderate use of cement and even the implementation of other alternatives, since there is a need to explore and expand the study on this topic.

**Keyword:** Carbon dioxide, Contamination, cement factory, environmental impact, Colombia, Manufacturing, Scientific articles.

## **1.2. Antecedentes de investigación**

A nivel mundial la producción de cemento ha aumentado de 2,1 billones de toneladas en el año 2004 a 4,65 billones de toneladas en el año 2017 (López, 2020), mientras que en Colombia para el año 2017 hubo una producción de 2495 millones de toneladas y en abril de 2021 la producción de cemento gris fue de 1200,3 miles de toneladas, lo que represento un incremento de 41, 2% con relación al mismo mes del 2020 (Estadísticas de cemento gris, 2021). Para producir tan solo una de estas toneladas, las plantas utilizadas emiten entre 0.82 y 1 tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera, es decir que la industria del cemento aportó entre 2800 y 3500 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, lo que constituye entre el 5% y el 8% del total de las emisiones resultantes, sumado a esto, los 1450°C de temperatura requeridos durante largos periodos para producir cemento que representan un consumo energético extremadamente alto (León & Guillen, 2020).

El cemento es un producto primordial para el desarrollo de un país debido a que este es utilizado en la mayoría de las construcciones civiles como lo son los aeropuertos, puentes, carreteras, fábricas, viviendas entre otras obras, debido a esto el país que más consume cemento a nivel mundial es China que a finales de los años noventa se calcula que alcanzó los 495 millones de toneladas por año y su producción superó los 510 millones de toneladas. (Corrales, 2018).

Además, a nivel global, la industria de la construcción representa el 40% del consumo de energía primaria, el 33% de las emisiones de CO<sub>2</sub> y el 60% de la materia prima extraída de la litósfera, siendo así la industria que consume más recursos naturales. El gasto térmico y eléctrico mediante el proceso que se realiza para la obtención del producto que abarca desde la extracción de la materia prima hasta la distribución del material, se convierte en otro factor que afecta al medio ambiente debido a que aumentan las emisiones de los gases de efecto invernadero y el cambio climático, por lo anterior las industrias de este material han buscado la forma de reducir la huella de carbono que se produce por medio de la elaboración del cemento en donde se opta por incluir nuevas alternativas menos contaminantes durante la producción de este material, que además se obtengan mejoras y se efectúen nuevos productos. Por otra parte, se busca realizar la producción de cementos denominados “eco cementos” o “cementos ecológicos”. Una muestra de esto es la

nueva técnica que ha avanzado el grupo de nanomateriales en construcción (NANOC), que consiste en sustituir la piedra caliza por residuos sólidos como lo son las cenizas volantes las cuales son los principales residuos que sustituyen la piedra caliza como materia prima (Gessa y Sancha, 2016).

### **1.3. Formulación del problema**

¿Cuál es la incidencia de la utilización del cemento en las construcciones civiles en Colombia considerando diversas investigaciones a nivel mundial?

### **1.4. Justificación**

En los últimos años se ha observado que el planeta se está deteriorando por muchos factores ocasionados por el hombre, las industrias y la explotación de los recursos de manera indiscriminada, sin tener en cuenta los efectos que está ocasionando al medio ambiente, a la salud de las personas y al mundo en general. La industria cementera es una de las que más ocasiona el mayor porcentaje de dióxido de carbono (Reggiotti, Locati, Murra & Marfil, 2015).

Por ello con esta monografía se quiere establecer si hay alguna relación entre el incremento de las construcciones en Colombia en los últimos años y el efecto negativo que podría haber en la calidad de vida en los ciudadanos por el uso del cemento.

Por otra parte, se pretende crear conciencia en los ciudadanos, en las autoridades ambientales, en las empresas constructoras y otros entes del sector, para que en las futuras edificaciones se analice la posibilidad de minimizar los efectos que se presentan y contribuir con la disminución de la contaminación ambiental a nivel nacional y mundial.

Para tal efecto, nos apoyamos en documentación científica existente sobre el impacto ambiental que genera la producción, distribución, utilización y consumo del cemento a nivel mundial y nacional en el desarrollo de las construcciones civiles.

Se tiene en cuenta las Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el cual hace estimaciones de emisiones y absorciones

de gases de efecto invernadero que son clasificadas según el sector al que pertenece y se divide en sectores principales como pueden ser, energías o procesos Industriales.

Para el sector Energía la determinación de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) procedentes de la quema de combustibles fósiles se obtiene a partir de factores de emisión, cuyos gases, son hallados en el método de aplicación del concreto compuesto por cemento, conocido como concreto lanzado, este proceso además de generar gases de este tipo, también genera cierta cantidad de esporas o partículas corrosivas para el sistema respiratorio, al ser independiente de la tecnología, es deber del ser humano generar un límite de uso, para que no haya afectaciones negativas en el modo cotidiano de vida. (Fernández, Gutiérrez & Dirley, 2020).

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo general***

Analizar los efectos adversos del uso del cemento en un contexto ambiental y la implementación de soluciones factibles para mitigar estas consecuencias.

### ***1.5.2. Objetivos específicos***

- Interpretar los antecedentes presentes en las investigaciones del uso del cemento.
- Identificar las consecuencias generadas en cuanto a la producción de CO<sub>2</sub>.
- Identificar las consecuencias ocasionadas con base en el consumo de energías.
- Determinar qué soluciones se están planteando a nivel mundial y nacional para reducir los efectos que ocasiona el uso del cemento.

## **2. Marco teórico**

Con la recopilación de información, de las diferentes fuentes encontradas, se identifica un patrón en cuanto a los factores negativos del uso del cemento y adicional a esto, se los organiza de la siguiente manera, partiendo desde su punto de origen o fabricación, hasta las implicaciones que tiene el cemento dentro de la vida cotidiana de las personas, como lo son, afectaciones en su salud y daños ambientales, incluso se hace una planeación de posibles soluciones con alternativas o compuestos bioamigables.

### **2.1. Fabricación**

El cemento se fabrica generalmente a partir de materiales minerales calcáreos, tales como la caliza, la alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla en la naturaleza. En ocasiones es necesario agregar otros productos para mejorar la composición química de las materias primas principales, el más común es el óxido de hierro. Las Calizas, que afortunadamente se presentan con frecuencia en la naturaleza, están compuestas en un alto porcentaje (más de 60%), de carbonato de calcio o calcita, ( $\text{CaCO}_3$ ). Cuando se calcina da lugar a óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), e impurezas tales como arcillas, Sílice y dolomita, entre otras. Hay diferentes tipos de caliza y prácticamente todas pueden servir para la producción de cemento, con la condición de que no excedan cantidades del límite permitido. El concreto producido con el aumento de volumen del macizo rocoso (caliza) con el tiempo, genera fisuras y por lo tanto pérdidas de resistencia (Díaz, 2009).

Como estos minerales son relativamente suaves, el sistema de extracción es similar al de la caliza, solo que la barrenación es de menor diámetro y más espaciada, además requiere explosivos con menor potencia, por otro lado, la arcilla que se emplea para la producción de cemento está constituida por un silicato hidratado complejo de aluminio, con porcentajes menores de hierro y otros elementos (Sanabria, 2018), por tanto, si se mitigara el uso de este material en la conformación del cemento, los efectos de mitigación del daño ambiental podrían disminuir significativamente, sin mencionar que sería un ahorro significativo para las empresas de producción.

Se les llama “pizarra” a las arcillas constituidas principalmente por óxidos de silicio de un 45 a 65%, por óxidos de aluminio de 10 al 15%, por óxidos de hierro de 6 a 12% y por cantidades variables de óxido de calcio de 4 a 10%. La pizarra representa aproximadamente el 15% de la materia prima que formara el Clinker. EL Clinker es el material granular, resultado de la cocción a una temperatura de 1.400°C, de materias primas de naturaleza calcárea y arcilla, previamente pulverizada, proporcionadas y homogeneizadas (Diaz, 2009).

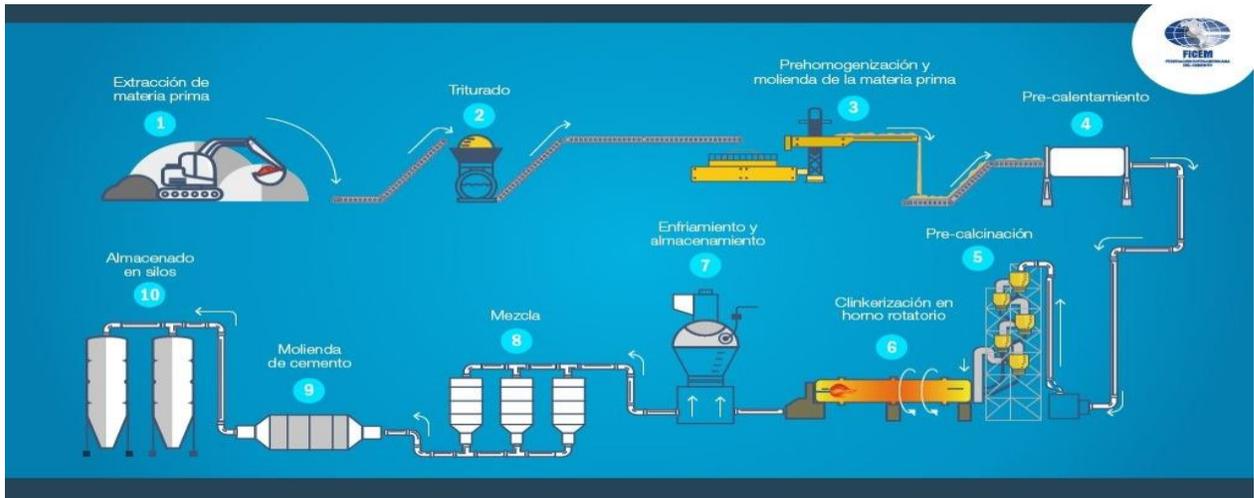
En la zona de clinkerización el crudo se calienta hasta 1450°C. Gracias a este calentamiento, el material sufre una transformación fisicoquímica y gracias a la temperatura se logra una fase líquida, la cual agiliza la reacción dando como resultado el Clinker. Este es el principal componente del cemento ya que le da sus características hidráulicas. El Clinker que se obtiene a la salida del enfriador se muele junto con otros aditivos minerales como yeso y materiales puzolánicos. Estos materiales son la puzolana y la escoria extraída de las canteras. De esta manera se obtiene el cemento (Sanabria, 2018).

El yeso (sulfato de calcio hidratado) es un producto regulador del fraguado, que es un proceso de endurecimiento del cemento, y lo que el yeso hace es retardar el proceso para que dé tiempo de agregarlo al final del proceso de producción.

El cemento es un material con propiedades adhesivas y cohesivas, las cuales le dan la capacidad de unir fragmentos sólidos, para formar un material resistente y duradero. Es una mezcla homogénea formada a partir de caliza y arcillas calcinadas y luego molidas que tienen como propiedad endurecerse al contacto con el agua. El producto de la molienda de estas rocas es llamado Clinker, lo que se convierte en Cemento cuando se le añade Yeso, convirtiéndose en un factor fundamental para endurecerse. Esta mezcla incluye gran cantidad de materiales cementales como cales, asfaltos, entre otros. Sin embargo, la producción del cemento tiene propiedades hidráulicas, las cuales cumplen su función de fraguado y resistencia cuando se encuentran en presencia de agua (Sanabria, 2018).

**Figura 1.**

Proceso requerido para la fabricación del cemento.



Fuente: FICEM

## 2.2. Tipos de cemento

Entre los cementos más comunes tenemos:

- **Cementos Portland:** se obtiene por la pulverización conjunta del Clinker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Todos los productos adicionados deben ser pulverizados y son admitidos siempre y cuando no cambien las propiedades del cemento resultante. Este cemento es utilizado en construcciones, cuando la exposición a suelos corrosivos o aguas subterráneas es casi nula (Vásquez,2012).
- **Cemento hidráulico tipo UG:** (Uso General) Es utilizado en concreto y Morteros, prefabricado, pisos y reparaciones (Vásquez,2012).
- **Cemento hidráulico tipo ART:** (Alta Resistencia Temprana) Es utilizado en concreteras, prefabricados, concretos pretensados y postensados y concretos de muy alto desempeño (Vásquez,2012).

Con el desarrollo de las civilizaciones y las construcciones civiles se ha generado grandes daños ambientales debido a que para la ejecución de estas obras de vital importancia para el desarrollo de los países se necesita la explotación de materia prima para obtener los materiales con lo que se va

a construir (Garzón & Quintero, 2017). En esta investigación se busca determinar las consecuencias que ha sufrido el medio ambiente generado por el cemento que es uno de los principales materiales en la construcción y como se puede regular este daño, para ello se citan algunas de las investigaciones realizadas acerca de este tema.

### **2.3. Consumo de cemento**

El principal rastro que ha dejado la humanidad en el planeta tierra han sido las construcciones civiles, según León y Guillén (2020), “A nivel global, la industria de la construcción representa el 40% del consumo de energía primaria, el 33% de las emisiones de CO<sub>2</sub> y el 60% de la materia prima extraída de la litósfera”, donde el material esencial para la ejecución de dichas construcciones ha sido el cemento, de modo, que este recurso es utilizado excesivamente, por lo tanto, es uno de los productos que mueven la economía del país y del mundo, sin embargo esto ha afectado de una manera drástica al medio ambiente ya que este producto emite enormemente sustancias que contaminan al planeta, además de que esto no solo ha afectado al planeta sino que ha tenido efectos en la salud de la humanidad, principalmente los trabajadores de las industrias de cemento que presentan problemas de salud como: tos, molestia ocular, sordera, enfermedades pulmonares y desarrollo de cáncer de pulmón (Garzón & Quintero, 2017).

Según el portal de las estadísticas Statista en 2019 los países que más produjeron cemento a nivel mundial fueron China, India, Vietnam y Estados Unidos con 2200, 300, 90.2 y 87 millones de toneladas métricas respectivamente. En Colombia según el Dane en el periodo de febrero de 2020 a enero de 2021 se produjo 11837, 7 miles de toneladas de cemento.

### **2.4. Efectos del cemento.**

Se ha descubierto que los filamentos compactados presentes en el concreto, no reaccionaban de manera adecuada cuando eran sometidas a humedad o tensiones bajas, en consecuencia, el material presentaba una baja permeabilidad además de una respuesta rígida a la carga. Sin embargo, a pesar de la porosidad baja en la compactación del material seco, el material sufre cierto colapso al remojar y al presentarse tensiones superiores a 100 kPa (Garzón, 2013).

Para estos casos se ha estudiado la implementación de diferentes tipos de materiales. Se ve bastante presente en obra la cal para estabilizar la estructura y aprovechar mejor la actividad del sol, mejorando su expansividad. Los resultados en el experimento sobre la estabilidad de la mezcla mejoran considerablemente las capacidades de soporte a cargas (Torres & Puertas, 2017).

### **3. Metodología**

Para el desarrollo de los objetivos propuestos, se realiza una búsqueda y caracterización de diversas investigaciones científicas de artículos vinculados con el tema que dieron pie a la extracción y recopilación de información con base a los diferentes efectos inherentes al uso del cemento. Para posteriormente, buscar una relación con base al aumento de los efectos negativos del uso del cemento en el medio ambiente, esto con el fin de encontrar posibles soluciones, que nos lleven a mitigar estos efectos de manera significativa y de este modo aportar con la conservación del medio ambiente desde un ámbito profesional.

#### **3.1. Revisión de diferentes investigaciones**

Principalmente se ejecuta una recopilación de diferentes investigaciones específicas, con la utilización de base de datos bibliográficas como lo son: Google académico, Scielo, Scopus y adicional a esto se obtuvo diferente documentación brindada por diferentes estudios realizados en varias universidades a nivel nacional e internacional como: la Universidad de los Andes, la Universidad de Antioquia, Universidad de Nariño, Universidad Nacional de Colombia, entre otras, que nos permitirán llevar a cabo el propósito y cumplimiento de los objetivos de esta monografía, extrayendo de esta forma los diversos factores de evaluación que afecta el uso del cemento en un ámbito ambiental obteniendo así unos criterios claros para reflejar un punto de partida y así encaminarnos a la conclusión de una mejor utilización y manipulación de este material.

La información utilizada se evidencia a lo largo de este trabajo, clasificándose de tal manera que su comprensión sea alta y concreta, incluyendo criterios de auditoría con el número de investigaciones, implementando las debidas referencias y citas haciendo alusión a los diferentes autores que aportaron a este tema tan importante.

Para mitigar el daño ambiental que se presentan con el uso del cemento, se basará en las posibles investigaciones que hablan de mejorar los sistemas productivos o el uso de nuevos materiales para lograr cementos más respetuosos con el medio ambiente disminuyendo en gran medida las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y profundizar en el ámbito donde se dé a conocer las implementaciones en cuanto a su uso y utilización de este material.

### 3.2. Estructura de las investigaciones

En las investigaciones consultadas se realizó un análisis de las etapas del proceso de producción del cemento y sus afectaciones. En el siguiente esquema se identifican cada una de estas etapas y las soluciones que se podrían implementar.

**Figura 2.**

Etapas donde se generan los problemas ambientales



Fuente: Elaboración propia

## **4. Organización de la información encontrada**

Para la organizar la información consultada y analizarla teniendo en cuenta los diferentes factores. Se clasifica la información de acuerdo al país al que pertenece cada investigación. A continuación, se presentan los trabajos que han permitido el desarrollo de esta monografía.

### **4.1. Antecedentes Internacionales**

#### **4.1.1. España**

- Alternativas de reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la producción de cemento. Propuesta de un modelo de evaluación
- Mezclas ternarias en el desarrollo de materiales base-cemento con un bajo impacto ambiental
- Estudio para la reducción del impacto medioambiental y la huella de carbono ocasionada en la producción del Clinker
- Efectos del cemento y de la cal en muestras de materiales que contienen filitas procedentes de ser de España

#### **4.1.2. Ecuador**

- Energía contenida y emisiones de CO<sub>2</sub> en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador
- Impactos ambientales asociados con el proceso de producción del concreto

#### **4.1.3. México**

- Importancia de la industria cementera en el desarrollo regional de monterrey
- Metodologías para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero: Descripción del proyecto de control en una industria productora de cemento

## **4.2. Antecedentes nacionales**

- Metodología para la evaluación del potencial de producción de cementos tipo LC3 en el contexto colombiano. Aproximación teórica
- Histórico de las estadísticas de cemento gris
- La huella de carbono del proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero
- Formulación del estudio de impacto ambiental para la planta de concreto Teka municipio de Apulo
- Propuesta de mejora para el proceso productivo de la empresa cementos Tequendama
- Auditoria de cumplimiento en el área ambiental en las empresas del sector de la construcción en Bucaramanga
- Cementos Alcalinos: Materiales de construcción ecológicos
- Uso del bambú en el concreto reforzado
- Revisión bibliográfica del aprovechamiento de lodos resultantes en el proceso de purificación de la sal
- Revisión de las medidas en pro de la eficiencia energética y la sostenibilidad de la industria del cemento a nivel mundial
- Aprovechamiento de un residuo del carbono para reducción del impacto ambiental de la minería del carbón en Colombia: Estudio del potencial de uso de la industria del cemento

## **5. Etapas del proceso de producción**

### **5.1. Recolección de materias primas**

El cemento está directamente relacionado con el 80-90% de extracción de piedra caliza y otro porcentaje de materiales arcillosos, aproximadamente 10-15%, por otro lado, también existen materiales perjudiciales como óxido de sodio y óxido de potasio que generan consecuencias ambientales. Para la recolección de estos los materiales se hace uso de un gran consumo de energía tanto eléctrica como de combustibles fósiles generando emisiones CO<sub>2</sub> (British G Survey, 2005).

## **5.2. Producción**

En este proceso las grandes industrias facilitan el trabajo con la utilización de maquinarias con altos índices de contaminación, aquí la materia prima se tritura para posteriormente preparar una dosificación adecuada con base a los diferentes materiales y componentes, debido a que es una reacción tanto química como física, se producen grandes cantidades de gases a la atmosfera los cuales son el enfoque en este punto.

## **5.3. Transportación**

En esta etapa el material es entregado en los diferentes puntos de distribución y para esto, las emisiones de CO<sub>2</sub> se presentan como un adicional, ya que, se requiere vehículos que se encarguen de transportar el producto hasta donde se va a consumir. Para ello también se requiere de una infraestructura que soporte este tipo de trayectos, haciendo uso de maquinaria pesada que genera consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>.

## **5.4. Utilización**

En este punto se utiliza el producto para diferentes obras civiles, ocasionando vertidos de residuos, consumos excesivos de agua, sin contar, con los efectos de salud que normalmente se generan en los trabajadores presentes en este tipo de obras, ya que, al tratarse de material con alto número de partículas microscópicas, entran en las vías respiratorias y afectan órganos. Es por ello que en la producción de cemento se hace necesario implementar estrategias que contribuyan al crecimiento de su producción de manera sustentable.

En la producción de cemento los principales impactos ambientales que presentan un porcentaje de mayor afectación, generalmente son: la generación de energía, las emisiones asociadas al proceso de producción de cemento y el consumo de combustibles fósiles.

Las emisiones del propio proceso de producción relacionadas con la combustión del crudo contribuyen con un mayor porcentaje a las categorías de cambio climático, formación de oxidantes fotoquímicos, formación de material articulado, acidificación terrestre y eutrofización marina.

La producción de electricidad contribuye con un mayor porcentaje en 7 categorías de impacto: toxicidad humana, eco toxicidad terrestre, eco toxicidad de agua dulce, eco toxicidad marina, radiaciones ionizantes, ocupación de terreno agrícola y disminución de la cantidad de agua dulce como se observa en el siguiente diagrama:

**Figura 2.**

Categorías de impacto.



Fuente: Elaboración propia

Los sectores productivos generan en Colombia un alto nivel de contaminación ambiental que se produce por el desarrollo de diferentes actividades, esto puede deberse al insostenible de materias primas y recursos naturales como producción y operación como residuos, emisiones y vertimientos, sin contar con las cantidades excesivas de CO<sub>2</sub> arrojadas a la atmósfera por las fábricas de cemento, algunos estudios sugieren la modificación de este tipo de material con el implemento de recursos menos nocivos y a su vez que mitiguen el numeroso grado de desechos ambientales, algunas investigaciones se ven guiadas como por ejemplo la utilización de cascarilla de arroz como un equivalente a agregados finos en el concreto hidráulico, otras investigaciones se inclinan por el almidón presente en diferentes tubérculos para el mejoramiento de la elasticidad (Gutiérrez Chávez. D, 2013).

La producción de concreto premezclado es una actividad industrial fundamental para la implantación de proyectos de construcción en general y debido a que está vinculado al crecimiento

económico del país, es prudente el minimizar el daño ambiental ya que es un campo que va en ascenso y desde el punto de vista de la legislación ambiental vigente en la mayoría de países, siempre es práctico el tener un estudio ambiental actualizado que mantenga el campo dentro de lo óptimo, productivo y lo ambientalmente sostenible (Fonseca y Reyes, 2015).

## **6. Análisis de la estructura de investigación.**

### **6.1. Materiales de Construcción Ecológica**

La investigación de Moreno & Fajardo (2018) buscó por medio de procesos experimentales la proporción de material de mampostería con el fin de reemplazar la proporción del cemento donde ha este le corresponde el 5% y el 10% en la mezcla de concreto, con el fin de encontrar nuevas alternativas para la construcción donde se pueda reducir el consumo del cemento y además reducir la contaminación que generan las actividades de la demolición de mampostería, Finalmente obtuvieron un valor inferior a la resistencia de diseño por lo cual se dedujo que no se podía sustituir este material en la elaboración de elementos estructurales que exijan el 100% de su capacidad, pero se puede emplear en otros ámbitos que están dentro de la construcción como lo son: muros internos de separación en concreto, elemento de paisajismo o cajas de inspección, de modo que se puede sustituir este material en algunos aspectos de la construcción ayudando así al cuidado del medio ambiente.

En el estudio de Montes, Bravo & Qualipro (2014) La preocupación actual es la mitigación y el control de las fuentes de contaminación ambiental proveniente de las actividades industriales, particularmente el sector de la construcción en lo que respecta a la intención de cemento portland ordinario (CPO) donde los factores asociados a las emisiones y a las empresas, el 7% de emisiones totales son de CO<sub>2</sub>, entre las menos frecuentes se encuentra SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que generan alto consumo de energía tanto térmica, como eléctrica y explotación de recursos minerales. Por esta razón se busca la creación de cementos alcalinos con el objetivo de encontrar materiales de construcción ecológica; esta investigación realizó una muestra que estuvo conformada por 955 estudiantes de diferentes institutos enfocados en la manera más óptima de implementar el concreto de forma amigable con el ambiente en el cual se halló que la composición del material de partida afecta la

velocidad de reacción, encontrándose que ante la falta de aluminio este se incorpora dentro de una solución para controlar la velocidad, la estequiometría y la prolongación de las fases reaccionantes, por lo tanto se concluye que los cementos alternativos son durables y ambientalmente sostenibles, no obstante, hacen falta muchos estudios sobre su mecanismo de formación, composición química exacta y condiciones de reacción para que puedan reemplazar al cemento ordinario portland en diferentes aplicaciones.

La investigación realizada por los profesionales de la Universidad Nacional de Colombia (2001) ha sido elaborada mediante la síntesis del material bibliográfico revisado para los objetivos centrales del Proyecto Semilla, su contenido explica cómo desde hace muchos años, el bambucreto fue utilizado para la construcción de importantes obras, así como para fines experimentales, y se pudieron determinar sus ventajas y desventajas. Se consideró que el aprovechamiento de esas ventajas y el desarrollo de nuevas técnicas y teorías de diseño que día a día superan las desventajas, podrán hacer del bambucreto un material factible y seguro. Otra finalidad del documento es tratar de enriquecer la literatura especializada acerca del bambucreto, la actual es poca y sólo existe gracias a las investigaciones desarrolladas por el arquitecto Oscar Hidalgo López, quien en gran parte de su vida profesional y académica se interesó por la guadua; finalmente la muestra se obtuvo gracias a la iniciativa de las investigaciones desarrolladas por el arquitecto mencionado anteriormente, apoyado por el programa de la universidad nacional de Colombia y con el apoyo de 5 profesionales en el área de la construcción y la química de dicha institución.

## **6.2. Antecedentes de las investigaciones**

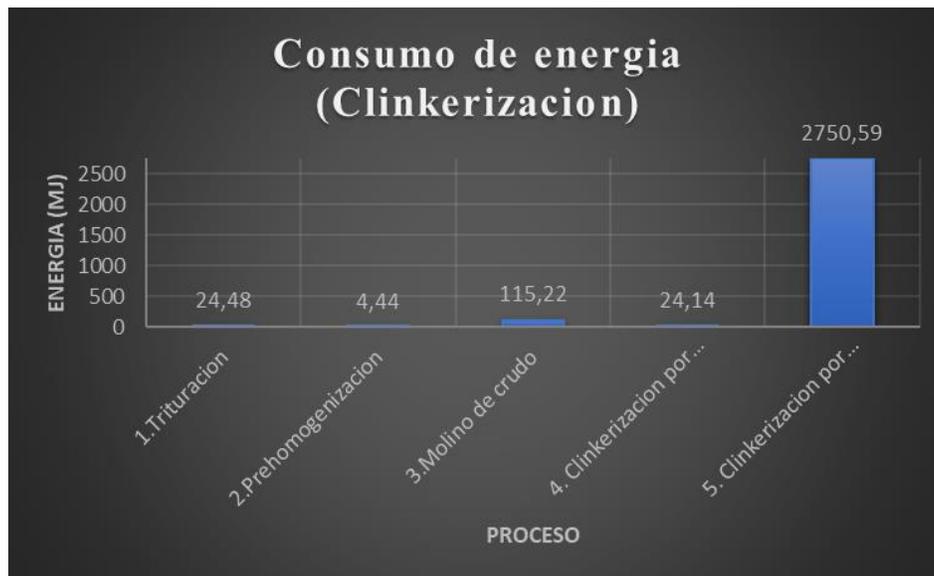
Según el estudio de “Embodied energy and CO<sub>2</sub> emissions in the cement manufacturing process in Ecuador” a cargo de la profesional Ana I. Vélez y su compañera Vanessa G. Mena se determinó que en la producción se presenta los resultados de la evaluación del efecto de las propiedades químicas y minerales de la arcilla sedimentaria Alegre sobre la reacción puzolánica de sus productos calcinados. Las materias primas de piedra caliza cuentan con XRD, ATG, pruebas de humedad natural, métodos gravimétricos láser y medición de granos. El proceso de quema de lodo se llevó a cabo a 750°C, 800°C y 850°C para estudiar el efecto de la temperatura de quema. La evaluación de la reacción puzolánica se realizó mediante medición isotérmica en lechadas de cal y

puzolana (Protocolo R3) y la resistencia a la compresión de la lechada con 30% de CPO reemplazada por arcilla calcinada. El contenido de caolín de las muestras analizadas osciló entre 43,44 % y 33,82 %, y el contenido de calcita osciló entre 30,45 y 5,10 %. Los mejores valores de respuesta puzolánica se obtuvieron para las muestras calcinadas entre 750 y 800 °C en todos los casos, especialmente para las muestras mixtas YG-C1 y YG-C2 con alto contenido de caolín. Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión obtenidos a los 28 días mostraron que los productos de la serie arcilla cocidos a 750 y 800 °C en todos los casos superaban los valores de la serie de referencia (Vélez & Guillén ,2020).

A continuación, se presenta un apoyo audiovisual, el cual nos ayuda a comprender la diferencia que se presenta en los diferentes procesos por el cual se somete al Clinker y el cemento.

#### Figura 4.

Cuantificación del consumo energético en la clinkerización

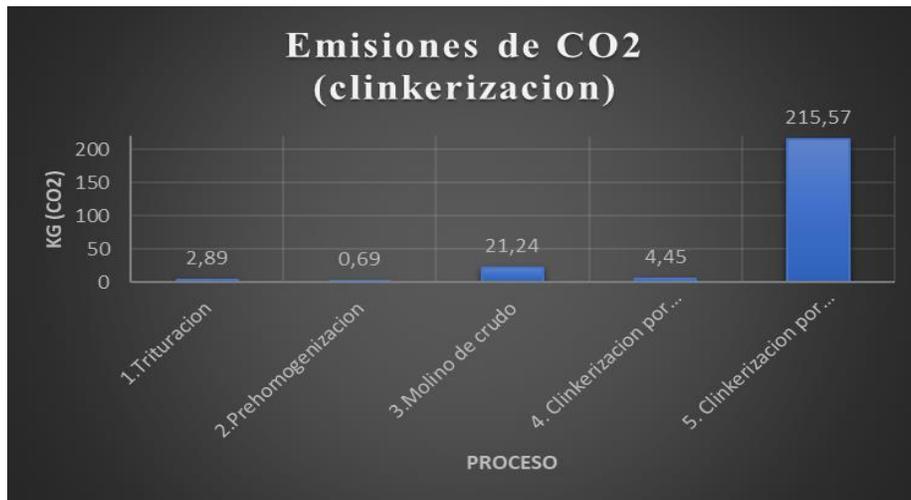


Fuente: elaboración propia

Por otra parte, en cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, este también llega a su punto más crítico en el proceso de clinkerización por procesos industrial:

**Figura 3.**

Cuantificación del consumo de emisiones de CO<sub>2</sub> en la clinkerización

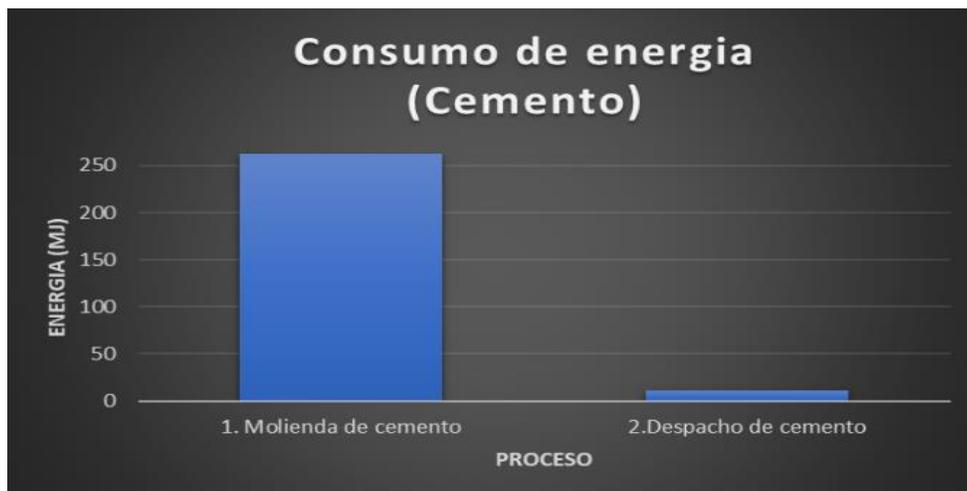


Fuente: elaboración propia

Como se evidencia en el anterior modelo estadístico, los puntos de inflexión más altos son en la Clinkerización mientras que los subprocesos trituración, pre homogenización, molino de crudo y homogenización del crudo representan menos del 5% en consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo que en este punto se ve reflejada la necesidad de mejorar el módulo de seguridad ambiental.

**Figura 4.**

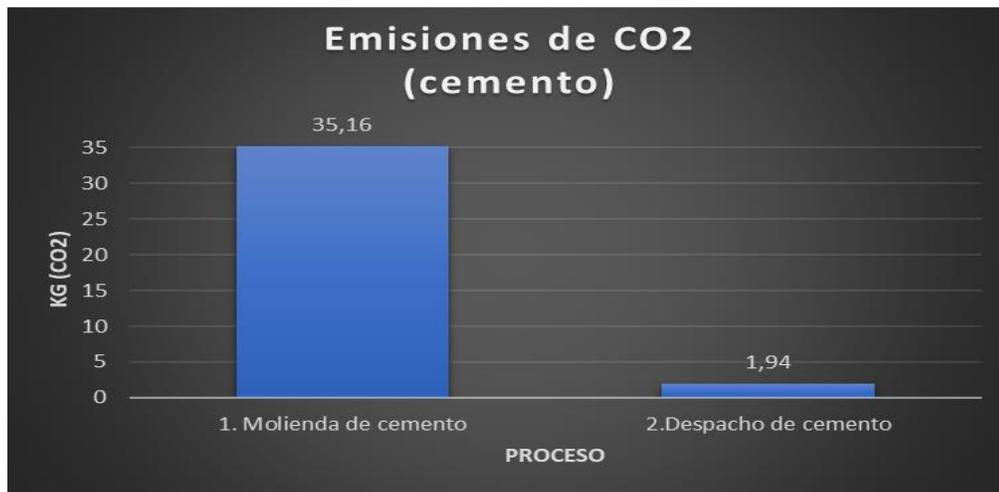
Cuantificación del consumo energético en el cemento



Fuente: elaboración propia

**Figura 5.**

Cuantificación del consumo de emisiones de CO<sub>2</sub> en el cemento



Fuente: elaboración propia

En el proceso de producción del cemento es muy evidente que el proceso de molienda de este material, a comparación del despacho de cemento produce más del doble del consumo de energía y a lo que se refiere a emisiones de CO<sub>2</sub> el proceso inicial obtiene un mayor porcentaje, esto debido a la calcinación de la caliza, proceso en el cual se quema la gran mayoría del combustible fósil.

Si hablamos de porcentajes el consumo energético necesario en la industria del 55.48% a nivel general, mientras que el consumo de combustibles como el fuel oil representa el 44,52%, esto es alarmante, ya que la extracción de petróleo cada vez es más demandante y las reservas existentes ya están sobre explotadas.

Por otra parte, La industria de la construcción en Colombia, aumentando constantemente y, por lo tanto, viene en una mayor demanda y producción de cemento; Sin embargo, en el proceso de producción del Clinker, las excedentes emisiones de dióxido de carbono se crean como un producto de día a día. Con el impacto de este proceso industrial se crean diferentes soluciones pueden reducir estas emisiones, y se pueden determinar estas aplicaciones basándose en la sustitución del Clinker de materiales de cemento adicionales (MC) como Polvo de piedra caliza, polvo de horno alto y cinta de ceniza que se encuentran, entre otras cosas. (fondos, 2019), lo que permite el reemplazo

de un Clinker del 20% al 25%. En los últimos años en Colombia, se ha venido implementando innovación en sus industrias como la producción de cemento verde con el uso de lodo horneado el cual garantiza que este cemento represente una disminución significativa de las emisiones de Dióxido de carbono.

Algunas empresas como ARGOS fueron los pioneros en este tipo de material alternativo con el fin de reducir el impacto ambiental e innovar en el campo.

En el trabajo de Martínez, Campos & Rodríguez (2021) propone una metodología para determinar el cálculo de los gases de efecto invernadero (GEI), para ello realiza la identificación de los procesos donde se generan gases de efecto invernadero. Identifica y describe las emisiones por calcinación, por combustibles de horno, por combustibles fuera del horno y Producción de productos de cemento. De esta forma se tiene mayor organización de los cálculos de efecto invernadero. Donde además especifica que las emisiones de Co2 en los procesos de producción se deben contabilizar por aparte. Por lo tanto, esta metodología se considera importante ya que cada empresa productora de cemento debería tener claro que tantas emisiones de gases genera y la clasifique para que pueda estudiarse y tener una cifra del aporte que está realizando a la producción de gases de efecto invernadero de forma precisa para que finalmente se busque la forma de reducir estos factores si estos son excesivos.

### **6.3. Soluciones a los presentes efectos negativos**

Como se ha venido mencionando la industria de la construcción y sobre todo la industria cementera, cuya industria, es la que aporta gran porcentaje de los gases de co2 y el consumo de energías así convirtiéndose en responsable del cambio climático, de acuerdo a esto se desea implantar una construcción sostenible con el fin de disminuir el impacto ambiental que este presenta.

A continuación, se representa las distintas alternativas de algunas soluciones de este tipo: La implementación de la arcilla horneada como sustancias de cemento adicionales para reemplazar el Clinker, conocido en 1932 en países como EE. Estados Unidos (Scrivener et al., 2018) y los países en desarrollo de hoy, como Cuba e India, han sido pioneros en regular y optimizar sus

procesos productivos; Es por ello que se considera como una posible alternativa a implementar en el país, ya que la presencia de grandes reservas de arcilla permitirá la distribución de materia prima para este proceso a diversas empresas de la región.

La combinación óptima de medidas está disponible para ajustar las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para satisfacer los objetivos de producción con los requisitos ambientales que requieren planificación de la producción industrial, con una combinación de nuevos parámetros y variables para evaluar el impacto de las decisiones activas sobre estos temas de las restricciones de protocolo de Kyoto. Después de realizar un análisis detallado de la capacidad de mejorar las alternativas disponibles para reducir el número de emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la producción de cemento

#### **6.4. Aprovechamiento de lodo salmuera para usarlo como material cementante realizado en Colombia**

En Colombia al igual que en el resto del mundo se ha buscado la forma de disminuir su consumo por lo tanto se realizan diversas investigaciones que busquen mejorar o de alguna manera contrarrestar el daño que este producto le está generando al medio ambiente. La universidad UNIMINUTO realiza un estudio y hace relación al mortero de cemento hidráulico y el lodo de salmuera que son residuos minerales que se generan en el proceso de explotación de sal, aprovechando este residuo que al igual que la producción del cemento también genera daños ambientales por lo tanto se lo lleva a la parte de la construcción con el fin de ser usado como material cementante suplementario. Se realizan ensayos de cómo se comporta este residuo al mezclarlo con el resto de materiales teniendo en cuenta la NTC 220 (Norma Técnica Colombiana) la cual está encargada de dictar los parámetros para determinar la resistencia de morteros de cemento hidráulico, teniendo resultados aceptables con los cuales se reduciría el daño ambiental aportando con el 25% de lo que es la proporción que la norma indica para adicionar cemento hidráulico, pero aún no se encuentran suficientes estudios publicados acerca de estos residuos (Bautista & Gonzalo, 2020).

## **6.5. Estudio de la Eficiencia energética y sostenibilidad en la industria cementera en Colombia**

En otras investigaciones se centran en la reducción del consumo energético de los equipos macro consumidores de energía como lo es el horno donde se genera el Clinker. En la producción de cemento se genera 0,863 tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por tonelada de cemento producida debido a que se requiere un alto consumo de energía para lograr las altas temperaturas que se requieren por lo tanto se busca tecnologías que generen cero emisiones como lo son las energías renovables que se mencionan a continuación (Aristizabal & Gonzales, 2021):

- Energía fotovoltaica, solar térmica y electroquímica
- Sistema híbrido fotovoltaico y eólico
- Calcinador solar

Por otro lado se debe tener conciencia y hacer uso adecuado de la energía eléctrica que se necesita para la producción, una de las formas que se puede controlar esta energía es aumentar la eficiencia energética unos de los procesos de fabricación del cemento como por ejemplo el aire caliente que se genera en el enfriador del Clinker se lo puede emplear para reducir el consumo de energía del horno ya que al introducir ya que se puede introducir este aire caliente para la calcinación de la arcilla y la caliza (Gonzales, 2021).

## **6.6. Estudio de Material de construcción con geo polímeros realizado en España**

Con el fin de aportar al medio ambiente varios países del mundo están trabajando en reducir la producción de CO<sub>2</sub>. En el trabajo de grado de Lucia Gonzales Esteban, ha realizado una investigación donde se busca utilizar geo polímeros para sustituir o disminuir el cemento como material de construcción, con esto se estaría reduciendo la producción de CO<sub>2</sub> ya que se disminuiría el consumo de cemento tradicional y con ello también se estaría ahorrando energía. Este nuevo material para la construcción realizado a partir de geo polímeros se define como un “conglomerante sintético inorgánico obtenido a partir de aluminosilicatos activados mediante una solución alcalina”. Este nuevo material presenta buenas cualidades mecánicas como lo es la resistencia a la compresión.

Cabe resaltar que este material aún se encuentra en proceso de investigación ya que debe cumplir con las normas estipuladas para sustituir al concreto tradicional pero además se debe tener en cuenta que tan factible es económicamente para que las constructoras opten por utilizar este material. Sin embargo, por la parte técnica y ambiental este producto es aceptable ya que tiene un proceso diferente al proceso de producción del Clinker, aunque aún no existe especificaciones para su fabricación lo que hace que sea más lenta su aceptación (Gonzales, 2021).

Parar la producción de los polímeros como materiales de construcción se tiene los siguientes materiales:

- **Cenizas volantes:** Son residuos sólidos que se obtienen a partir de la precipitación electrostática de las centrales termoeléctricas alimentadas por carbón este residuo no es muy factible utilizarlo ya que también en su producción se consume gran cantidad de energía, pero además produce igualmente CO<sub>2</sub>. Sin embargo, es un residuo por lo que no se produciría directamente para la realización de geo polímeros.
- **Escorias de altos hornos:** Son sub productos que se utilizan para purificar metales como el hierro o el acero, estos sub productos no son tan factibles ya que tiene muchos usos y casi no se desecha, pero además es muy complejo predecir las propiedades del material resultante lo que lo hace impredecible, dificultando así la mezcla de los componentes.
- **Meta caolín:** Se forma de la calcinación del caolín que es una piedra que se usa para diferentes industrias como lo es la producción del papel, de porcelana y cerámica este se obtiene directamente de minas a cielo abierto (Gonzales, 2021).

#### **6.7. Aprovechamiento de un residuo del carbón para reducción del impacto ambiental de la minería del carbón en Colombia: estudio del potencial de uso en la industria del cemento**

La minería a lo largo de los años ha tenido un gran impacto en el medio ambiente, en el caso de la minería de carbono en el proceso se generan impactos ambientales debido por las emisiones de

gases de CH<sub>4</sub> Y CO<sub>2</sub>, desprendimiento de material particulado y acumulación de residuos sólidos estériles de desecho, por otro lado la industria cementera también es responsable de significantes daños ambientales que se ven asociados a la utilización de recursos no renovables y la generación de gases contaminantes y con el propósito de reducir la emisión de CO<sub>2</sub> en la producción de cemento esta investigación se basó en incrementar el aprovechamiento de residuos generados por el lavado del carbón y generar materias primas alternativas con mayor disponibilidad y potencial de uso, pues los residuos de la minería del carbón, son susceptibles a activarse térmicamente para convertirse en puzolanas artificiales y, de esta forma, incorporarse a los cementos para aportar hidratos que mejoran las prestaciones mecánicas y durabilidad y, al mismo tiempo, reducir el contenido de Clinker y así disminuir este consumo en el proceso de fabricación del cemento (Rodríguez, Tobón, Frías & Rojas, 2018).

#### **6.8. Mezclas ternarias en el desarrollo de materiales base cemento con un bajo impacto ambiental**

El empleo de cementos tipo Portland en la construcción conlleva un importante problema medioambiental derivado del alto consumo energético y de las elevadas emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>) que se realiza en la producción del Clinker del cemento tipo Portland. La sustitución parcial de OPC por adiciones minerales es una de las soluciones que se llevan a cabo con el fin de reducir el impacto ambiental en el mundo de la construcción. En un primer lugar, se consideraron las mezclas binarias (formadas por un OPC más una adición mineral), y más recientemente se ha planteado un uso más optimizado de las adiciones buscando aumentar su eficacia mediante el empleo de multiadiciones al OPC basado en consideraciones respecto a sus sinergias y aumentando de esta forma los distintos tipos de cementos normalizados con adiciones minerales (Pérez, 2016).

## **Conclusiones**

El uso de cemento es uno de los productos que más se consume a nivel mundial, en el presente trabajo se pudo evidenciar por medio de las diferentes investigaciones que se realizaron tanto a nivel nacional como internacional. El mayor gasto energético y generador de dióxido de carbono es en la clinkerización donde se genera un gasto de energía de 2750 MJ en este proceso por lo que se genera gran daño ambiental, por lo tanto, en este proceso se debería buscar la forma de utilizar energía sostenible.

Se puede observar que tanto a nivel internacional como nacional se está avanzando en investigaciones y estudios para cambiar las etapas donde se generan los grandes impactos ambientales. Teniendo en cuenta que el cemento es utilizado en casi el 100% de las construcciones civiles se puede afirmar que este producto genera un impacto social a nivel mundial y mueve la economía de la mayoría de países por lo que convertir este producto en un producto amigable con el medio ambiente generaría una evolución en las construcciones, pero se pudo observar que es una tarea difícil donde se requiere de tecnologías, inversiones e investigaciones.

## Referencias bibliográficas

- Aristizabal-Alzate, C. E., & González-Manosalva, J. (2021). Revisión de las medidas en pro de la eficiencia energética y la sostenibilidad de la industria del cemento a nivel mundial. *Revista UIS Ingenierías*, 20(3), 91-110.
- Bautista, L. E. C., & Gonzalo, A. F. (2020). Revisión bibliográfica del aprovechamiento de lodos resultantes en el proceso de purificación de la sal: un acercamiento al comportamiento mecánico del lodo al interior de una mezcla de mortero de cemento hidráulico. *Revista Imaginario Social*, 3(2).
- Corrales, S. (2018). Importancia de la Industria Cementera en el Desarrollo Regional De Monterrey.
- DANE. (3 de Mayo de 2021). *Estadísticas de cemento gris*. Obtenido de DANE. (3 de Mayo de 2021). *Estadísticas de cemento gris*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/estadisticas-de-cemento-gris>
- Diaz, L. (2009). Formulación del estudio de impacto ambiental para la planta de concreto. [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/572/tic\\_diazrojasluisalfredo\\_09.pdf?sequence=1&isallowed=y](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/572/tic_diazrojasluisalfredo_09.pdf?sequence=1&isallowed=y)
- Fernandez Parra, B. Y., Gutierrez Peñaloza, M. C., & Dirley Melany, R. V. (2020). La huella de carbono del proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero.
- González Esteban, L. (2021). Estudio para la reducción del impacto medioambiental y la huella de carbono ocasionada en la producción del Clinker.
- Gessa Perera, A., & Sancha Dionisio, M. (2016). alternatives for reducing carbon dioxide (c0 (2)) emissions in cement production. proposal for an evaluation model. *Innovar*, 26(60), 51-66.

González Salcedo, L; (Cilicia), Simplicio; López Catalina. “Uso del bambú en el concreto reforzado: recopilación bibliográfica”, Universidad Nacional de Colombia Revistaselectrónicas UN Saga, 12 -2001

Garzón Garzón, Eduardo, Cano García, Manuel, Morales Hernández, Laura, & Sánchez-soto, p. j. (2013). efectos del cemento y de la cal en muestras de materiales que contienen filitas procedentes de sede España

Garzón García, G. I., & Quintero Ardila, J. J. (2017). Auditoria de cumplimiento en el área ambiental en las empresas del sector de la construcción en Bucaramanga 2016.

León-Velez, A., & Guillén-Mena, V. (2020). Energía contenida y emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador. *Ambiente Construido*, 20(3), 611-625

Gambini Pampa, J. L. (2022). Efecto tóxico del Clinker y su incidencia en la salud de trabajadores en obras de construcción, San Borja, Lima 2021.

Pérez, Á. F. (2016). *Mezclas ternarias en el desarrollo de materiales base cemento con un bajo impacto ambiental* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Madrid).

Raggiotti, B. B., Positieri, M. J., Locati, F., Murra, J., & Marfil, S. (2015). Zeolita, estudio de aptitud como una puzolana natural aplicada a hormigón estructural. *Revista de la construcción*, 14(2), 14-20

Reducir el impacto ambiental en la producción de cemento. (2015, 17 septiembre). Facultad de Minas Universidad Nacional. <https://minas.medellin.unal.edu.co/noticias/facultad/396-reducir-el-impacto-ambiental-en-la-produccion-de-cemento>

Rodríguez, J., Tobón, J., Frías, M., & de Rojas, M. I. S. (2018). Aprovechamiento de un residuo del carbón para reducción del impacto ambiental de la minería del carbón en Colombia: estudio del potencial de uso en la industria del cemento. *Revista Cintex*, 23(2), 95-102.

Muñoz López, K. L. (2020) Metodología para la evaluación del potencial de producción de Cementos tipo LC3 en el contexto colombiano. Aproximación teórica.

Montes Valencia, N. (2014). Cementos Alcalinos: Materiales de Construcción Ecológicos. <https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/42>

Sanabria-Ramírez, M. A. (2018). Propuesta de mejora para el proceso productivo de la empresa Cementos Tequendama.

Torres-Carrasco, M., & Puertas, F. (2017). La activación alcalina de diferentes aluminosilicatos como una alternativa al Cemento Portland: cementos activados alcalinamente o geopolímeros. *Revista ingeniería de construcción*, 32(2), 05-12.

Vásquez, A. R. (2012). Cemento y sus aplicaciones. *Cementos Pacasmayo SAA*, 7-12.

## 7. Anexos

### • Metodologías para el cálculo de GEI

Metodologías para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero: descripción del proyecto de control en una industria productora de cemento en la que Martínez, Campos & Rodríguez (2021) expone un método que ayuda a calcular y organizar las emisiones de gases de efecto invernadero haciendo uso de las siguientes tablas.

**Tabla 1.**

Descripción de los procesos en donde se generan emisiones

Dominio	Indicadores	Definición teórica y operativa
Emisiones por calcinación	Producción de Clinker	<p>El principal componente del cemento es el clinker. Este material se produce a partir de materias primas naturales, como la caliza y la arcilla, que se muelen, homogeneizan e introducen en un horno rotatorio, donde se cocen a una temperatura de 1 450°C, necesaria para formar el nuevo compuesto.</p> <p>Los principales componentes del clinker son los óxidos de calcio.</p> <p>Posteriormente, al clinker se le añade yeso y otros materiales (escoria de alto horno, cenizas volantes, puzolanas, caliza, etc...) y conjuntamente se trituran en un molino hasta formar un polvo fino: el cemento, silicio, aluminio y hierro.</p>
	CKD y Bypass Dusts que salen del sistema del horno	<p>CO<sub>2</sub> del polvo bypass o cement kiln dust (CKD) se liberan del sistema del horno, deben ser calculados de acuerdo a volúmenes relevantes de polvo y un factor de emisión.</p> <p>Bypass dust es a menudo completamente calcinado. Por tanto las emisiones relacionadas al bypass dust deben ser calculadas usando el factor de emisión para el Clinker.</p>
Emisiones por combustibles de horno.	Consumo de combustible de horno	Son los combustibles fósiles utilizados en el horno.
	Poder calorífico de combustibles de horno	<p>El poder calorífico es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación (quedan excluidas las reacciones nucleares, no químicas, de fisión o fusión nuclear, ya que para ello se usa la fórmula E=mc<sup>2</sup>).</p> <p>El poder calorífico expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible (energía de enlace), menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión. La magnitud del poder calorífico puede variar según como se mida. Según la forma de medir se utiliza la expresión poder calorífico superior (abreviadamente, PCS) y poder calorífico inferior (abreviadamente, PCI).</p>
Emisiones por combustibles fuera del horno	Consumo de combustible fuera del hornos	Es el combustible fósil que se usa fuera del horno tales como los que se emplean en autos propios de la compañía, de la planta, del cuarto de calentamiento, equipos para la preparación de componentes minerales.
	Poder calorífico de combustibles fuera del horno	Depende del tipo de hidrocarburo en consumo.
Producción de productos de cemento	Componentes minerales (MIC) usados para producir cementos Portland y mezclados	MIC-componentes minerales naturales o artificiales con propiedades hidráulicas usadas como clinker o sustitutos de cemento
	Clinker vendido	

Fuente: Martínez, Campos & Rodríguez, 2021

Finalmente proponen la siguiente matriz para organizar los resultados obtenidos del cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero de las industrias productoras de cemento.

**Tabla 2.**

Matriz para organizar los resultados

Emisiones directas	Consumo de gas		Consumo de combustible (TJ)		Consumo Energía eléctrica (kWh)		Emisiones totales GEI
	Obra móvil	Centro fijo	Obra móvil	Centro fijo	Obra móvil	Centro fijo	
Proceso							
Emisiones Indirectas							
Proceso							

Tomado de: Martínez, Campos & Rodríguez, 2021

- **Efectos en la salud de las personas**

En la investigación de Gambini, (2022) presenta el problema de salud que están sufriendo las personas de las industrias cementeras y las personas que trabajan en la construcción. Explica que esto se debe a que los lugares de trabajo se encuentran en mal estado por lo que no tienen suficientes implementos de seguridad y por ende quedan expuestos a los materiales y las altas temperaturas que se necesitan para la producción del Clinker y los diferentes trabajos que realizan. Expresa que la investigación fue realizada de forma no experimental por lo que se usó la técnica de las encuestas por medio de un cuestionario para finalmente obtener los resultados de los cuales obtuvo que los efectos tóxicos del Clinker están relacionados con consecuencias de salud respiratoria, problemas en la piel y en los ojos.