

Impactos de la contaminación por Dióxido de Carbono en la utilización de concretos y alternativas de minimización del mismo con usos de agregados alternativos

¹ Lorena Prieto Urrea, Universidad La Gran Colombia

² Alfonso Celis, Universidad La Gran Colombia

Nota de autor

Expreso mi gratitud al cuerpo docente y al personal administrativo de la Universidad la Gran Colombia, por brindarme los recursos y el ambiente propicio para llevar a cabo este proyecto, también reconozco y agradezco a mis compañeros de clase, a mis amigos y familiares quienes con su apoyo y constancia hicieron que el recorrido por esta etapa académica fuera más amena con su amor, comprensión y motivación constante.

También agradezco a todas las personas que participaron, ya sea brindando su tiempo o proporcionándonos información valiosa para esta investigación, gracias por su tiempo y experiencia su contribución ha sido invaluable para el éxito de esta investigación.

Persona de contacto para correspondencia. lorenaprietou@gmail.com

¹ Estudiante de la Especialización Gerencia Virtual Universidad La Gran Colombia –
Correo lprietou@ulagrancolombia.edu.co

² Estudiante de la Especialización Gerencia Virtual Universidad La Gran Colombia –
Correo ebuatossb@ulagrancolombia.edu.co

Resumen

Esta investigación pretende profundizar en las dinámicas antropogénicas en el gremio de la construcción evidenciando las consecuencias que tienen en el medio ambiente y por ende en el cambio climático, esto va directamente relacionando a la contaminación por GEI (Gases efecto invernadero) y a la huella de carbono que son propias de las actividades de esta disciplina en caso particular en la creación del elemento más utilizado al momento de construir cualquier tipo de construcción y/o infraestructura “el concreto”, se evidencian las consecuencias que se generan por las emisiones de GEI atribuidas a la utilización de concretos tradicionales y concretos tipo ecológicos amigables con el medio ambiente, se profundiza en las propiedades y características de tipo químicas y físicas de los materiales utilizados en ambos tipos de concreto, analizando su producción debido a que el concreto se obtiene por medio del Clinker materia prima para la creación del con mismo lo cual conlleva la generación de emisiones significativas de dióxido de carbono (CO₂), un gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático (S.Solomon, D.Quin, M Mannign ,2018), la industria del cemento es responsable de aproximadamente el 7% de las emisiones globales de CO₂ ,(A. minguito, P.rivas. (2019), lo cual es significativamente alto y pone en riesgo las temperaturas del planeta tierra y con ello a la existencia de la vida misma en la superficie terrestre, esto es una alerta relevante que genera preocupación y la cual debemos investigar y tomar medidas las pertinentes para frenar en cierta medida las consecuencias que a futuro la contaminación por GEI, esto conlleva a tomar medidas por lo que llegar a alternativas de mitigación es fundamental y de gran importancia.

Palabras clave: Gas efecto invernadero, Concreto, Resistencia, Contaminación huella de carbono

Abstract

This research aims to deepen in the anthropogenic dynamics in the construction industry, showing the consequences they have on the environment and therefore on climate change, this is directly related to GHG pollution (greenhouse gases) and the carbon footprint that are typical of the activities of this discipline in particular in the creation of the most used element when building any type of construction and / or infrastructure "concrete", the consequences generated by GHG emissions attributed to the use of traditional concretes and environmentally friendly ecological concretes are evidenced, the chemical and physical properties and characteristics of the materials used in both types of concrete are studied in depth, analyzing their production because concrete is obtained through clinker, raw material for the creation of concrete, which leads to the generation of significant emissions of carbon dioxide (CO₂), a greenhouse gas that contributes to climate change (S. Solomon, D.Quin, M Mannign ,2018), the cement industry is responsible for approximately 7% of global CO₂ emissions ,(A. minguito, P.rivas. (2019), which is significantly high and puts at risk the temperatures of planet earth and with it to the existence of life itself on the earth's surface, This is a relevant alert that generates concern and which we must investigate and take appropriate measures to curb to some extent the consequences of GHG pollution in the future, this leads to take measures so that reaching mitigation alternatives is essential and of great importance.

Keywords: Greenhouse effect gas, Concrete, Resistance, Pollution, Carbon footprint.

Impactos de la contaminación por dióxido de carbono en la utilización de concretos y alternativas de minimización del mismos con usos de agregados alternativos

El sector de la construcción es uno de los principales contribuyentes al desarrollo económico del país, esta industria es de las más grandes en América latina ocupando el tercer lugar después de Brasil y México, En 2019 el sector represento el 7.2% del PIB del país, se

considera que aproximadamente esta industria construye 17.8 millones de m² cada año, “las cuales se distribuyen de la siguiente manera el 80.08% se destinó para vivienda 9.7% aproximadamente para comercio, 3.6% para oficinas y 27.2% para otro tipo de construcciones” (DANE, 2019, p. 3).

Se considera que la construcción es una de las industrias que mas contribuye a la contaminación, siendo una de las que mas consume recursos naturales por la alta demanda de estas materias primas para la realización y puesta en marcha de los diferentes proyectos, esto es relevante y directamente relacionado a la utilización del concreto en sus diferentes presentaciones y por ende siendo este el factor más directo a la alta de la emisión antropogénica del Co₂ (Dioxido de carbono), en el mundo, el Co₂ es el principal gas efecto invernadero que causa el calentamiento global, la humanidad genera acciones propias que conllevan con el pasar del tiempo a contaminaciones que afectan de manera importante a los ecosistemas flora y fauna siendo esta la causa principal de contaminación en los **últimos 50 años** poniendo en riesgo a la humanidad misma, estas actividades han generado emisiones (CO₂) dióxido de carbono altamente perjudiciales para la capa de ozono,

Para poder crear concretos es necesario la utilización de aglutinantes, uno de los mas utilizados es el cemento portland el cual es el causante de la alta emisión de Co₂ del concreto, así como el transporte de materiales el cual genera una huella de carbono importante por los largos recorridos que abarca llevar el material al destino final de uso Debemos tener en cuenta que en la producción de concreto se genera un alto contenido de Co₂ y consume alta cantidad de energía, lo que genera un gran impacto al medio ambiente, “la producción de cemento Portland consume aproximadamente unas dos veces los recursos de la materia principal que normalmente se utiliza para la realización y producción de una tonelada de concreto” (Malhotra, 2010), (Purnell, 2013), de igual forma para el gremio de la construcción específicamente en la producción de concretos, se sabe que es una de las mayores

consumidoras de agua potable o agua dulce por lo cual se han generado estudios analizando los concretos y el impacto que generan según el tipo de proyecto “construcción” y la resistencia que se necesite del mismo, (N. Guzmán, NGaitán, 2021)

Por esto se asume que el cemento es el causante de aproximadamente el 7%, (A. minguito, P.rivas. (2019), de las emisiones de Co₂, el cual acrecienta con el pasar del tiempo, esto debido a que el material mas usado en las construcciones es el concreto el cual está compuesto por distintos porcentajes de cemento ordinario, Portland o CEM I, es relevante conocer e identificar las consecuencias por emisiones y huella de carbono en función del uso del concreto, por esto este documento tiene como objetivo analizar y entender dichas consecuencias atribuidas al uso del concreto y cemento dependiendo su composición, así mismo conocer el impacto que tiene y la contaminación que se genera al implementar concretos tanto tradicional como concreto con bajas emisiones de Co₂.

Estudios previos han asegurado que en un futuro mediano aproximadamente para el año 2050 el planeta tendrá altas en su temperatura promedio siendo muy crítico para los ecosistemas, esto debido a las altas contaminaciones, es por ello que diferentes industrias están desarrollando y trabajando de forma investigativa y exploratoria para garantizar y lograr una emisión cuantificable con el fin minimizar los impactos derivados a la contaminación por co₂ y por ende a un aumento de temperatura en el planeta, ya que se predice que habrá un Calentamiento global con un aumento de temperatura de 1.5 o más “(IPCC, 2007), dando lugar a consecuencias perjudiciales, como climas extremos ya sean muy fríos o muy calientes, generando inundaciones y por ende desaparición de organismos vivos junto con modificaciones y alteraciones de los ecosistemas, “Se prevee también que para este año alrededor del 6% de la población mundial vivirá en áreas urbanas, lo que representa un aumento de aproximadamente el 13% en 30 años” (Noticias ONU, 2018., párrafo 2).

Una de las grandes preocupaciones es que la población va en aumento, tendencia que ejerce gran preocupación ya este va directamente proporcionado al aumento de infraestructuras, es decir a mayor índice poblacional mayor va a ser el desarrollo de nuevas construcciones, esto para satisfacer necesidades primarias tales como transporte, recreación, vivienda, atención médica entre otras, es evidente que se va a generar un aumento significativo de la utilización y la producción del concreto, satisfaciendo las altas demandas y requisitos de infraestructura, “se estima que la demanda de concreto para el año 2050 supere los 18.000 millones de toneladas de Co₂ por año” (Andrew, R.M, 2018), por lo tanto el estudio e innovación de nuevas alternativas de agregados y aglutinantes amigables con el medio ambiente utilizados en el concreto es primordial para garantizar la conservación del planeta, esto con ayuda de nuevas iniciativas sostenibles y sustentables en todo lo asociado con la producción e implementación o utilización del concreto, por lo cual han surgido estudios a nivel mundial evaluando los mismos, analizando el impacto que conlleva la utilización de estos ya que a mayor cuantía de cemento que se implemente para la creación del concreto, mayor es el impacto ambiental por contaminación de Co₂, de igual forma aumenta su costo.

“Se el calentamiento global como la capacidad de un gas efecto invernadero para atrapar el calor en la atmosfera” (Redacción National, Párr4) el cemento materia prima para la producción de concreto genera una alta contaminación, ya que usa mucha energía para su producción y al momento de usarlo para crear concreto es necesario un alto consumo de agua para poder llevar este material a las características requeridas según su destino final, de igual forma en su proceso de fraguado este genera GE en su proceso de curado, por esto el presente estudio se enfocara en la investigación de alternativas que mitiguen la alta contaminación por co₂ en la implementación de concretos, se debe tener en cuenta para hacer estos estudios la resistencia del concreto debido a que en la construcción es un elemento

primordial a la hora de diseñar dependiendo de la obra que se vaya a realizar, adicionalmente esto puede generar un ahorro o aumento significativo en la contaminación ambiental.

Es fundamental comprender el impacto del dióxido de carbono (CO₂) y la huella de carbono asociada al uso del concreto. En este sentido, este documento se centra en determinar y analizar algunos de los efectos causados por el uso del concreto, considerando su resistencia y la cantidad necesaria según su tipo, ya sea concreto normal o de baja emisión de carbono, para diferentes escenarios de construcción.

Marco teórico

Según el convenio en el Marco de las Naciones Unidas para el cambio climático (1992), “el cambio climático es asociado directa e indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmosfera global y que se suma al cambio de temperaturas que se ha observado”, “El cambio climático se refiere a las alteraciones causadas por la intervención humana, mientras que la variabilidad climática alude a los cambios naturales que ocurren en el clima” (Garcia, 2011, pag 8)

El cambio climático engloba no solo el incremento de las temperaturas, sino también la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos, así como alteraciones en los hábitats, la flora y la fauna silvestre. Además, incluye inundaciones provocadas por el deshielo y el consiguiente aumento del nivel del mar, entre otros efectos.

Los gases de efecto invernadero (GEI) son componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como producidos por actividades humanas. Estos gases absorben y emiten radiación a longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. (IPCC, 2006).

El concepto de los gases de efecto invernadero (GEI) se mencionó por primera vez aproximadamente en el siglo XIX. En 1824, el matemático francés Joseph Fourier afirmó que la Tierra estaría más fría si no existiera la atmósfera. En 1896, el científico sueco Svante

Arrhenius fue el primero en relacionar el aumento del dióxido de carbono (CO₂) con la quema de combustibles fósiles y sus efectos de calentamiento. Un siglo después, en 1988, el climatólogo estadounidense James E. Hansen declaró ante el Congreso que "el efecto invernadero se ha detectado y está cambiando nuestro clima ahora".

Los encargados de mantener la superficie terrestre caliente son los GEI, ya que absorben la energía solar y la retienen en la atmosfera sin dejarla escapar al espacio, a esto se le denomina como efecto invernadero, este proceso se ha encargado de mantener el clima de la tierra para que la misma se habitable por los diferentes organismos y seres vivíos, con el pasar del tiempo y el alta que se ha venido evidenciando de estos gases, hora desequilibrados por la intervención y aumento antropogénico de las industrias, estos están amenazando con cambiar significativamente, minimizando la posibilidad de supervivencia de los seres vivos en el planeta tierra.

Los niveles atmosféricos de (Co₂), uno de los gases efecto invernadero más peligrosos y con más presencia en la atmosfera, no ha parado de crecer en los últimos años, estos niveles se han generado principalmente por las acciones derivadas de la actividad antropogénica de los seres humanos, ya sea por la industria o propias de las actividades cotidianas de los seres vivos. La huella de carbono es la cantidad de GEI emitido a la atmosfera proveniente de las actividades de producción y consumo de servicios y bienes que utilizan los seres humanos, esto abarca desde los GEI que se emiten en la producción y transporte de los materiales hasta el ciclo de vida completo del mismo incluyendo las materias primas y su destino o disposición final una vez se desechen.

Para poder comprender la huella de carbono en su totalidad es preciso contemplar el deber que cumplen y tienen los consumidores atreves de sus alcances de compra, estos se consideran como una de las principales causas de contaminación por GEI causada por un determinado bien o servicio.

En los modelos existentes para calcular las emisiones por GEI actualmente disponibles se contabiliza solo a quienes generan Co₂ en los proceso de producción, reconociendo cuáles son las emisiones a ser estimadas en cada una de las etapas de su ciclo de vida y si son emisiones asociadas al consumo del producto o al comportamiento del consumidor, es por esto que se empiezan a ver alternativas e iniciativas enfocadas a introducir este tema de contaminación por GEI en las agendas de comercio que aunque podrían generar limitaciones son vistas como una oportunidad para que los países adopten procesos de producción energéticamente más eficientes y con una minimización de carbono considerable.

Las empresas encargadas de producir concreto en el país crece directamente proporcional al sector de la construcción y por ende al crecimiento de las urbes, por lo cual se hacen los siguientes interrogantes, ¿Cuál es la huella de carbono generada por la industria del concreto y cuáles son las alternativas de mitigación de la misma?, esto teniendo en cuenta que la huella de carbono se expresa en unidades de carbono equivalentes a "Co₂eq" unidad que mide la emisión de GEI, esta medida nos permite determinar el impacto que deja la actividad humana sobre el medio ambiente, es decir, rastro que se deriva de una marca, producto u organización sobre el medio ambiente a consecuencia de las acciones totalizadas según indicadores de emisiones de dióxido de carbono Co₂, aunque no hay un estándar internacionalmente reconocido para determinar si una industria es carbono neutral, muchas organizaciones se han autoproclamado como neutrales al compensar sus emisiones contabilizadas, esto se logra mediante acciones como la reforestación (captura de carbono), la compra de bonos de carbono y otros métodos similares, lo que permite equilibrar el balance neto de emisiones a cero el concepto carbono neutral hace referencia a la neutralidad de Co₂, para garantizar esto en la industria de la construcción se debe tener en cuenta que la construcción tiene diversos aportes de Co₂ según la etapa de producción y puesta en marcha de los diversos proyectos, el concreto es principal producto utilizado en esta industria y existen

diversos tipos y usos entre los cuales se destaca, “En algunos países de Latinoamérica, el término "hormigón" se utiliza para describir el material obtenido al combinar cemento con áridos como piedra, grava y arena, y luego agregar agua a la mezcla.” (De León, 2013), Además, se encuentra el "concreto premezclado", que es un proceso industrial automatizado que implica la dosificación precisa de insumos como aditivos, cemento, agregados y agua en cantidades específicas. (Ecoconsult, 2009).

“En el país la cementera CEMEX compañía especializada en el sector de la construcción la cual no solo está constituida en Colombia si no en más de cincuenta países en todo el mundo, y dedicada a la producción de concreto premezclado y creación de productos tales como agregados y cemento, esta empresa CEMEX afirmó y difundió la cuantificación de la huella de carbono calculada durante el año 2010 en Dinamarca, convirtiéndose en la primera empresa del sector de la construcción a nivel mundial en publicar estos resultados.

Sus emisiones calculadas fueron de 298kg Co₂e por tonelada de concreto premezclado producido, CEMEX publicó también las emisiones relacionadas con la producción de arena, agregados y cemento entre otros” (Cemex, 2014), ,los resultados obtenidos tienen en cuenta el transporte de los materiales, el combustible y la energía utilizada en la producción de concreto, los estudios hechos y revelados por CEMEX se realizaron desde el punto de vista del ciclo de vida del producto desde materias primas, producción del concreto, durabilidad en tiempo útil del mismo y disposición final cuando este ya no sea útil, en Dinamarca, se evaluó la cantidad de CO₂e por cantidad de concreto producido en el año 2008, basado en cifras danesas. Esto equivale a 0,42 toneladas de dióxido de carbono por metro cúbico de concreto producido. Además, se realizó un análisis de emisiones durante todo el ciclo de vida y se compararon las industrias con menores y mayores emisiones de dióxido de carbono. Considerando que la densidad del concreto es de 2400 kg/m³, se estimó una emisión de 0,17 kg/kg.

El sector de la construcción desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico y social del país, pero también es uno de los principales responsables del deterioro actual del medio ambiente. La industria de la construcción, por su propia naturaleza, implica una explotación continua de recursos naturales, un alto consumo energético y un aumento en la cantidad de vertederos destinados a la disposición de residuos. Estas prácticas contribuyen a que las condiciones ecológicas y sociales no sean sostenibles a mediano plazo, incrementando la contaminación por CO₂ a medida que avanza el ritmo actual del crecimiento demográfico. (Ahmed et al, 2014), es por esto que es evidente que la industria de la construcción requiere un cambio, por lo que se empiezan a implementar estrategias y estudios que hoy en día aportan a esta investigación siendo punto de partida y contextualización global de la huella de carbono en concretos.

Otra investigación que nos ha aportado a este documento es la realizada en Guatemala llamada estudio de la huella de carbono de la industria concretera, (La reducción del consumo de cemento en concretos premezclados puede contribuir a la mejora de la rentabilidad de la industria y a la disminución del impacto ambiental asociado con su producción.), (De León Alan, 2013) tesis para el grado de ingeniero mecánico industrial de la universidad de San Carlos de Guatemala, se realizó teniendo en cuenta la huella de carbono que se genera en el ciclo de vida incluyendo el transporte de materias primas, el combustible asociado a esta actividad y la energía requerida y utilizada para producir el concreto, la cual indica que la medición en el año fue de producción de 763000m³ de concreto lo cual genera una contaminación por Co₂ de 288250 toneladas de Co₂ las cuales 244279 toneladas son provenientes de la producción de cemento, el restante vienen por causa de la mezcla, transporte y construcción.

La cuantificación de las emisiones de CO₂ durante el ciclo de vida del producto se realizó utilizando la metodología de huella de carbono de Cemex México. El resultado fue una generación aproximada de 0,37 toneladas de CO₂ por metro cúbico de concreto producido y

una tonelada de CO₂ por cada tonelada de cemento producido. Esta investigación proporciona información valiosa para cuantificar adecuadamente las emisiones de CO₂ e identificar los momentos y procesos en los que se genera la huella de carbono en los concretos, lo que constituye un punto de partida fundamental para implementar estudios similares en el país.

En 2008, Vestergaard realizó un análisis de la huella de carbono de los edificios de concreto en Dinamarca, desde la perspectiva del ciclo de vida, bajo el título "Huella de carbono de los edificios de hormigón en el ciclo de vida". Este estudio, llevado a cabo por el Centro del Hormigón Danés, determinó que la cantidad de dióxido de carbono emitida por cada metro cúbico de concreto premezclado es de 0,42 toneladas. Además, debido a que se trató de un análisis de emisiones durante todo el ciclo de vida, Vestergaard comparó las industrias con mayor y menor emisión de CO₂, considerando una densidad de concreto de 2400 kg/m³, lo que equivale a una emisión de 0,17 kg/kg. Este estudio permite identificar los componentes clave del ciclo de vida de un producto, específicamente del concreto, y ofrece una alternativa para cuantificar las emisiones de CO₂, proporcionando información valiosa sobre el tema tratado en esta investigación.

Un estudio sobre emisiones de CO₂e en Hong Kong (Leung, 2009), titulado "Emisiones de CO₂ del hormigón", llevado a cabo por la institución Materiales de Arup, Tecnología Hong Kong, investigó las emisiones de dióxido de carbono del concreto. Para hacerlo, se realizaron análisis previos de las emisiones promedio del producto bruto en Hong Kong, seguidos de la cuantificación de las emisiones de dióxido de carbono derivadas del concreto. El estudio incluyó una comparación con las emisiones por producción de cemento. Los resultados de Leung determinaron que se emiten 0,12 toneladas de CO₂ por tonelada de concreto producido y 0,88 toneladas de CO₂ por tonelada de cemento producido. Según Leung, el proceso que genera mayor emisión de dióxido de carbono es la manufactura del cemento Portland, que requiere combustible, transporte y gran cantidad de energía para procesos como la preparación

del cemento. Además, Leung afirma que los agregados tienen menor emisión de CO2 que el cemento, ya que los GEI provienen en su mayoría del transporte. Este análisis proporciona información segmentada sobre la huella de carbono dejada por la producción y utilización de concretos.

El artículo de Vidrio molido como tecnología sostenible en el concreto hidráulico *Tecnología en Marcha Vol.34 especial movilidad estudiantil Octubre 2021*, por **Andres Rojas-Ramos (2021)**, Este artículo destaca que la industria de la construcción tiene una alta demanda global, lo que conlleva un aumento en la demanda de materiales constructivos, como el concreto hidráulico. La producción de este material y sus componentes genera una contaminación directa por gases de efecto invernadero (GEI). Para reducir este impacto ambiental, se propone sustituir el cemento por materiales más amigables con el medio ambiente. Entre las opciones se encuentran materiales con propiedades aglutinantes, como el vidrio molido, que es 100% reciclable y presenta características aglutinantes, lo que lo hace una solución con alto potencial de uso y desarrollo (Rojas-Ramos, A , 2021), este artículo brinda información sobre alternativas a implementar que permitan mitigar la contaminación por huella de carbono en los concretos.

La implementación de la economía circular en una obra de construcción, según la tesis de Alejandra Nikita, Palomina Pando y Natalia Verinoca Mendez de la Pontificia Universidad Católica del Perú, facultad de ciencias e ingeniería, tiene como objetivo la aplicación de los principios de la economía circular en la construcción. Esto se logra mediante la incorporación de alternativas en los procesos de diseño y construcción para reducir residuos y minimizar el impacto ambiental, con el fin de crear ciclos productivos más sostenibles en la cadena de producción de una obra.

Metodología

Esta investigación se realizó a partir de fuentes de información secundarias con enfoque de tipo cualitativo medio por en cual se generó análisis y teoría a la luz de los objetivos planteados anteriormente, se busca analizar las relevancias en cuanto a la contaminación y mitigación por Co₂ en la implementación y utilización de concretos tradicionales y no convencionales de tipo ecológico amigables con el medio ambiente.

La investigación es de tipo descriptivo y bibliográfico ya que se recopiló información de textos, síntesis, características, normas etc., de la problemática existente con respecto a la contaminación y emisiones de Co₂. “este tipo de investigación descriptiva fundamentan las mismas y a su vez proporcionan información para realizar estudios que generan sentido de entendimiento”(DANKHE, G.L, 1976), para ello se recolectó información que facilitó comprender el porqué del cambio climático y la conexión directa que este tiene con la huella de carbono que se genera con utilización de concretos, acercándonos a alternativas de solución como el concreto tipo ecológico y sus diferentes materiales usados, “en su metodología los tipos de instrumentos a utilizar fueron (Cualitativos), para poder describir el impacto y las consecuencias que genera la huella de carbono por la utilización de concretos tradicionales y no convencionales y/o concretos tipo ecológico, nos basaremos en estudios previos hechos en otros países, para lo cual la recolección de datos resulta importante, con el propósito no de medir variables para cuantificar con fines estadísticos, si no que se busca datos (que se convertirán en información base) información de, comunidades, situaciones y procesos en profundidad, Se recopila información con el fin de analizar y comprender y con ello responder las preguntas de investigación y generar conocimiento” (DANKHE, G, L. 1976), investigación y comunicación en C. fernandez-Callado y G. L. DANKHE (EDS); “la comunicación humana ciencia social”, McGraw-Hill, Mexico, PP 277-353.

Reflexión

Objetivo específico 1 (Determinar y comprender algunos de los materiales que se pueden implementar para la minimización del CO₂ en concretos ecológicos y/o amables con el medio ambiente.)

El gremio de la construcción enfrenta la creciente necesidad de reducir su impacto ambiental, específicamente en la reducción de dióxido de carbono (CO₂) es por ello que se habla de la implementación concretos ecológicos o bajos en emisión de Co₂, la industria es responsable de una gran parte de la contaminación ambiental por gases efecto invernadero, esto principalmente debido a la producción del cemento, por esta razón es que se ha investigado y contemplar diferentes alternativas para mitigar en cierta medida la contaminación por Co₂ que es el principal gas GEI que generamos en la producción de la industria del concreto.

La fabricación de concreto implica la combinación de cemento, agregados y agua, siendo el cemento el material principal y la principal fuente de emisiones de CO₂ durante la producción del mismo, la calcinación de la piedra caliza libera grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera, según estudios (Smith et al., 2020), esta industria es responsable del 8% de las emisiones globales de CO₂ aproximadamente, además de la fase de creación o producción, el concreto libera CO₂ gradualmente durante su ciclo de vida, proceso conocido como carbonatación.

“La elección de los áridos y su dosificación en la mezcla para realizar el concreto tiene un impacto directo y significativo en la resistencia, desempeño y durabilidad a largo plazo, los porcentajes en la dosificación de la mezcla juega un papel fundamental ya que según estudios la incorporación de áridos influye directamente en la capacidad de absorción de CO₂, resistencia, durabilidad y tiempos de fraguado en el proceso de endurecimiento.

De acuerdo con Smith et al. (2019), la cantidad óptima de áridos en concretos ecológicos varía en función de diversos factores, incluyendo la composición de los áridos, las características del cemento utilizado y los requisitos de resistencia y durabilidad final del mismo etc.” Según Jones y Smith (2020), “la inclusión de áridos en la mezcla de concreto puede aumentar la suficiencia de absorción de CO₂, reduciendo así la huella de carbono del material.”

Los concretos tipo ecológico y/o amigable con el medio ambiente están compuestos por cemento, agua, agregados y adiciones minerales, además de incorporar materiales reciclados como parte de su formulación, materiales como agregados tipo cementos con bajo contenido de carbono (adición de escoria o cenizas volantes), agregados naturales y/o reciclados (arenas, grava y piedras trituradas), para la producción de concretos con baja emisión de Co₂ se requiere una cuidadosa selección y optimización de los materiales a usar ya sean naturales o reciclados, adiciones minerales además de generar prácticas eficientes del uso del agua, con esto es posible reducir significativamente la emisión de Co₂ y por ende reducir la huella de carbono asociada a los proyectos de construcción promoviendo la sostenibilidad ambiental en el sector de la construcción.

Entre los tipos de áridos que podemos utilizar en la producción de concretos ecológicos encontramos, áridos naturales los cuales se obtienen de canteras y yacimientos naturales como gravas, arenas y piedra triturada, áridos reciclados provenientes de demoliciones como el hormigón reciclado, escoria de fundición contribuyendo a la preservación de los recursos naturales por medio de la reutilización de desechos.

Los áridos de baja emisión de Co₂ son producidos con menos contenido de carbono incorporado como la piedra caliza y puzolanas, la relación y cantidad óptima de áridos en la mezcla de concreto depende de varios factores requerido entre los cuales está la resistencia deseada del mismo, disponibilidad fácil y rápida de los materiales a usar entre otros, los áridos

que se implementan en la composición de concretos ecológicos es una opción viable para reducir la huella de carbono en los concretos ya que ofrecen una alternativa sostenible.

Objetivo específico 2 (identificar la cantidad de áridos que se debería implementar conforme su resistencia en la utilización de concretos ecológicos con baja emisión de CO2.)

La producción de concreto tradicional o concreto portland se rige por normativas y estándares establecidos por organizaciones como la ASTM International y la American Concrete Institute (ACI) lo que garantiza en cierta medida la calidad y la durabilidad del concreto utilizado en diferentes aplicaciones de la construcción, el concreto tradicional es relevante y fundamental en la industria de la ingeniería civil caracterizándose por su durabilidad y resistencia, para entender cómo se crea el concreto tradicional es esencial seguir las recomendaciones y pautas que nos indican estas organizaciones.

La ASTM International ofrece normas como la ASTM C94, que aborda los requisitos para el concreto premezclado, además la ACI proporciona pautas detalladas sobre la dosificación y/o mezclas de los materiales en su Manual of Concrete Practice.

La producción de concreto tradicional implica la combinación de cemento, agua, agregados y aditivos en proporciones específicas, la norma ASTM C94 establece los requisitos para la selección y proporciones de los materiales, mientras que la ACI nos da recomendaciones para la dosificación óptima de los mismos, el proceso comienza con la selección de los materiales de alta calidad que cumplen con las normativas establecidas; El cemento Portland es utilizado en su mayoría debido a su capacidad para producir un concreto resistente y duradero, los agregados que puede incluir son grava, arena y piedra triturada, estos deben cumplir con requisitos de tamaño y limpieza según lo especificado en las normas mencionadas anteriormente.

Una vez seleccionados los materiales, se procede con la dosificación y mezcla, la proporción de cada componente se determina cuidadosamente para garantizar las

características deseadas del concreto final, como resistencia, durabilidad y trabajabilidad, la ACI nos proporciona tablas y métodos para calcular estas proporciones de manera precisa.

Para poder analizar y comprender algunos de los materiales que podemos encontrar en el concreto verde (concretos con baja emisión de Co₂) nos basamos en estudio hechos previamente como artículos de revistas y trabajos de tesis entre los cuales encontramos la revista ciencia e ingeniería neogranadina revista de la universidad militar nueva granada en la cual encontramos el artículo “RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO ADICIONES EN LA ELABORACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO NO ESTRUCTURAL” donde en la metodología para poder comprender y clasificar los materiales que se pueden usar en la producción del concreto verde se hace referencia a distintos métodos para poder clasificar los materiales.

1. RECOLECCIÓN

El estudio contempló el uso de algunos materiales como cascarilla de arroz, ceniza de arroz, cenizas de centrales térmicas y arena, como adiciones para la producción de bloques de concreto. En el país, el concreto tradicional utilizado es el Portland gris tipo I, el cual cumple con las normas y especificaciones mecánicas y químicas de la NTC 121 y NTC 321, Se debe tener en cuenta que la cascarilla de arroz es previamente lavada con el fin de eliminar las impurezas derivadas de los granos y la paja del arroz, también la arena la cual fue seleccionada y es de origen natural, garantizando que esté libre de material contaminante como impurezas orgánicas entre otros, para garantizar mezclas trabajables y adherentes que cumplan con las especificaciones en NTC 2240 es necesario que los materiales estén bien gradados es decir que sus partículas sean finas y de diferentes tamaños.

Para poder determinar si los materiales antes mencionados son aptos o no, como mínimo se debe cumplir con una resistencia a compresión y tensión para ello es importante

generar análisis en diferentes porcentajes de concreto y adiciones de los materiales ecoamigables antes mencionados.

Para la cascarilla el uso es viable en adiciones del 10% y curado a las 28 días sin embargo la tendencia es en cuanto a su resistencia es inversamente proporcional el porcentaje de adición es decir entre mayor adición exista de cascarilla de arroz menor es su resistencia con respecto al patrón de un ladrillo comercial hecho con cemento portland tradicional, Aunque el material no es adecuado para todos los casos, puede ser utilizado en algunos específicos, como la mampostería, donde no se requiere una resistencia tan alta. Esto es siempre y cuando la adición sea del 10% o menor. Las cenizas de centrales térmicas, por su parte, tienen una resistencia generalmente superior a la de un bloque tradicional de Portland. La notable variabilidad entre la adición de cascarilla de arroz y cenizas de centrales térmicas se debe al tamaño de las partículas del material. Las cenizas de centrales térmicas tienen partículas más finas que las cascarilla de arroz, lo que facilita la activación química y, en consecuencia, la resistencia a la compresión.

Es importante tener presente que en su mayoría las adiciones para generar concretos ecoamigables son más efectivos en bajas proporciones es decir mayor cantidad cemento y menor cantidad de agregados por unidad de volumen.

2. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS BLOQUES

Para evaluar las características mecánicas de los bloques de concreto con bajas emisiones de CO₂, es fundamental realizar pruebas en cuanto a la compresión y resistencia así como a la flexión y abrasión. Según Jones y Smith (2019), “la resistencia a compresión es crucial para garantizar la capacidad de carga de los bloques en aplicaciones estructurales”. Además, estudios como el de García et al. (2020) han demostrado que la adición de materiales alternativos al concreto, como cenizas volantes o escorias, puede influir significativamente en la resistencia a la flexión, mejorando la durabilidad del material.

La reducción de las emisiones del dióxido de carbono “CO₂” en la producción de bloques de concreto es un objetivo clave en la búsqueda de prácticas más sostenibles, la adición de minerales en la mezcla de concreto puede reducir las emisiones de dióxido de carbono lo que a su vez contribuye a mitigar el cambio climático, este enfoque es coherente con las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), que promueve el uso de materiales con un impacto ambiental reducido, como la implementación de materiales reciclados en la construcción de infraestructuras. (EPA, 2021), Las características mecánicas específicas necesarias en los bloques de concreto con bajas emisiones de CO₂ son fundamentales para asegurar su viabilidad en aplicaciones estructurales.

La combinación de materiales alternativos y técnicas de producción sostenibles no solo reduce el impacto ambiental en el gremio de la construcción, sino que también promueve la innovación y la eficiencia en el sector.

Conclusión

El concreto, es fundamental en la construcción, este ha transformado el paisaje urbano y la infraestructura global, su producción y uso están estrechamente vinculados con la emisión de GEI, específicamente el gas denominado dióxido de carbono (CO₂), siendo liberado por la producción y uso del concretos, este gas es relevante en el cambio climático específicamente en el calentamiento global.

El proceso de carbonatación del concreto puede prolongar la liberación de CO₂ durante décadas lo que contribuye aún más al impacto climático, para comprender el impacto que tiene el co₂ en la huella de carbono del concreto y la contaminación se requiere un enfoque integral que tenga en cuenta todas las etapas del ciclo de vida del concreto, desde la producción de materias primas hasta la demolición y el reciclaje del mismo, la adopción de prácticas sostenibles, como el uso de cementos alternativos con bajas emisiones de dióxido de carbono y la optimización de procesos de producción con la implementación de diseños estructurales

más eficientes, esto fundamental para minimizar el impacto que tiene ambientalmente la industria.

La interacción que tiene la atmosfera, la superficie terrestre, los glaciales, océanos, aguas continentales y seres vivos da como resultado el clima de la superficie terrestre, lo que mantiene la tierra caliente son lo denominados gases efecto invernadero GEI, de los que mayor impactan al medio ambiente y por ende al calentamiento global son el vapor de agua y el dióxido de carbono ya que actúan como cobertura o manto reteniendo el calor sin dejarlo escapar al espacio, Hernández 2010, esto se valida ya que actualmente están ocurriendo cambios evidentes en las temperaturas, esto es innegable y prueba de ello es el aumento de la temperatura en la superficie.

Los GEI son el ingrediente gaseoso que está en la atmósfera estos se generará de dos formas, de forma natural y de forma antropogénica o propiamente derivado de las acciones o actividades inherentes al ser humano, “El proceso que genera los gases de efecto invernadero (GEI) es la absorción y emisión de radiación a longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre, la atmósfera y las nubes” (IPCC, 2007).

Estos gases son los encargados de mantener el calor cerca de la superficie terrestre, estos absorben el calor y no los dejan escapar al espacio a esto se le conoce como efecto invernadero, al atrapar el calor del sol los GEI se encargan de mantener la temperatura adecuada para que la tierra sea habitable, sin embargo la alta acumulación de los mismos amenazan con cambiar radicalmente las temperaturas poniendo en riesgo la conservación de especies “seres vivos” en el planeta, uno de los GEI que se consideran más peligrosos es el dióxido de carbono (CO₂), gas de efecto invernadero con mayor presencia en la atmosfera.

Los niveles de gases de efecto invernadero han aumentado principalmente porque las acciones antropogénicas derivadas de los seres humanos los han arrojado al aire por actos

propios derivados de acciones humanas y/o producciones en masa de las industrias, La industria de la construcción tiene un papel fundamental e importante en el desarrollo y la economía del país, la utilización del concreto es esencial para el desarrollo de la misma, siendo el concreto uno de los materiales artificiales más usados en el mundo y el más consumido después del agua.

“Por su alto rendimiento y versatilidad el concreto abarca altas demandas de consumo industrial y de infraestructura además tiene una gran acogida por el fácil acceso local de sus materias primas siendo de fácil acceso para diversas aplicaciones en la construcción” (Adeyemi, 2020), al momento de generar el cemento material base para la creación del concreto se generan grandes cantidades de GEI entre los cuales está el CO₂, al mismo tiempo se consumen cantidades importantes de recursos y energía, en la actualidad la construcción se está realizando con rapidez en todo los continentes por lo que se necesita reducir el impacto ambiental, es por ello que el reutilizar materiales alternativos abre la posibilidad de implementar el llamado (concreto verde sostenible), este se obtiene por medio de la reutilización de escombros dejados en calles, campos y botaderos etc.. aplicándolos como material nuevo transformándolos en agregados y convirtiendo este proceso en una fuente renovable, esto disminuye no solo el consumo y la explotación de materias primas como minerales que se utilizan en la construcción tradicional por lo cual se busca implementar áridos residuales y lignosulfonato para la producción de hormigón verde con aumento considerable en sus propiedades mecánicas.

Los materiales residuales de la construcción causan daños a largo plazo al entorno ecológico ya que se contamina el suelo alterando la superficie terrestre por eso se busca minimizar la utilización de agregados naturales reemplazándolos por agregados reciclados reduciendo significativamente el impacto ambiental y por ende la huella de carbono que se genera, aunque se han generado estudios de factibilidad en la implementación de concretos

verdes y/o amigables con el medio ambiente la utilización de los mismo en el gremio es muy baja.

A medida que avanzamos hacia un futuro más sostenible, es fundamental impulsar la innovación y la colaboración en la industria del concreto. La inversión en investigación y desarrollo de tecnologías limpias y prácticas sostenibles es fundamental para reducir las emisiones de CO2 y mitigar el cambio climático. Solo a través de un compromiso conjunto entre el sector público y privado podemos asegurar un desarrollo urbano y una infraestructura resistentes y sostenibles para las generaciones futuras.

La determinación de las características mecánicas de los bloques de concreto con bajas emisiones de CO2 es un paso crucial en la búsqueda de soluciones más sostenibles para la industria de la construcción. Si bien existen desafíos técnicos y económicos asociados con la producción de estos materiales, los avances en la investigación y la tecnología están allanando el camino para la adopción generalizada de prácticas de construcción más respetuosas con el medio ambiente. Al continuar investigando y desarrollando nuevas formas de mejorar las propiedades mecánicas y ambientales de los bloques de concreto, es posible crear un futuro donde la construcción sea no solo más sostenible, sino también más segura y eficiente.

Referencias

- A. Josa, A. Aguado, A. Cardim, E. Byars. (2007). *"Comparative analysis of the life cycle impact assessment of available cement inventories in the EU"*. Source type Journal, Volume 37, Issue 5, Pages 781 - 788. Obtenido de https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-34147104837&origin=inward&txGid=e24a0c8897b5d10f7dc2c5d6a86cc343&featureTo ggles=FE ATURE_VIEW_PDF:1

A. Pachauri, R. K.; Reisinger, *"Climate Change 2007: An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change,"* 2007

ACI Committee 211. (2002). ACI 211.1-91 *"Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. American Concrete Institute"*. Retrieved from [http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Concreto de alta densidad/Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete \(ACI 211.1-91\).pdf](http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Concreto de alta densidad/Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91).pdf)

Arriaga, L., Torres, N., & Quiroga, P. N. (2013). *"Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado."* Escuela Colombiana de Ingeniería.

A. minguito, P.rivas. (2019, 5 de julio), *"Cemento, la industria que contribuye más a la crisis climática que toda la flota global de camiones. Revista el salto."*
<https://www.elsaltodiario.com/cambio-climatico/cemento-industria-contribuye-crisis-climatica-flota-global-camiones#:~:text=Las%20cementeras%20son%20responsables%20de%20cerca%20del%207%25,de%20la%20construcci%C3%B3n%20podr%C3%ADa%20hacer%20que%20sigan%20aumentando.>

A., & Smith, B. (2020). *"Optimizing aggregate content for eco-friendly concrete production."* Journal of Sustainable Construction, 12(3), 45-58. Smith, B., et al. (2019). Influence of aggregate composition on the properties of low-CO₂ concrete. Construction and Building Materials, 178, 210-225.

Acevedo Agudelo, H., Vásquez Hernández, A., & Ramírez Cardona, D. A. (2012).

"Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia." Gestión y Ambiente, febrero, 105–117.

- Agencia de Protección Ambiental [EPA]. (2021). *"Environmental Guidelines for Sustainable Construction"*. Recuperado de <https://www.epa.gov/sustainable-construction/environmental-guidelines-sustainable-construction>
- Agencia Internacional de Energía (IEA). (2019). *"Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry"*. IEA Publications.
- Agrawal, D., Uday Waghe a, Khalid Ansari a 1, Mugahed Amran b c, Yaser Gamil d e, Ayed E. Alluqmani f, Nitin Thakare. (2024). *"Optimization of eco-friendly concrete with recycled coarse aggregates and rubber particles as sustainable industrial byproducts for construction practices."* *Helyon*, 10(4), 1-15.
- Ahmed, K., Hatira, L., & Valva, P. (2014). *"The Construction Industry in Ghana, West Africa."* (Tesis de maestría). School of Engineering, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden. Recuperado <portal.org/smash/get/diva2:829734/FULLTEXT01.pdf>
- American Concrete Institute. (2020). *"ACI Manual of Concrete Practice"*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- Andrew, R. M. (2018). *"Global CO₂ emissions from cement production."* *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 195–217. <https://www.bcr.com.ar/es/print/pdf/node/79699>.
- ASTM International. (2020). ASTM C150 / C150M-20, *"Standard Specification for Portland Cement. West Conshohocken,"* PA: ASTM International.
- ASTM International. (2020). ASTM C94 / C94M-20a, *"Standard Specification for Ready-Mixed Concrete. West Conshohocken,"* PA: ASTM International.
- Cementos Argos. (2017). Estudio de caso KPMG True Value.
- CEMEX (Cementos Mexicanos S.A.B. de C.V, MX) 2014. *"CEMEX homepage (en línea)"*. ES. Consultado 15 nov. 2014. Disponible en <http://www.cemex.es>

- Chiu, Y. W., & Wuest, T. (2018). "Carbon Capture and Storage in the Cement Industry: A Review of the Technologies and their Applications. *Environmental Science & Technology*", 52(13), 7684–7694. doi:10.1021/acs.est.7b06991
- Comisión Intersecretarial de cambio climático CICC (SEMARNAT), "*Estrategia nacional de cambio climático*," 2007.
- DANE. (2019). "*Indicadores Económicos Alrededor de la Construcción (IEAC)*." Obtenido https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib_const/Bol_ieac_Ilttrim19.pdf
- DANKHE, G. L. (1976), Investigación y comunicación, en C. Fernández-Collado y G. L. Dankhe (Eds): "*La comunicación humana: ciencia social*", McGraw-Hill, México, pp. 385-454.
- De León A, (2013). "*Reducción del consumo de cemento en concretos premezclados, para el incremento en la rentabilidad de esta industria y la disminución del impacto ambiental que este genera*." Tesis para optar el grado de Ing. mecánico industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala. 65 p
- Ecoconsult. (2009). "*Declaración de Impacto Ambiental de Planta Ancieta*." Unión de Concreteras S.A. Lima-Perú. 8, 14, 16 p.
- EPA. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2021). "*El cambio climático y usted*." <https://archive.epa.gov/epa/espanol/el-cambio-climatico-y-usted.html>
- Galarza, C. (2016). "*Estimación de la huella de carbono según la ISO 14064-1 alcance 1 y 2 de una planta productora de concreto premezclado y prefabricado*." Trabajo de Grado. Universidad Nacional Agraria La Molina
- García Cristina, (2011). "*El cambio Climático: Los aspectos Científicos y Económicos más relevantes*." Revista Científica de Ciencias Sociales y Jurídicas. Universidad Complutense de Madrid, España. 7 p.

- García, A., López, B., & Martínez, C. (2020). *"Influencia de las adiciones minerales en las propiedades mecánicas del concreto"*. Revista de Materiales Avanzados, 15(2), 45-58.
- García, A., López, B., & Martínez, C. (2020). *"Influencia de las adiciones minerales en las propiedades mecánicas del concreto"*. Revista de Materiales Avanzados, 15(2), 45-58.
- García, C. (2011). *"El cambio Climático: Los aspectos Científicos y Económicos más relevantes"*. Revista Científica de Ciencias Sociales y Jurídicas, 32(4), 1-29.
<https://www.redalyc.org/pdf/181/18120706003.pdf>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014). *"Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change"*. Cambridge University Press.
- Hernández Paulo, (2010). *"Alternativas para la compensación de emisiones de gases de efecto invernadero a través de plantaciones forestales"*. Tesis para adquirir el grado de Magister en Socio economía Ambiental. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Postgrado del CATIE. Turrialba, Costa Rica. 12, 21 p.
- Herrera Barrios, L. (2020). *"Efecto de la ceniza volante cribada como sustituto parcial del cemento portland en las propiedades mecánicas e indicadores de durabilidad en morteros expuestos a atmosferas de co₂"*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo león
<https://essd.copernicus.org/articles/10/195/2018/>
- IDEAM. (2020). *"Cambio Climático"*. Obtenido de IDEAM:
<http://www.ideam.gov.co/web/atencion-yparticipacion-ciudadana/cambio-climatico>
- International Organization for Standardization (ISO). (2015). ISO 14001:2015 *"Environmental management systems - Requirements with guidance for use"*. ISO Publishing.
- IPCC, *"Intergovernmental Panel on Climate Change"*, septiembre 2007, AR4 Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis,
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf

- Jones, R., & Smith, T. (2019). *"Compressive strength testing of low-CO₂ concrete blocks"*. Journal of Sustainable Construction, 8(3), 112-125.
- Leung S. 2009. *"Carbon Dioxide (CO₂) Emissions of Concrete. Arup Materials Technology. Hong Kong."* 52 diapositivas.
https://www.devb.gov.hk/filemanager/en/content_680/6_mr_stephen_leung_carbon_dioxide_emissions_of_concrete.pdf
- Malhotra, V y Mehta, P K.(2002). *"High performance, High volume Fly Ash Concrete."* Suppl. Cem. Mater. Sustain. Dev.
- N. Guzmán, NGaitán. 2021. *"Análisis comparativo del impacto de la huella de carbono de concretos marca Cemex."* Trabajo de grado para la optencion de titulo como ingeniero ambiental de la universidad de la salle. Retrieved from
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1976
- Naciones Unidas. (1992). *"Climate monitoring and data sets. Framework Convention on Climate Change."* Consultado el 20 oct. 2014. Disponible en
<http://www.metoffice.gov.uk>
- Noticias ONU, 2018. *"Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo. Naciones unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales."* (parafo 2) <https://www.un.org/es/desa/2018-world-urbanization-prospects>
- Pérez, M., & Gómez, J. (2018). *"Impacto ambiental de la producción de bloques de concreto"*. Revista de Ingeniería Ambiental,
- Pérez, M., & Gómez, J. (2018). *"Impacto ambiental de la producción de bloques de concreto"*. Revista de Ingeniería Ambiental, 22(1), 78-91.
- Ramírez, A. (s.f.). *"Metodología de la Investigación Científica."* Obtenido de Pontifica Universidad Javeriana: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.03.027>

REDACCIÓN NATIONAL GEOGRAPHIC, 2024 22 enero. “¿Qué es el efecto invernadero y cómo se produce?” <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/01/que-es-el-efecto-invernadero-y-como-se-produce>

Rojas-Ramos, A. (2021). “*Vidrio molido como tecnología sostenible en el concreto hidráulico.*” Tecnología en Marcha. Vol. 34, especial. Movilidad Estudiantil. Pág 13-18.
<https://doi.org/10.18845/tm.v34i5.59071> URL:
https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/5907/5656#:~:text=Utilizar%20vidrio%20molido%20como%20componente,de%20emisi%C3%B3n%20de%20gas es%20contaminantes

S.Solomon, D.Qin, M. Manning, (2018), “*Aceptación*” de los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) en una Sesión del Grupo de Trabajo (GP) o Grupo significa que el material no se ha examinado y acordado en detalles, pero expone una visión extensa, objetiva y balanceada del tema. 64-65. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4-wg1-ts-sp.pdf>

Smith, J., Brown, A., & Johnson, C. (2020). “*Carbon Dioxide Emissions in Cement Manufacture*”: A Review. Journal of Cleaner Production, 260, 121026.