

**LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MATERIA
PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN DEL CEMENTO, LADRILLO Y ACERO**

Bryan Yessid Fernández Parra

María Camila Gutiérrez Peñaloza

Dirley Melany Rojas Vargas

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA

Facultad de Ingeniería

Villavicencio

2020



**LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MATERIA
PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN DEL CEMENTO, LADRILLO Y ACERO**

Bryan Yessid Fernández Parra

María Camila Gutiérrez Peñaloza

Dirley Melany Rojas Vargas

**Análisis sistemático de literatura presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil.**

Asesores

**Ing. Mateo Agudelo Varela. Ingeniero Civil, Especialista en planeación y Magister en
gestión ambiental.**

**Ing. Javier Andrés Vargas Guativa. Ingeniero eléctrico, Especialista en mecatrónica y
docencia universitaria, Magister en administración educativa, Doctorado en ciencias de
la educación.**

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA

Facultad de Ingeniería

Villavicencio, Meta

2020

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Doctora MARITZA RONDÓN RANGEL
Rectora Nacional

Doctor CÉSAR AUGUSTO PÉREZ LONDOÑO
Director de Sede Villavicencio

CLAUDIA XIMENA GARZÓN ESCOBAR
Secretaria Académica, Sede Villavicencio

Ing. RAÚL ALARCÓN BERMÚDEZ
Decana Facultad de Ingeniería, Sede Villavicencio

Ing. SANDRA REYES ORTIZ
Coordinador Centro de Investigación del Programa de Ingeniería Civil

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Villavicencio, Noviembre de 2020.

Dedicatoria

Bryan Yessid Fernández Parra

Dedico este trabajo de grado a mi madre y a mi abuela, por su apoyo incondicional durante todos mis estudios.

María Camila Gutierrez Peñaloza

Le dedico este trabajo a mis padres, gracias por todo el sacrificio, apoyo y amor, muchos de mis logros se los debo a ustedes incluido este.

Dirley Melany Rojas Vargas

Le dedico este trabajo primeramente a Dios. A mi familia por haberme forjado como la persona que soy, me formaron con reglas y libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis metas.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a: Se agradece nuestros asesores, el Ingeniero Mateo Agudelo Varela y al Ingeniero Javier Andrés Vargas Guativa , por su empeño y ayuda en la realización del presente trabajo.

Tabla de contenido

Resumen	10
Abstract	11
Introducción.....	12
1. Aspectos básicos de la investigación	15
1.1. Planteamiento del problema	15
1.1.1. Formulación de la pregunta problema.	16
1.2. Justificación.....	16
1.3. Antecedentes	17
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo general.	18
1.4.2. Objetivos específicos.	19
1.5. Metodología	19
1.5.1. Enfoque para la recolección de la información.....	19
1.5.2. Tipo de investigación.	19
1.5.3. Instrumento para recolección de información.....	20
1.5Pr.4. Procedimiento.	20
2. Proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero ..	22
2.1. Cemento	22
2.1.1. Exploración.	24
2.1.2. Extracción	24
2.1.3. Chancado.	25
2.2. Ladrillo.....	25

2.3. Acero.....	29
2.3.1. Liberación del mineral.....	31
2.3.2. Concentración de mineral de hierro.	31
2.3.3. Aglomeración del mineral.	34
3. Efectos ambientales derivados del proceso de extracción de materia prima en la fabricación del cemento, ladrillo y acero	37
3.1. Cemento	37
3.2. Ladrillo.....	39
3.3. Acero.....	42
4. Acciones para la reducción de la huella de carbono del proceso de extracción de materia prima en la fabricación del cemento, ladrillo y acero	44
Conclusiones.....	48
Recomendaciones	50
Referencias	51

Lista de figuras

Figura 1. Proceso de extracción de calizas y pizarras a cielo abierto	23
Figura 2. Ecobalance de materia para la operación de extracción de materias primas para fabricar cemento	25
Figura 3. Proceso de extracción y alistamiento de la arcilla para la fabricación de ladrillos ...	27
Figura 4. Ecobalance de materia para la operación de extracción de materias primas para fabricar ladrillo	29
Figura 5. Proceso de extracción del hierro como materia prima del acero	30
Figura 6. Esquema del proceso de pelletización del mineral de hierro	35
Figura 7. Ecobalance de materia para la operación de extracción de materias primas para fabricar ladrillo	36
Figura 8. Efectos ambientales del proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento	38
Figura 9. Efectos ambientales del proceso de extracción de materia prima para la producción del ladrillo	41
Figura 10. Efectos ambientales del proceso de extracción de materia prima para la producción de acero	42
Figura 11. Diagrama causa efecto de las variables inherentes al transporte y uso de maquinaria amarilla en la extracción de materia prima para la producción de cemento, ladrillo y acero.....	45

Resumen

El estudio tiene por objeto analizar la incidencia del proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero en la huella de carbono, para lo cual se llevó a cabo una investigación de enfoque cualitativo y de tipo documental, acudiendo a la consulta de documentos impresos y electrónicos como principales instrumentos de investigación.

Como resultado del estudio se pudo identificar el proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento (piedra caliza, pizarras y arcillas), ladrillo (arcilla) y acero (hierro), siendo todos orientados desde la minería. También se pudo establecer que proceso de extracción de materia prima en la fabricación del cemento, ladrillo y acero causan variedad de efectos ambientales, en su mayoría negativos, siendo la alteración del paisaje y el ruido los principales, aunque produciendo una baja huella de carbono en cada uno de los procesos; en consideración a lo anterior se propusieron acciones para la reducción de la huella de carbono del proceso objeto de estudio.

Como principal conclusión se pudo analizar que a pesar que la fabricación de acero, ladrillo y cemento producen una alta huella de carbono, el proceso de extracción de materias primas para la producción de estos materiales constructivos, genera bajo nivel de emisiones de CO₂.

Palabras clave: Acero, cemento, ladrillo, huella de carbono y proceso de extracción.

Abstract

The study aims to analyze the impact of the raw material extraction process for the production of cement, brick and steel on the carbon footprint, for which a qualitative and documentary-type investigation was carried out, attending the consultation of printed and electronic documents as the main research instruments.

As a result of the study, it was possible to identify the raw material extraction process for the production of cement (limestone, slates and clays), brick (clay) and steel (iron), all of which are oriented from mining. It was also possible to establish that the raw material extraction process in the manufacture of cement, brick and steel causes a variety of environmental effects, mostly negative, being the main alteration of the landscape and noise, although producing a low carbon footprint in each of the processes; In consideration of the above, actions were proposed to reduce the carbon footprint of the process under study.

As the main conclusion, it was possible to analyze that despite the fact that the manufacture of steel, brick and cement produce a high carbon footprint, the process of extraction of raw materials for the production of these construction materials generates a low level of CO₂ emissions.

Keywords: Steel, cement, brick, carbon footprint and extraction process.

Introducción

La contaminación ambiental, y en especial la derivada de emisiones de gas carbónico, es un tema que no sólo afecta al planeta, sino también la salud y vida de la humanidad, pues de acuerdo a Vargas et. al. (2020) las cifras oficiales denotan que en el planeta mueren cada año 3,8 millones de personas por enfermedades relacionadas con la contaminación del aire, siendo en su orden neumonía (27%), cardiopatía isquémica (27%), enfermedad pulmonar obstructiva crónica (20%), accidente cerebrovascular (18%), y cáncer de pulmón (8%).

De acuerdo a González-Vallejo, Muntean y Solís-Guzmán (2020) son varios los informes ambientales realizados en los últimos años donde se destaca al sector de la construcción como uno de los principales consumidores de energía y generador de emisiones de CO₂ entre los distintos sectores industriales, con estimaciones del 30-40% del impacto ambiental total producido.

Los edificios consumen una proporción significativa de los recursos del mundo, principalmente en forma de uso de materiales (Yeo, Ng y Song, 2016; Gong y Song, 2015). Además, con los esfuerzos en curso centrados en reducir el consumo de energía operativa de los edificios, se espera que las emisiones incorporadas de los edificios aumenten proporcionalmente en el futuro.

Con el creciente enfoque puesto en las emisiones incorporadas de los edificios, las organizaciones de la industria de la construcción se enfrentarán a requisitos para reportar información sobre las emisiones incorporadas de los edificios (Zhang y Liu, 2015). Sin embargo, para obtener la emisión incorporada de los edificios, se deben realizar enormes esfuerzos ya que el proceso es intensivo en datos (Chen et al., 2017).

Los estudios más recientes que intentan estimar el impacto ambiental de los edificios (Geng et al., 2017) han sido objeto de revisiones que se centran en el ACV (Buyle, Braet y Audenaert, 2015) o la huella de carbono del ciclo de vida (Schwartz, Raslan y Mumovic, 2020), o una combinación de estos (Chau, Leung y Ng, 2015; Cabeza et al., 2015). La comparación de los resultados de estos estudios es problemática debido a la variedad de supuestos y decisiones que se deben tomar en el proceso de evaluación (vida útil del edificio y materiales, operaciones de mantenimiento, consumo energético del edificio, tipología del edificio, fórmulas de cálculo, entre otros) (Solís-Guzmán et al., 2018).

Esta preocupación ha obligado a la aparición de diferentes tipos de herramientas para evaluar estos impactos: a través de la certificación y estandarización, la promoción de estándares internacionales para el uso de etiquetado ambiental para productos de construcción (González-Vallejo, Muntean y Solís-Guzmán, 2020); no obstante estas herramientas son poco utilizadas en el proceso de extracción de materia prima para la producción de materiales constructivos como el acero, el ladrillo y el cemento en Colombia, pues poco son utilizados o no aplican en este entorno.

Por lo anterior, el presente análisis sistemático de literatura se orientó al análisis de la incidencia del proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero en la huella de carbono, desarrollándolo a través de una investigación de enfoque cualitativo y de tipo documental, acudiendo a fuentes de información secundaria.

El documento se encuentra agrupado en cuatro capítulos, encontrando en el primero el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos, los antecedentes y la metodología, englobando así los aspectos generales de la investigación.

En el segundo capítulo se profundiza sobre el paso a paso del proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero. En el tercer capítulo, se

profundiza en los efectos ambientales derivados del proceso de extracción de materia prima en la fabricación de los materiales constructivos en estudio, dejando ver al final la huella de carbono producida en el proceso de extracción para cada material. Y el último capítulo se proponen acciones para la reducción de la huella de carbono del proceso de extracción de materia prima en la fabricación del cemento, ladrillo y acero.

1. Aspectos básicos de la investigación

1.1. Planteamiento del problema

En las últimas décadas se ha observado una creciente preocupación por el medio ambiente y el sostenimiento de los recursos naturales. Una de las actividades que más valor tiene para mejorar la calidad de vida del ser humano es aquella que tiene ver con la construcción, cumple un importante rol en el desarrollo de un país, tanto cultural como económicamente, a través de la construcción se satisfacen necesidades de infraestructura de la mayoría de las actividades económicas y sociales; los efectos medioambientales de los procesos de fabricación de materiales se traducen, en emisiones a la atmosfera de gas carbónico “CO₂”, polvo o suspensión, ruidos y vibraciones, vertidos de líquidos de agua, residuos y el exceso de consumo energético (Garzón y Quintero, 2017).

Las ciudades, así como las áreas metropolitanas son consideradas por la Organización de las Naciones Unidas (2015; Marzuki, Abduh y Driejaha, 2017) como centros fundamentales del crecimiento económico, puesto que aportan aproximadamente el 60% del PIB mundial. No obstante, a la vez representan cerca del 70% de las emisiones de carbono mundiales y consumen más del 60% de los recursos. Es por esto que a nivel nacional se encuentra la metodología de edificaciones sostenibles titulado “CONPES 3919 2018”, la cual busca impulsar la inclusión de criterios de sostenibilidad dentro del ciclo de vida de las edificaciones en Colombia (Departamento Nacional de Planeación, 2018), entre otras estrategias creadas para disminuir estas problemáticas ambientales.

Debido al cambio climático se generó un indicador que determina cuantitativamente el total de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) generados por una persona, organización,

acontecimiento o producto de forma directa o indirecta, la cual es denominada Huella de Carbono (Guerrero, Marrero y Martín, 2016).

Pese a que existen varios artículos, estudios empíricos y científicos, así como variedad de literatura especializada, que aborda el tema de la huella de carbono en la producción de algunos materiales de la construcción, no se pudo identificar un documento que consolide dicha información para materiales como cemento, ladrillo y acero, los cuales se hacen con recursos no renovables y son fundamentales en el sector de la construcción (Freire, Marrero y Muñoz, 2016), y mucho menos que analice la incidencia del proceso de extracción de materia prima para la producción de dichos materiales en la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero.

1.1.1. Formulación de la pregunta problema.

Por lo anterior el presente análisis sistemático de literatura se enfoca en aclarar la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la incidencia del proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero, en la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (huella de carbono)?

1.2. Justificación

En palabras de Barrado (2018) “la huella de carbono de un material de construcción son las emisiones de dióxido de carbono “CO₂” desde la obtención de materias primas hasta el tratamiento como desperdicios o descomposición, pasando por la fabricación, manufacturación y su transporte hasta obra” (p. 46).

En la actualidad, el uso masivo de materiales de carácter global como el cemento, el acero, el ladrillo, etc., ha causado un incremento notable en los costes energéticos y medioambientales. El sector de la edificación es el responsable del 50% de las emisiones de

CO₂, a la vez que genera el 30% de los residuos sólidos y el 20% de la contaminación de las aguas (Flores, 2016).

El sector cementero es responsable de alrededor del 5% de las emisiones de CO₂, principal gas productor del efecto invernadero y cambio climático (Gessa y Sancha, 2016). La fabricación del ladrillo se ha convertido en un problema ecológico, especialmente relacionado a la clase de combustibles que son usados para cocción de este material constructivo: llantas, leña, madera, plásticos, entre otros, los cuales al quemarse emanan gran cantidad de gases a la atmosfera (Restrepo-Zapata y Cadavid-Restrepo, 2019). Por cada tonelada de acero producido se emite aproximadamente 2 toneladas de CO₂. En la reducción del mineral de hierro en los altos hornos es donde más energía se consume y donde más CO₂ se emite. El porcentaje de las emisiones atribuible a la fabricación de acero supera así el 4% de las emisiones globales de CO₂ (Rueda, 2018).

La presente investigación busca resaltar los impactos ambientales, causados por los materiales cemento, ladrillo y acero ya que estos son indispensables en la rama de la construcción, por ello son los que tienen mayor demanda, asimismo emiten una gran de cantidad emisión de CO₂ en su extracción y producción; se investigara acerca de la obtención de la materia prima y proceso de fabricación de los materiales de construcción. Ya que con esto se puede cuantificar el impacto ambiental y de esta manera contemplar posibles alternativas para disminuir el impacto ambiental.

1.3. Antecedentes

La construcción en madera como propiciadora del desarrollo de la propiedad baja en carbono.

Las diferentes construcciones repercuten en el clima de forma diferente. Asimismo, además de las construcciones que proporcionan un buen aislamiento térmico, los plazos de

recuperación económica y energética, así como de las emisiones de dióxido de carbono generadas durante su fabricación deberían ser lo suficientemente breves. La construcción en madera se sitúa en los puestos altos de la lista cuando se trata de construcciones respetuosas con el medioambiente.

Según manifiestan Rodríguez-Potes y Meza (2018), la ONU ha señalado que la construcción, junto con el mantenimiento de las edificaciones consumen cerca del 33% de la energía mundial, además generan aproximadamente el 25% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero. Es por ello que se espera que a través de la mitigación de emisiones en el sector de la construcción se pueda disminuir la velocidad del cambio climático incitado por el hombre y, a la par, reducir sus efectos nocivos para la naturaleza y la humanidad, es por ello que es importante analizar la forma en que la producción de materiales constructivos contribuye a la generación de emisiones para señalar técnicas más ecológicamente eficientes.

Huella de carbono como instrumento de decisión en la rehabilitación energética.
películas de control solar frente a la sustitución de ventanas

La necesidad de reducir las emisiones de CO₂ está contribuyendo a cambiar el modelo energético, lo cual implica un cambio en los hábitos del consumidor, así como cierto giro en la forma de proyectar y construir. La edificación es un sector de enorme influencia en la evolución del consumo de energía y de las emisiones de CO₂. Efectivamente, en el conjunto de la Unión Europea, los edificios son responsables del 40% del consumo total de energía y del 36% de las emisiones de dióxido de carbono.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general.

Analizar la incidencia del proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero en la huella de carbono.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Identificar el proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero.
- Describir los efectos ambientales derivados del proceso de extracción de materia prima en la fabricación del cemento, ladrillo y acero, enfatizando en la huella de carbono.
- Establecer acciones para la reducción de la huella de carbono del proceso objeto de estudio.

1.5. Metodología

La metodología empleada para el desarrollo de la problemática evidenciada, de acuerdo con los objetivos y en general, el proceso de investigación enmarca los siguientes aspectos:

1.5.1. Enfoque para la recolección de la información.

De acuerdo a sus características se llevó a cabo un estudio de enfoque cualitativo, pues se acudieron a fuentes secundarias para adelantar un análisis sistemático de literatura. Es de anotar que según Hernández-Sampieri, Fernández y Batista (2010), el enfoque cualitativo usa la recolección de datos sin medición numérica para descubrir la información pertinente del tema investigado.

1.5.2. Tipo de investigación.

En cuanto al tipo de investigación, el estudio se fundamentó en la investigación documental, con enfoque analítico, ya que la información de las fuentes secundarias son la base para la recopilación de información, bien sea en documentos físicos o electrónicos, material que sirvió de análisis para alcanzar los objetivos propuestos. Este tipo de investigación para Hernández-Sampieri, Fernández y Batista (2010) es vista como un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno, basada en hechos ya escritos.

1.5.3. Instrumento para recolección de información.

Para recabar la información se acudió a fuentes secundarias, con la consulta de documentos impresos y electrónicos como principales instrumentos de investigación, para ello se concurrió a bibliotecas virtuales. Respecto a las técnicas de instrumentos se utiliza el análisis de contenido, matrices de comparación y libros de chequeo.

1.5.4. Procedimiento.

El diseño metodológico se organiza mediante las siguientes fases:

- Objetivo específico 1: Identificar el proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero; para alcanzarlo se adelantaron las siguientes actividades:

1. Realizar un mapeo sistemático de la literatura científica respecto al objeto de estudio.
2. Realizar un diagrama de flujo correspondiente al proceso de extracción de materia prima.
3. Realizar una tabla comparativa que permita clasificar los elementos de entrada, procesamiento y salida presentes en la extracción de materia prima en el cemento, ladrillo y acero.
4. Elaborar un informe técnico que presente la identificación en el proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero.

- Objetivo específico 2: Describir los efectos ambientales derivados del proceso de extracción de materia prima en la fabricación del cemento, ladrillo y acero, enfatizando en la huella de carbono; para alcanzar este objetivo se siguieron las siguientes actividades:

1. Realizar un mapeo sistemático de la literatura científica respecto al objeto de estudio.
2. Realizar un diagnóstico ambiental del proceso de extracción de materia prima.
3. Identificar y analizar la huella de carbono producida en estos procesos.

4. Elaborar un informe técnico que presente la descripción los efectos ambientales derivados del proceso de extracción de materia prima en la fabricación del cemento, ladrillo y acero.

• Objetivo específico 3: Establecer las acciones para la reducción de la huella de carbono del proceso objeto de estudio; las siguientes actividades adelantadas fueron:

1. Realizar un mapeo sistemático de la literatura científica respecto al objeto de estudio.
2. Realizar un análisis de las acciones que permitan identificar la reducción de la huella de carbono en el proceso de extracción de materias primas de los materiales constructivos en estudio.
3. Elaborar un informe técnico que presente la identificación de las técnicas de mayor eficiencia para la reducción de la huella de carbono del proceso objeto de estudio.

2. Proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero

La fabricación de materiales constructivos requiere de diferentes materias primas, las cuales corresponden a recursos naturales no renovables, cuya extracción y procedimiento es realizada por el hombre utilizando diferentes técnicas, las cuales pueden ser o no amigables con el medio ambiente aumentando la huella de carbono, aunque para identificar su impacto se hizo necesario inicialmente identificar los procesos de extracción de materias primas para la producción del cemento, ladrillo y acero, siendo estos los siguientes:

2.1. Cemento

El cemento inicia su proceso productivo con la extracción y preparación de materias primas, proceso que se desarrolla en canteras, sitios en los que se realizan voladuras controladas para la explotación de materiales duros como pizarras y calizas, entre tanto, se usan excavadoras para la extracción de materiales blandos, como margas y arcillas (Instituto Nacional del Cemento y sus Aplicaciones, s.f.).

Las calizas, se presentan con frecuencia en la naturaleza, están compuestas en un alto porcentaje (mas de 60%) de carbonato de calcio o calcita (CaCO_3 , cuando se calcina da lugar a óxido de calcio, CaO), e impurezas tales como arcillas, sílice y dolomita, entre otras. Hay diferentes tipos de caliza y prácticamente todas pueden servir para la producción del cemento, con la condición de que no tengan cantidades muy grandes de magnesio, pues si el cemento contiene mas cantidades del limite permitido, el concreto producido con el aumenta de volumen con el tiempo, generando fisuras y por lo tanto perdidas de resistencia (Sanabria, 2018).

En cuanto a pizarra, es importante señalar que se les llama "pizarra" a las arcillas constituidas principalmente por óxidos de silicio de un 45 a 65%, por óxidos de aluminio de 10

a 15%, por óxidos de hierro de 6 a 12% y por cantidades variables de óxido de calcio de 4 a 10%. Es también la principal fuente de álcalis (Sanabria, 2018).

La pizarra representa aproximadamente un 15% de la materia prima que formará el clínker. Como estos minerales son relativamente suaves, el sistema de extracción es similar al de la caliza, sólo que la barrenación es de menor diámetro y más espaciada, además requiere explosivos con menor potencia. Debido a que la composición de éstos varía de un punto a otro de la corteza terrestre, es necesario asegurar la disponibilidad de las cantidades suficientes de cada material (Sanabria, 2018).

La arcilla que se emplea para la producción de cemento esta constituida por un silicato hidratado complejo de aluminio, con porcentajes menores de hierro y otros elementos. La arcilla aporta al proceso los óxidos de sílice (SiO_2), hierro (Fe_2O_3) y aluminio (Al_2O_3) (Navarro, 2012).

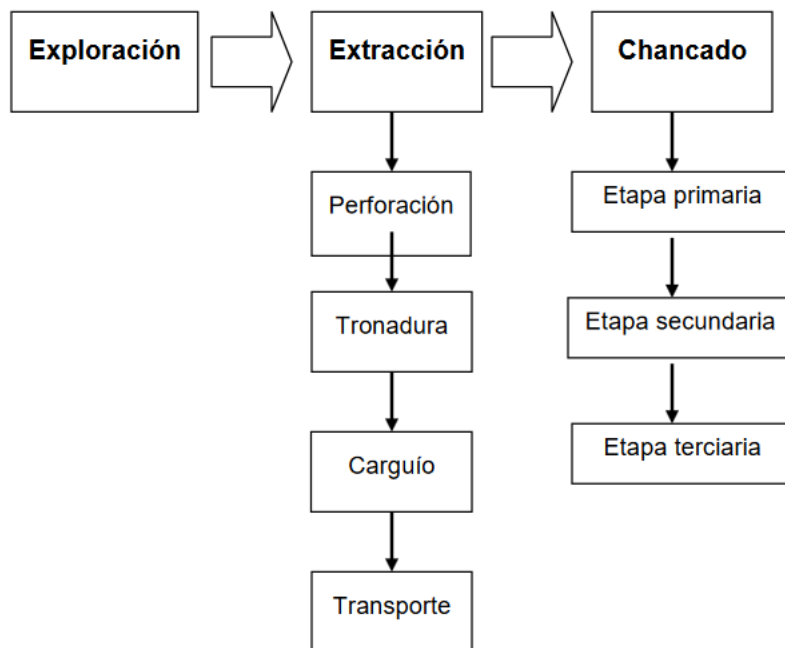


Figura 1. Proceso de extracción de calizas y pizarras a cielo abierto

Fuente: Elaboración propia.

Para extraer cualquiera de los materiales mencionados se realizan tres pasos, tal y como se aprecia en la figura 1, siendo estos la exploración, la extracción propiamente en sí, y el

chancado, con ello se obtienen las materias primas listas para ser utilizadas en la producción de cemento portland. En el caso de la arcilla se extrae en forma muy similar a la realizada en la fabricación de ladrillo, aunque se presenta más adelante.

2.1.1. Exploración.

En esta etapa se realiza un reconocimiento general de una extensa área, con el fin de identificar condiciones favorables para la existencia de un yacimiento. Luego de la detección de un yacimiento, se determina con mayor precisión su forma y extensión y la ley del material de su contenido (Acevedo y Guerra, 2005).

2.1.2. Extracción

El proceso de extracción consiste en extraer el mineral del macizo rocoso de la mina. Este proceso consta de cuatro etapas (Acevedo y Guerra, 2005):

1. **Perforación.** Se debe realizar una perforación atravesando toda la altura del banco, horizonte del cual se extrae el mineral, de distancias regulares entre si, generalmente entre 8 y 12 metros.

2. **Tronadura.** Para que la roca sea fragmentada, se carga cada hoyo con explosivo, se introduce un detonante de encendido eléctrico, el que se detona mediante control remoto, siguiendo una secuencia con mínimas diferencias de tiempo entre cada una detonación. Luego se obtiene la roca fragmentada del tamaño necesario para poder cargarla y transportarla al chancador, donde se reducirá nuevamente de tamaño.

3. **Carguío.** Luego de la tronadura el mineral es cargado en camiones de gran tonelaje mediante palas eléctricas o cargadores frontales.

4. **Transporte.** El transporte puede realizarse a tres destinos; el mineral con alta ley se transporta al chancador, el material estéril a botaderos y el mineral de baja ley a botaderos especiales.

2.1.3. Chancado.

El mineral obtenido en el proceso de extracción es de diversa granulometría, desde partículas de menos de 1 mm hasta fragmentos mayores que 1 m de diámetro, por lo que el chancador reducir el tamaño de los fragmentos mayores hasta obtener un tamaño uniforme máximo de ½ pulgada, es decir 1,27 cm. El proceso de chancado consta de tres etapas (Choque, 2019):

1. Etapa primaria: El chancador primario reduce el tamaño máximo de los fragmentos a 8 pulgadas de diámetro.
2. Etapa secundaria: El tamaño del material se reduce a 3 pulgadas.
3. Etapa terciaria: El material mineralizado logra llegar finalmente a ½ pulgada.

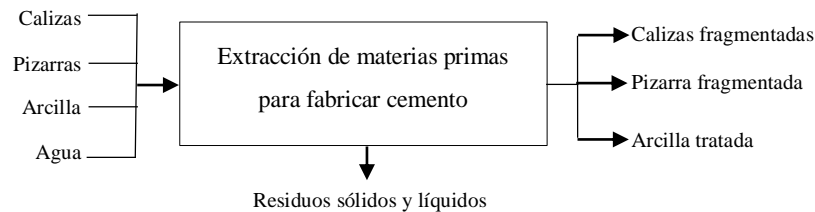


Figura 2. Ecobalance de materia para la operación de extracción de materias primas para fabricar cemento

Fuente: Elaboración propia.

En sí, como se ve en la figura 2, en la extracción de materias primas para fabricar cemento ingresan tres tipos de materiales naturales (calizas, pizarras, arcilla y agua), pero sólo salen dos tratados para ser utilizados como materias primas. El agua se considera un residuo, así como impurezas que son retiradas de las rocas y arcilla.

2.2. Ladrillo

La materia prima para la producción de ladrillos es la arcilla, la cual en su estado natural se encuentra compuesta de uno o, como es el caso general, varios minerales arcillosos. En esencia los minerales de arcilla son silicatos de aluminio, pero también hay presente productos hidratados de la descomposición de las rocas aluminosas y silicatadas, y otras sustancias como fragmentos de rocas, de óxidos hidratados, álcalis y materiales coloidales (Barranzuela, 2014).

Las arcillas se presentan en la naturaleza, derivadas directamente de la degradación natural de las rocas ígneas o de los feldespatos o en depósitos aluviales o eólicos (Mosqueira, 2019).

La composición y naturaleza de la arcilla, determinan el uso y el valor de ésta. Es así que algunos de sus componentes tienen influencia sobre algunas de sus propiedades (Barranzuela, 2014):

- El cuarzo disminuye la plasticidad y la retracción y contribuye a hacerla refractaria.
- La sílice en forma coloidal aumenta la plasticidad.
- La alúmina la hace refractaria.
- El óxido de hierro al igual que el feldespato, disminuye la temperatura de fusión, actúa como fundente y también es un poderoso agente colorante. Un poco de óxido de hierro colorea intensamente la arcilla tostada pero una gran cantidad la convierte en un producto rojo o blanco si tiene 5% menos.

• Los filosilicatos de aluminio, manganeso y hierro le proporcionan a la arcilla cualidades plásticas y si bien es cierto que intervienen otros que tienen propiedades diferentes, contribuyen a darles cualidades que determinan su uso (Fernández-Sixto y González-Campos, 2018).

Dependiendo de las condiciones y factores que influyeron en la formación de las arcillas, éstas presentarán diferentes características propias de cada tipo que determinarán las propiedades que va a tener la mezcla de la cual formen parte, en este caso para la elaboración de ladrillos (Palacios, 2019).

• Los materiales utilizados en la fabricación de ladrillos son por lo general arcillas amarillas o rojas de composición heterogénea o relativamente impura (casi siempre secundarias).

- Las arcillas usadas en la mezcla deben ser plásticas al mezclarse con agua, de modo tal que puedan ser formadas en moldes o por el dado de las máquinas extrusoras que moldean y dan la forma definitiva a las unidades de arcilla.

- Sus partículas deben tener suficiente adhesión para mantener la estabilidad de la unidad después del moldeo y ser capaces de unirse fundiéndose cuando se calientan a temperaturas elevadas.

De acuerdo a estas características, son las arcillas superficiales las que satisfacen estas condiciones para ser adecuadas para la fabricación de ladrillos. Este tipo de arcillas son las más fáciles de explotar porque corresponden a una formación sedimentaria reciente y, por lo tanto, son las más empleadas. Sin embargo, al estar más expuestas a la contaminación con sales por razones naturales y por el empleo agrícola del suelo, ellas producen las unidades más vulnerables a la eflorescencia (Palacios, 2019)

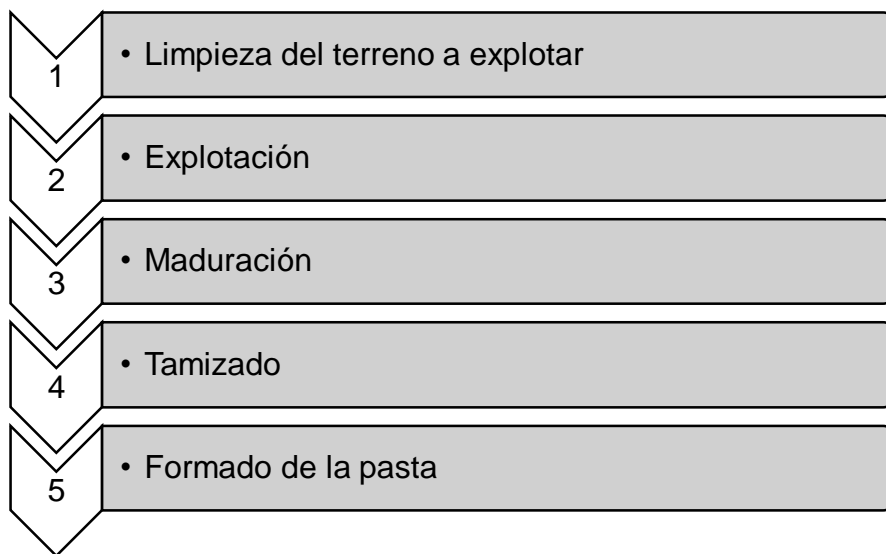


Figura 3. Proceso de extracción y alistamiento de la arcilla para la fabricación de ladrillos

Fuente: Elaboración propia.

El proceso de extracción y alistamiento de la arcilla para ser utilizada como materia prima en la fabricación de ladrillos tiene cinco etapas (ver figura 3), estas son:

Limpieza del terreno a explotar, para ello es indispensable que en el terreno a explotar se retiren, plantas, hojas, ramas raíces, etc.; para ellos se retiran entre 30 y 40 cm de la capa superficial de suelo.

Ya sea que se haga con maquinaria pesada o manualmente, antes de explotar se debe destinar un sitio para acopiar la arcilla; este sitio debe ser limpiado de partículas ajenas a la arcilla (raíces, hojas, basura, etc.).

Explotación, utilizando maquinaria pesada para recoger la arcilla. Las buenas prácticas de manejo de materias primas cerámicas recomiendan que la arcilla sea extraída como mínimo 03 meses antes de que se vaya a consumir, ya que esta “maduración” hace que se liberen gases y tensiones dentro de la arcilla proporcionando mejores características al producto terminado.

Cada arcilla se debe diferenciar por color y en lo posible no debe ser mezclada hasta que se requiera mezclarlas en las proporciones definidas en la pasta

Maduración. Una vez explotada la arcilla se debe acelerar la maduración humedeciéndola de vez en cuando y removiéndola; para ayudar a que los granos gruesos se vayan desmoronando lo que proporcionará una mejor textura al producto final.

Tamizado. De no disponer de un sistema de molienda, es necesario hacer un tamizado de las materias primas para retirar granos gruesos de arenas y otros minerales.

Además de ello el tamizado incluirá fracciones de material orgánico (raíces, ramas, hojas, etc.); si estas fracciones no son retiradas, al momento de la quema se formarán poros y huecos que bajan la resistencia mecánica y dañan el aspecto superficial de las piezas.

Conformado de la pasta. Una vez formulada la pasta se debe hacer la mezcla haciendo capas con las arcillas de forma tal que se asegure una buena homogenización. Este añejamiento se hace en pozos de maceración en los que se tiene la arcilla sumergida entre agua por un espacio entre 3 y 5 días.

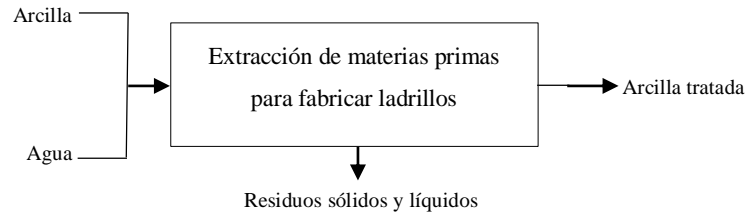


Figura 4. Ecobalance de materia para la operación de extracción de materias primas para fabricar ladrillo

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la figura 4, en la extracción de materias primas para fabricar ladrillo sólo ingresa arcilla y agua, siendo estos recursos naturales, aunque sólo sale la arcilla tratada. El agua se considera un residuo, así como impurezas retiradas.

2.3. Acero

El hierro es uno de los elementos más abundantes en el mundo, formando aproximadamente 5 % de la corteza terrestre que se presenta en la naturaleza de manera usual combinado químicamente con el oxígeno denominados óxidos de hierro.

El mineral de hierro contiene en combinación: azufre, fósforo, silicio y manganeso que afecta positiva o negativamente, según su proporción y composición, en las propiedades de los materiales férreos. Además, los minerales contienen constituyentes tales como cal, sílice, arcilla y magnesia; a partir de las cuales se forma escoria durante el proceso de fusión.

Aunque hay una diversidad de minerales de hierro distribuidos sobre la corteza terrestre (óxidos, carbonatos, sulfuras, sulfatos, silicatos, entre otros), son pocos los minerales usados comercialmente como fuente de hierro, lo cual depende de la cantidad de metal o ley que estos contengan. Para utilizar estos minerales en la industria siderúrgica, deben contener un mínimo de 50 % de hierro con el fin de disminuir las impurezas o ganga presentes.

El hierro es el principal material que se utiliza para fabricar el acero, el cual suele proceder fundamentalmente de dos sitios:

- a) De las minas.

b) De la chatarra, es decir, a través del reciclado de automóviles, electrodomésticos

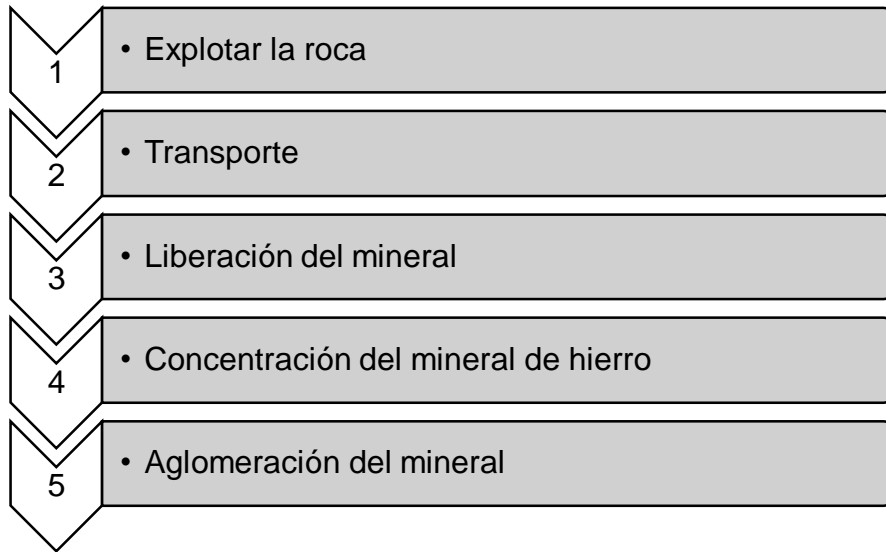


Figura 5. Proceso de extracción del hierro como materia prima del acero

Fuente: Elaboración propia.

La extracción del hierro en minas tanto subterránea como a cielo abierto se realiza siguiendo el siguiente procedimiento.

1) El primer paso hace explotar la roca, ya sea con dinamita, bentonita o cualquier otro explosivo.

2) El material que se ha soltado gracias a la explosión se carga en camiones, a través de maquinaria pesada (a cielo abierto) o de forma manual en carritos (minas).

3) Los camiones se hacen pasar por arcos detectores de metal, de esa forma descartamos aquellos que no tienen metal, los cuales directamente son eliminados.

Los camiones que si tienen metal son llevados a la planta de tratamiento. El procesamiento de estos minerales incluye principalmente dos operaciones: liberación o separación de los minerales valiosos de los minerales de desecho y la concentración de esos valores. Dentro de estas operaciones se encuentran procesos como trituración, cribado, molienda, separación magnética, flotación y secado (Chuquirima y Cortez, 2014).

2.3.1. Liberación del mineral.

En general los minerales de hierro se encuentran combinados en rocas, por lo que contienen elementos indeseados denominados gangas. La liberación o separación se realiza por medio de la trituración, pulverización o molienda (Chuquirima y Cortez, 2014).

La trituración habitualmente es una operación en seco que se efectúa en dos o tres etapas, en materiales de grandes proporciones hasta tamaños del orden de 3 mm.

En la molienda, se reduce el tamaño de las partículas por una combinación de quebrado de impacto y abrasión, ya sea en seco o en suspensión en agua. En este proceso, se obtienen producto en polvo, partículas de tamaño entre 10 y 300 μm .

El cribado se fundamenta en seleccionar y clasificar los minerales útiles de las gangas, por diferencia de tamaño, obtenidos durante la molienda. Para esta operación es necesario el uso de tamices o cribas, las cuales generalmente se clasifican por el número de mallas o agujeros que existen en una distancia de pulgada lineal.

2.3.2. Concentración de mineral de hierro.

Para utilizar el mineral de hierro en la fundición este requiere ser procesado de tal manera que alcance las especificaciones físicas y químicas necesarias. En el pasado, el hierro era catalogado por los productores a partir de estándares para poder trabajar en los altos hornos, maquinas que requerían de composiciones químicas especiales y particulares, al igual que de estructura. Posteriormente, el avance de la tecnología y las técnicas de concentración torno más sencillo estas necesidades (Chuquirima y Cortez, 2014).

La palabra “enriquecimiento” en relación al mineral de hierro es usada por lo general para distinguir todos aquellos métodos utilizados para procesar el mineral con el fin de optimizar sus características físicas, químicas o metalúrgicas, permitiendo el desarrollo de mezclas más deseables para alimentar el horno. Algunos de dichos métodos pueden ser químicos o físicos.

2.3.2.1. Uso de métodos químicos.

Dentro de los procesos químicos que se pueden emplear para concentrar efectivamente el mineral de hierro se indica la lixiviación selectiva, que consta básicamente en la eliminación preferencial de un elemento de una aleación sólida por procesos corrosivos. Se recurre a la lixiviación controlada en diversos procesos químicos y metalúrgicos.

En el caso de los procesos químicos o metalúrgicos, gracias al proceso de lixiviación selectiva, se disuelven sustancias valiosas cuya recuperación, obtención o beneficio es el fin buscado en el proceso, pero, paralelamente, podrán pasar a la disolución otras sustancias sin valor para el proceso industrial, y que, en resumidas cuentas, son contaminantes de la disolución obtenida mediante la lixiviación.

Los procesos de lixiviación y purificación de la solución corresponden a las mismas operaciones que se practican en el análisis químico, únicamente que a escala industrial. Los reactivos químicos empleados (agentes lixiviantes) deben reunir ciertas propiedades específicas, por ejemplo: costo bajo, reciclable y debe ser bastante selectivo para disolver determinados compuestos. De igual manera se puede producir una lixiviación “natural” de materias y sustancias expuestas, voluntaria o involuntariamente, a la acción de disolventes naturales o artificiales (Chuquirima y Cortez, 2014).

Existen principalmente tres etapas en el proceso de lixiviación:

- Disolución del componente deseado presente en la fase sólida.
- Concentración y/o purificación de la solución obtenida.
- Precipitación del metal deseado o sus compuestos.

2.3.2.2. Uso de métodos físicos.

El requerimiento de material adecuado para alimentar el horno de fundición conlleva una serie de procesos y procedimientos, dentro de estos procesos se presenta el uso de métodos

físicos para concentrar el hierro. Hay una gran variedad de métodos para concentrar materiales y cada uno está particularmente diseñado para un material específico.

Los materiales se clasifican en dos amplios grupos, según sean atraídos o repelidos por un campo magnético: paramagnéticos y diamagnéticos. Los materiales paramagnéticos se pueden concentrar en los separadores magnéticos de alta intensidad tales como ilmenita, rutilo, wolframita, monacita, siderita, pirrotita, cromita, hematita y los minerales de manganeso.

El ferromagnetismo se considera como un caso especial de paramagnetismo. Los minerales ferromagnéticos tienen muy alta susceptibilidad magnética para las fuerzas magnéticas y retienen algún magnetismo cuando se alejan del campo (remanencia). Estos materiales se pueden concentrar en los separadores magnéticos de baja intensidad.

Los principales usos de la separación magnética son: a) eliminación o separación de fragmentos metálicos y, b) procesos de concentración y purificación magnética.

Los separadores magnéticos y purificadores se dividen en: a) separadores del tipo húmedo o por vía húmeda y, b) separadores del tipo seco o por vía seca.

Existe otro método físico de concentración denominado concentración gravimétrica el cual consiste en la separación de minerales de diferentes densidades utilizando la fuerza de gravedad. Los principales métodos de separación por gravedad se indican a continuación:

Separación por medios densos: las partículas se colocan en un baño que contiene un fluido de densidad intermedia, de tal manera que algunas partículas floten y otras se hundan.

Separación por corrientes: la densidad del medio es inferior a las densidades de las partículas que se desean separar. Se produce por la diferencia entre velocidades de sedimentación de las partículas pesadas y livianas. El inconveniente de este método es que el mineral se humedece siendo esto perjudicial en el proceso siderúrgico, por ello se requiere un proceso de secado.

2.3.3. Aglomeración del mineral.

La aglomeración de los minerales de hierro, de tamaño menudo o en forma de polvo, se realiza con la finalidad de aumentar el contenido de hierro, de separar los materiales acompañantes perjudiciales tales como arcilla suelta, sílice, azufre y fósforo, evitando así inconvenientes en el régimen de funcionamiento de hornos de cuba o altos hornos. Otro objetivo de este proceso es disminuir su tamaño hasta un grano apropiado para su elaboración ulterior, enriqueciendo el mineral, cuyo porcentaje de hierro es relativamente bajo, 25 a 35 % por ejemplo.

La operación se puede realizar empleando diversos procedimientos, entre los que se puede mencionar los siguientes (Chuquirima y Cortez, 2014):

- El **briqueteado** es un proceso de prensado de los minerales a temperaturas ambiente con o sin adición de materia aglomerante, la forma puede variar dependiendo de la maquinaria aplicada. Por tanto el término briqueta se emplea para la materia prima fabricada con diversos materiales compactados, la característica común de todas las briquetas es su alta densidad.

Para la fabricación de briquetas se utilizan prensas, para que las briquetas tengan suficiente consistencia, es necesario, a veces, adicionar al mineral ciertos elementos aglomerantes, que se mezclan con el mineral en proporciones convenientes antes de su prensado. En la tabla 1 se indican algunas de las sustancias empleadas como aglomerantes en función de su naturaleza orgánica o inorgánica.

Tabla 1. Ligantes orgánicos e inorgánicos empleados en aglomeración.

Inorgánicos	Orgánicos
Silicatos	Lignosulfonatos
Alúmina	Almidón
Arcillas	Melazas
Hidróxido sódico	Polietilenglicol

Sílice	Carboximetilcelulosa
Yeso	Gomas
Bentonita	Caseinatos
Cal	Alginatos

Fuente: Chuquirima y Cortez, 2014.

- La **nodulización** es un tratamiento que se realiza en hornos cilíndricos horizontales, en estos como resultado de la rodadura y la cocción a elevadas temperaturas se consigue un producto de forma nodular.

- La **sinterización** consiste en mezclar el mineral con una cierta cantidad de combustible y agua y por fusión incipiente de las partículas de mineral y de la ganga, se obtienen masas porosas en forma irregular de 6 a 40 mm de lado, aptas para su posterior reducción en procesos de fundición.

- La **pelletización** consiste en esferoidizar polvo de mineral con menor contenido de hierro, aglomerante (aditivo especial alcalino, como caliza o dolomita) y agua en máquinas rotatorias que pueden ser tambores, platillos o conos. Luego las bolitas formadas (ricas en hierro restante de la ganga) por movimientos de rotación son cocidas y endurecidas en hornos adecuados. Sus dimensiones son de 9 a 16 mm.

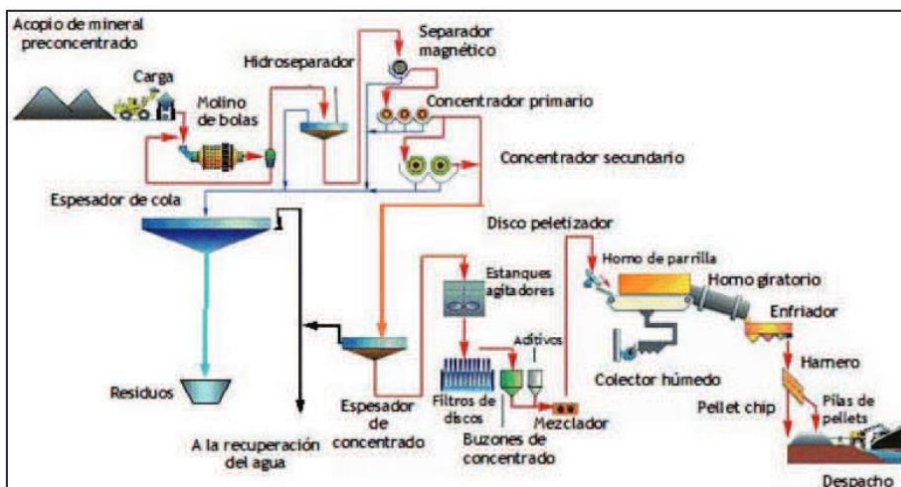


Figura 6. Esquema del proceso de pelletización del mineral de hierro

Fuente: Chuquirima y Cortez, 2014.

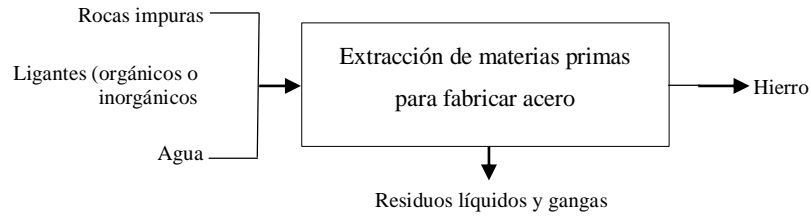


Figura 7. Ecobalance de materia para la operación de extracción de materias primas para fabricar ladrillo

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 7, en la extracción de materias primas para la fabricación de acero ingresan rocas impuras, ligantes (orgánicos o inorgánicos) y agua, aunque sólo sale hierro. El agua se considera un residuo, así como impurezas retiradas llamadas gangas.

3. Efectos ambientales derivados del proceso de extracción de materia prima en la fabricación del cemento, ladrillo y acero

En la explotación de diferentes materias primas para la fabricación de materiales constructivos (cemento, ladrillo y acero), que por son recursos naturales no renovables, cuya extracción y procesamiento producen diferentes impactos en el medio ambiente aumentando la huella de carbono, siendo estos los siguientes:

3.1. Cemento

Es de recordar que las materias primas para la fabricación de cemento son piedra caliza, pizarra y arcilla, los dos primeros se explotan en minas, por lo general a cielo abierto, y de la tercera se profundizará cuando se aborde en el impacto en la fabricación de ladrillos; por consiguiente, la minería de los primeros productos genera los siguientes impactos ambientales:

Cambios en el paisaje, siendo impacto fundamentalmente visual, dado por la implantación de la actividad minera en medio de un paisaje natural, tanto al inicio de la creación de la mina, como a medida que esta va creciendo. Además, tanto en minería subterránea como a cielo abierto, para acceder al yacimiento y separar el mineral el hierro, es muy común que se tenga que extraer material estéril (cubierta, rocas de caja) en forma de trozos de roca de distinto tamaño. Este material se dispone en la superficie, cerca de las labores mineras, en lugares previamente elegidos, constituyendo las escombreras (Lavandaio, 2015).

La minería también genera impactos físicos y químicos como apertura de labores para extraer las reservas de yacimientos (creando huecos en el suelo) y creación de escombreras que alteran el paisaje.

También se puede impactar el agua con la interrupción de corrientes freáticas, por la elaboración de los huecos, que avanzan hacia debajo de la superficie, hasta alcanzar aguas

subterráneas, las cuales pueden ser abundante en rocas porosas y permeables, y muy escasa en rocas de baja permeabilidad. Cuando la labor atraviesa el nivel freático, el agua subterránea fluye hacia ese hueco abierto (Lavandaio, 2015).

Por lo general para fragmentación de las rocas del yacimiento se realizan voladuras con explosivos, para así poder extraerlas con excavadoras, cargarlas y llevarlas a la planta de tratamiento. Los gases que produce una voladura suelen contener una pequeña parte de monóxido de carbono y óxido nitroso (ambos gases tóxicos) que provocan problemas en ambientes cerrados; al igual dichas voladuras también produce expansión de partículas en el aire, o polvo, siendo mayor cuando se acentúan las corrientes de viento, al igual que ruido momentáneo pero de gran intensidad (Lavandaio, 2015).

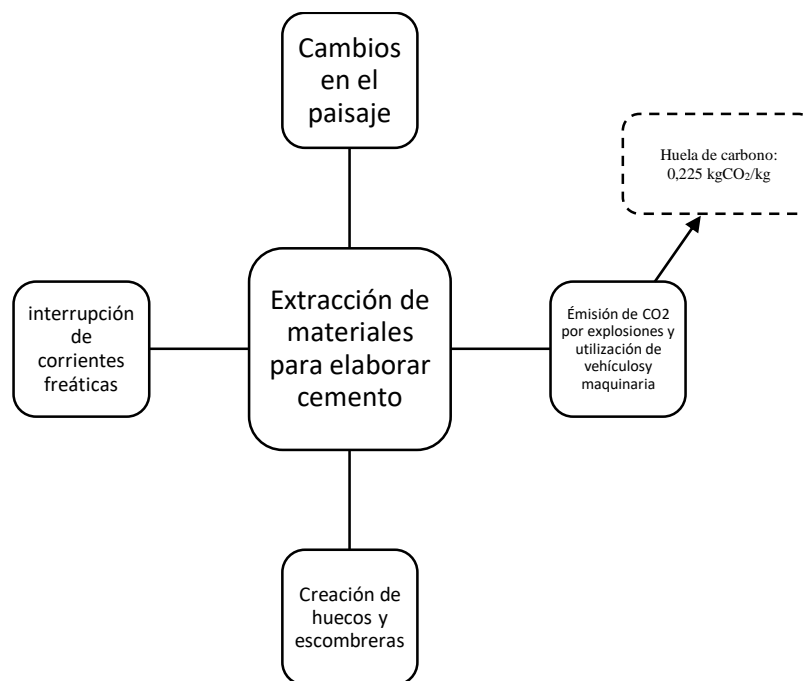


Figura 8. Efectos ambientales del proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la huella de carbono, de acuerdo a Freire, Marrero y Muñoz (2016) extraer un kilogramo de arcilla produce 0,003 kgCO₂/kg, un kilo de piedra caliza molida suelta produce

0,012 kgCO₂/kg y un kilogramo de pizarra triturada produce 0,251 kgCO₂/kg, lo que suma 0,266 kgCO₂/kg para tres kilos, aunque no en esas proporciones se utilizan para elaborar un kilo de cemento, siendo apenas una pequeña proporción del 0,225 kgCO₂/kg que se produce al fabricar un kilogramo de cemento. Por consiguiente, el aporte que realiza el proceso de extracción de materias primas para la producción de cemento es muy bajo, en comparación a la huella total del material constructivo.

3.2. Ladrillo

Sobre la extracción de arcilla, materia prima para la fabricación de ladrillo, se realizaron varios estudios, dentro de los más recientes se encuentra el de López y Salazar (2016), quienes mediante la implementación de metodologías básicas de evaluación de impacto ambiental (diagrama de redes, lista de chequeo, matriz de Leopold, matriz de valoración y el plan de manejo), determinaron que el efecto o alteración en el entorno que produce la extracción de este mineral genera impactos en los medios biótico, abiótico, social y cultural de naturaleza negativa.

López y Salazar (2016), al final calificaron los resultados de la importancia en: 3 impactos severos, 1 impacto irrelevante y 7 impactos moderados. Los impactos moderados alteran los componentes suelo, aire, fauna y flora, a excepción del componente humano en el cual la afectación es severa.

Por su parte, en el estudio de Garzón (2018) detectaron 9 impactos ambientales, los cuales redundan en el medio físico y socioeconómico, de ellos 6 son impactos al medio físico (deterioro en la calidad del aire, ruido, erosión, contaminación y uso del agua, intervención a la cobertura vegetal, y cambio del valor paisajístico) y 3 son impactos al medio socio económico (calidad de vida, seguridad social y generación de empleo), siendo de los 9 impactos solo los dos últimos positivos y en realidad benefician a un sector muy limitado de la comunidad.

Los estudios encuentran punto de confluencia en que el suelo es el componente más afectado por ser la base de las actividades mineras, generando en este componente ambiental cambios en la morfología y erosión; esto se debe al retiro de la cobertura vegetal y extracción del suelo. Por otra parte, el resultado de los impactos antes mencionados ocasiona un impacto estético/paisajístico que puede depreciar el valor en la propiedad (López y Salazar, 2016; Garzón, 2018).

En cuanto al aire, la extracción de arcilla altera su calidad, pues se genera material particulado, aunque es notado en menor proporción, pues sólo se ocasiona durante las actividades de tamizado, despacho y traslado (López y Salazar, 2016).

En relación a fauna y flora, el componente biótico de la zona es impactado directa e indirectamente en las etapas del proceso minero, exponiendo las interacciones ecológicas a nuevas adaptaciones.

En López y Salazar (2016) pese a que se utiliza agua en el proceso de maduración de la arcilla, en este componente no se ha identificado impacto ambiental significativo; pues como en el caso del municipio de Manaure, la comunidad obtiene el agua por medio de una estructura subterránea para su consumo; en el contraste Garzón (2018) sostiene que se utiliza el agua en el almacenamiento y uso para los procesos de elaboración e hidratación de los minerales arcillosos empleados para los ladrillos.

En ambos casos, la extracción del recurso agua puede tornarse en un problema ambiental si se abusa de ello, por lo tanto, si no se toman precauciones en el manejo del agua, en algún momento esta podría escasear, provocando una calamidad ambiental y social, ya que el acuífero es la única fuente que abastece de este recurso vital a la comunidad.

Pero no todo es malo, pues la extracción de arcilla genera empleo, siendo un beneficio ya que a sus trabajadores les permite obtener ingresos con estabilidad temporal del empleado,

lo que ayuda al sostenimiento económico de las familias que en esta actividad intervienen (Garzón, 2018). No obstante, el componente humano es afectado severamente por esta actividad, siendo la mayor afectación ambiental en lo estético/paisajístico, que deteriora el aspecto visual en los escenarios naturales, impidiendo a los habitantes de la comunidad el goce de un ambiente sano (López y Salazar, 2016).

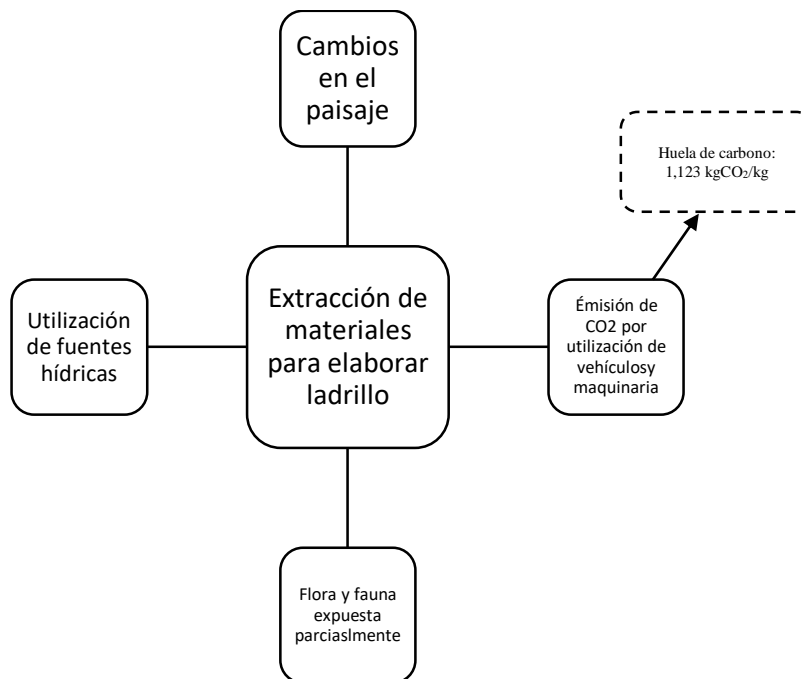


Figura 9. Efectos ambientales del proceso de extracción de materia prima para la producción del ladrillo

Fuente: Elaboración propia.

En materia de la huella de carbono, son varios los autores que han escrito sobre la huella de carbono de materiales de la construcción incluidos el ladrillo, no obstante, aunque como proceso general, no la han determinado para cada uno de los procesamientos inmersos en la fabricación, mucho menos para la extracción de arcilla como materia prima; es más, de acuerdo a Freire, Marrero y Muñoz (2016) extraer un kilogramo de arcilla produce 0,003 kgCO₂/kg, siendo apenas una pequeña proporción del 1,123 kgCO₂/kg que se produce al fabricar el ladrillo completo.

3.3. Acero

Es de recordar que la materia prima para la fabricación de acero es el hierro, el cual se explota en minas, por lo general a cielo abierto, actividad que genera impactos ambientales tales como:

Al igual que la extracción de materiales pétreos que se realiza a través de minas para obtener algunas materias primas para la fabricación de cemento, en la explotación del hierro también se producen los mismos impactos ambientales; aunque a ellos hay que sumarle que debido a que en el hierro los yacimientos son masas de sulfuros metálicos, por lo cual la acción del oxígeno y la circulación de agua genera lo que se llama drenaje ácido (agua con pequeña cantidad de ácido sulfúrico y con hierro disuelto o en suspensión coloidal), aunque este tipo de drenaje es natural donde afloran rocas con sulfuros.

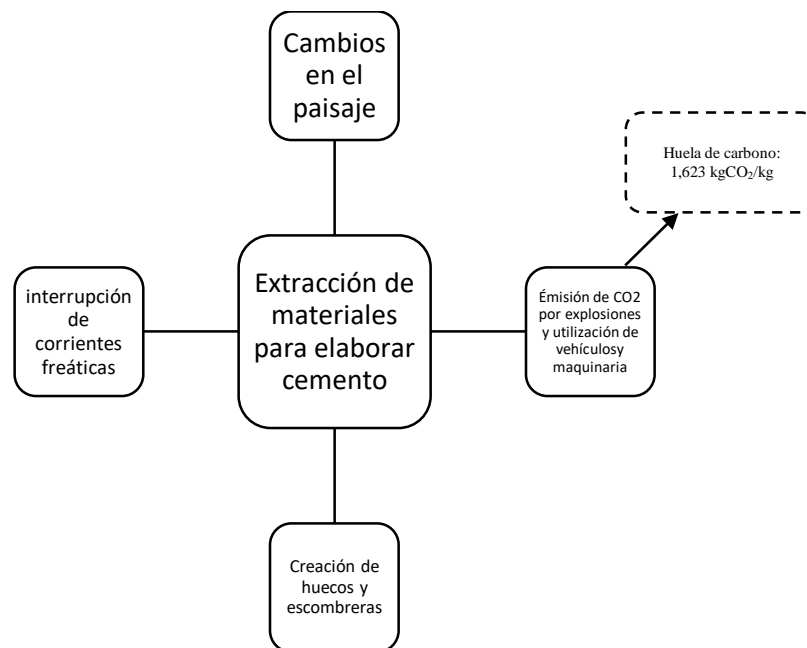


Figura 10. Efectos ambientales del proceso de extracción de materia prima para la producción de acero

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a Freire, Marrero y Muñoz (2016) producir un kilo pallets de hierro para la elaboración de hierro produce 0,079 kgCO₂/kg, lo cual es relativamente bajo pues la fabricación

de un kilogramo de acero produce 1,623 kgCO₂/kg; por lo tanto, la huella de cargo del proceso de extracción de materias primas para la producción de acero es muy baja.

4. Acciones para la reducción de la huella de carbono del proceso de extracción de materia prima en la fabricación del cemento, ladrillo y acero

En el sector de la construcción es innegable que el origen de los materiales constructivos aporta a las emisiones totales agregadas desde un enfoque físico y virtual (Pomponi y Moncaster, 2016; De Wolf et al., 2016; Ashworth y Perera, 2015). En tal rumbo García-Ochoa, Quito-Rodríguez y Perdomo (2020) anotan que el "carbono virtual" simboliza las emisiones afines con el proceso de producción y la utilización de recursos de energía fósil y procesos químicos específicos; siendo el ladrillo, el cemento y el acero los materiales con mayor representación del carbono virtual procedente del sector constructivo.

A medida que las edificaciones se tornan más energéticamente eficientes, a través de la utilización de conceptos de energía neta, se vuelve mayormente significativo el porcentaje de contribución de las emisiones de CO₂ de otras etapas, como los materiales y productos de construcción. Al respecto, existe variedad de estudios que señalan los beneficios de mitigar las emisiones incorporadas de los materiales de construcción, aunque aún no se conoce si las emisiones incorporadas se puedan reducir en gran medida (García-Ochoa, Quito-Rodríguez y Perdomo, 2020).

Con respecto a los principales materiales constructivos Galarza (2016) ha manifestado que la industria de la construcción tiene diversos aportes de emisiones GEI, el concreto es un producto muy usado en esta industria y que por su elaboración propiamente dicha tiene baja emisión de CO₂; no obstante García (2016) sostiene que la fabricación de acero produce emisiones de gas carbónico, caso similar ocurre con la producción de ladrillo, especialmente artesanal (Coletti et al., 2016; Rincón et al., 2017). No obstante, hay que considerar que la

fabricación de estos materiales constructivos tiene varios pasos, siendo el primero la extracción de la materia prima, el cual contribuye muy levemente en la huella de carbono final.

En consideración a lo anterior, a continuación se formulan una serie de actividades encaminada a reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero en la extracción de materias primas para la producción de cemento, ladrillo y acero.

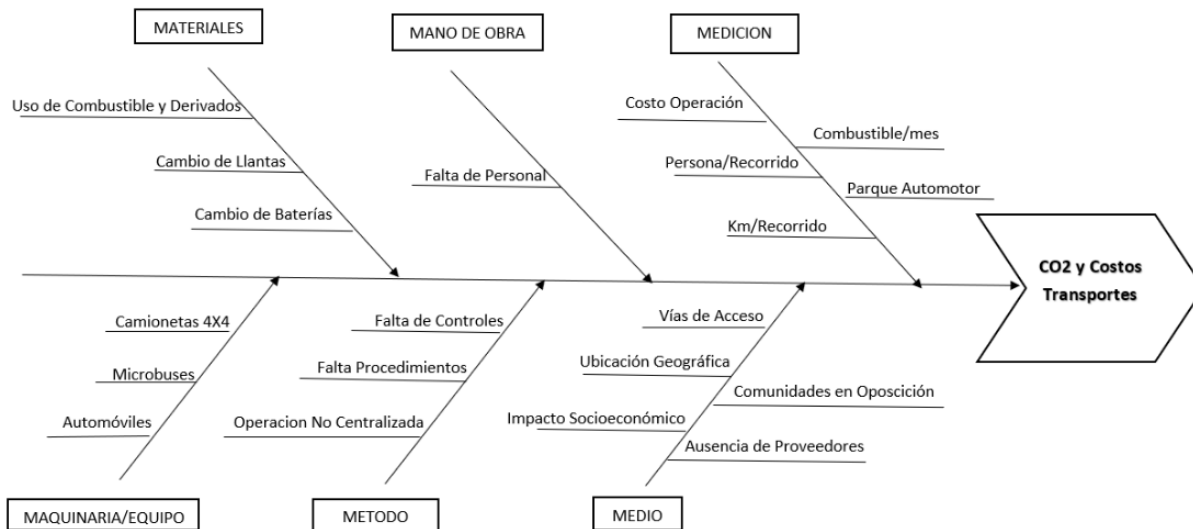


Figura 11. Diagrama causa efecto de las variables inherentes al transporte y uso de maquinaria amarilla en la extracción de materia prima para la producción de cemento, ladrillo y acero.

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se observa en la figura 11, y como lo plantean Ordonez y Ubilus (2020), en las empresas de extracción de minerales por lo general se presenta inexistencia de un centro de solicitudes y planeación de transportes que optimice los recursos con un plan de rutas y recorridos previamente organizados.

También Ordóñez y Ubillus (2020) señalan la falta en las empresas mineras de estadísticas y registros que midan el uso de los vehículos, la cantidad de personas transportadas y los kilómetros recorridos, lo cual dificulta la mejora de este proceso. Esta dinámica en los transportes genera varios impactos, desde los costos de operación, los traumatismos en las actividades al no contar en ocasiones con vehículos disponibles, el impacto para la movilidad

tanto en la ciudad como en los municipios de influencia, y no menos importante, la huella de carbono causada por el consumo de combustibles, desecho de llantas y baterías de los vehículos utilizados.

Es de analizar que la ausencia de un centro de servicios que coordine y programe los itinerarios, genera un aumento en la huella de carbono, pues cada usuario es libre de llamar al contratista y solicitar o programar su servicio de transporte de manera independiente e individual, generando mayor utilización de los vehículos.

Es de anotar que, pese a que plantación de especies forestales, no mitiga la generación de emisiones de CO₂ en los lugares de extracción de materia prima para los materiales constructivos en estudio, si es aconsejable llevarla a cabo, con material vegetal de rápido crecimiento para mejorar la calidad del aire y disminuir la huella de carbono. Recomendando plantas de tipo endógenos, cuya resistencia al cambio climático es mayor. Al respecto Castilla y Baquero (2017) sostienen que la aplicación de programas de reforestación y renaturalización en el área de influencia de la extracción de material arcilloso para la fabricación de ladrillos, así como medidas que permitan disminuir su afectación a la atmósfera en los procesos de cocción y de la emisión de Material Particulado (MP), favorece los procesos de mitigación de efectos negativos sobre la población aledaña y directamente sobre el medio.

Otra acción que se puede realizar es el uso, control y cambio periódico de filtros en maquinaria utilizada en la fragmentación y obtención de las materias primas, especialmente del material pétreo explotado para obtener piedra caliza y pizarra o extraer hierro, lo cual ha sido de buen impacto en la mitigación del gas carbónico, pues por lo menos así lo manifiesta Gómez (2017), quien lo aplicó en la industria de oleícola.

Con respecto a la elaboración de ladrillos, es prudente desarrollar un programa de expansión de maquinaria y/o herramientas de aprovechamiento del potencial arcilloso. Esta

estrategia permitirá incrementar la capacidad técnica en el uso de herramientas o equipos destinadas para la buena labor de la extracción del material arcilloso, lo cual se contempla como la principal materia prima del proceso; de igual manera permitirá llevar a cabo las actividades de extracción compensando en reducción de tiempo y contribuyendo a la renovación de recursos. Así mismo, la adquisición de tanques de almacenamiento de agua, lo que permitirá hacer recolección del recurso en épocas de invierno, de tal manera que se convierta en una opción de reducir el uso inadecuado del mencionado recurso, disminuyendo así, la posibilidad de desabastecer a la comunidad en las diferentes épocas del año (Castilla y Baquero, 2017).

Conclusiones

El desarrollo del presente análisis sistemático de literatura permitió identificar el proceso de extracción de materia prima para la producción de los principales materiales constructivos, dejando ver que el ladrillo necesita de la extracción de arcilla (despeja del terreno, explotación, maduración, tamizado y formado de pasta), el cemento requiere de materiales pétreos como la caliza y pizarra, así como de arcilla (exploración, extracción y chancado), y el acero requiere de hierro (explotación de roca, transporte, liberación y aglomeración de material), requiriendo en el proceso de cada material la utilización de agua.

A su vez, se evidenció que el proceso de extracción de materia prima en la fabricación del cemento, ladrillo y acero posee de una variedad de efectos ambientales, la mayoría de impacto negativo, aunque moderado, en contraste es benéfico en los aspectos sociales, por los ingresos que genera. No obstante, la liberación de gas carbónico en este eslabón de la producción de los materiales constructivos en estudio es baja, lo cual pareciera ir en contra vía de los estudios que evidencian altas emisiones de CO₂ en la fabricación de cemento, ladrillo y acero, aunque no podría ser en otros procesos en los cuales se requiere de la combustión para la fabricación.

Ante la poca huella de carbono identificada en el proceso de extracción de materia prima en la fabricación del cemento, ladrillo y acero, se plantearon acciones para la reducir la emisión de CO₂ con la utilización de acciones orientadas al control del parque automotor que transporta al personal y la maquinaria amarilla utilizada (especialmente en el caso de las materias primas del acero y el cemento), además de la utilización y vigilancia del estado de filtros en las maquinas trituradoras y extractoras de material pétreo, utilizadas en este proceso, contribuyendo

con ello los esfuerzo de Rodrigo et al. (2019) por mitigar la huella de carbono en la industria de la construcción.

Con todo ello se puede concluir que es baja la incidencia del proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero en la huella de carbono, y puede ser menor de seguir las acciones propuestas.

Recomendaciones

Considerando los resultados obtenidos, los autores se permiten recomendar:

A los estudiantes del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Cooperativa de Colombia, que continúe el presente estudio a través de diferentes investigaciones que aborden cada uno de los eslabones de la cadena de valor de los principales materiales constructivos, con el fin de determinar la huella de carbono y formular acciones que conlleven a la mitigación de las emisiones de CO₂, produciendo así materiales más amigables con el medioambiente.

A los encargados de la explotación de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero, es preciso que sigan las acciones propuesta en el presente documento, con el fin de reducir la huella de carbono producida en este proceso, trayendo consigo no sólo beneficios para el medioambiente, sino también para sus empresas, al crear una imagen organizacional de mayor responsabilidad con el medioambiente, lo cual podrán aprovechar como agente diferenciador en la comercialización de la materia prima o del producto terminado.

A la Universidad Cooperativa de Colombia que siga apoyando el desarrollo de análisis sistemáticos de literatura y de otros tipos de investigaciones que contribuyan a la reducción de problemáticas álgidas para las comunidades, en este caso la emisión de gas carbónico.

Referencias

- Ashworth, A. y Perera, S. (2015). *Economics of Sustainability and Carbon Estimating*. In Cost Studies of Buildings, Routledge, New York, pp. 491-529.
- Barrado, I. (2018). *Materiales Compuestos con posibles aplicaciones en el ámbito de la construcción*, Tesis de pregrado. Cartagena de Indias: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Barranzuela, J. (2015). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región Piura*, Tesis de pregrado. Piura: Universidad de Piura.
- Byule, M., Braet, J. y Audenaert, A. (2015). Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 26; pp. 379-388.
- Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G. y Castell, A. (2015). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 29; pp. 394-416.
- Castilla, E. J. y Baquero, M. A. (2017). *Producción más limpia como alternativa de desarrollo sostenible de las explotaciones de arcilla en la vereda las casitas del municipio de Valledupar*, Tesis de pregrado. Valledupar: Universitaria del Área Andina.
- Chastas, P., Theodosiou, T. y Bikas, D. (2016). Embodied energy in residential buildings-towards the nearly zero energy building: A literature review. *Build. Environ.* 105; pp. 267-282.
- Chau, C. K., Leung, T. M. y Ng, W. Y. (2015). A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings. *Appl. Energy*, 143; pp. 395-413.

- Chen J, Shen L, Song X, Shi Q, Li S. (2017). An empirical study on the CO₂ emissions in the Chinese construction industry. *Journal Clean Production*, 168; pp. 645-654.
- Choque, J. S. (2019). *Optimización de la operación del circuito de chancado para mejorar la calidad del mineral enviado a Pad de lixiviación permanente frente a las consideraciones de estabilidad geotécnica*, Tesis de pregrado. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Chuquirima, M. G. y Cortez, L. P. (2015). *Estudio y obtención de metal de hierro a partir de arenas ferruginosas*, Tesis de pregrado. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Coletti, C., Cultrone, G. et al. (2016). How to face the new industrial challenge of compatible, sustainable brick production: Study of various types of commercially available bricks. *Applied Clay Science*, 124; pp. 219-226.
- De Schryver, A., Galatola, M., Schau, E. M., Benini, L. y Pant, R. (2016). *Guidance and requirements for biogenic carbon modelling in PEFCEs (version 2.2)*. European Commission, Brussels, Belgium, pp. 1-7.
- De Wolf, C., Yang, F., Cox, D., Charlson, A., Hattan, A. S. y Ochsendorf, J. (2016). Material quantities and embodied carbon dioxide in structures. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability*, 169(4); pp. 150-161.
- Departamento Nacional de Planeación (2018). *CONPES 3919, Política Nacional de Edificaciones Sostenibles*. Bogotá: DPN.
- Fernández-Sixto, E. A. y González-Campos, O. (2018). Identificación y caracterización de las arcillas de la ciudad de Huánuco. *Investigación Valdizana*, 12(1); pp. 25-34.
- Flores, I. (2016). *El método de análisis exergético en los edificios: su aplicación en la caracterización en régimen dinámico de los cerramientos*, Disertación Doctoral. España: Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.

- Freire, A., Marrero, M. y Muñoz, J. (2016). Incorporación de huella de carbono y huella ecológica en las bases de costes de construcción. Estudio de caso de un proyecto de urbanización en Écija, España. *Hábitat Sustentable*, 6(1); pp. 6-17.
- García, A. I. (2016). *Estudio comparado de la huella de carbono de una estructura industrial de acero y una de madera*, Tesis doctoral. Valencia: Universidad Pontificia de Valencia.
- García-Ochoa, J. A., Quito-Rodríguez, J. C. y Perdomo, J. A. (2020). *Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente*, Tesis de pregrado. Villavicencio: Universidad Cooperativa de Colombia.
- Galarza, C. E. (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*, Tesis de pregrado. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Garzón, N. (2018). *Análisis preliminar de los impactos ambientales y sociales generados por la minería de arcillas a cielo abierto en la vereda el Mochuelo Bajo, Ciudad Bolívar, Bogotá D.C., estudio de caso*, Tesis de pregrado. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Garzón, G. I. y Quintero, J. J. (2017). *Auditoria de cumplimiento en el área ambiental en las empresas del sector de la construcción en Bucaramanga 2016*, Tesis de pregrado. Bucaramanga: Universidad Cooperativa de Colombia.
- Geng, S., Wang, Y., Zuo, J., Zhou, Z., Du, H. y Mao, G. (2017). Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 76; pp. 176–184.
- Gessa, A. y Sancha, M. P. (2016). Alternativas de reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en la producción de cemento. Propuesta de un modelo de evaluación. *Innovar*, 26(60); pp. 51-66.

- Giesekam, J., Barrett, J. R. y Taylor, P. (2015). Construction sector views on low carbon building materials. *Build. Res. Inf.*, 44; pp. 423-444.
- Gómez, L. (2017). *Reducción de la huella de carbono y competitividad: aplicación al sector oleícola*, Tesis de pregrado. España: Universidad de Jaén.
- Gong, Y. y Song, D. (2015). Life cycle building carbon emissions assessment and driving factors decomposition analysis based on LMDI-A case study of Wuhan city in China. *Sustainability*, 7; pp. 16670-16686.
- González-Vallejo, P., Muntean, R., Solís-Guzmán, J., & Marrero, M. (2020). Carbon Footprint of Dwelling Construction in Romania and Spain. A Comparative Analysis with the OERCO2 Tool. *Sustainability*, 12(17); pp. 6745.
- Instituto Nacional del Cemento y sus Aplicaciones (s.f.). *Proceso de fabricación*. [En línea] Consultado el 17 de julio de 2020, de <https://www.ieca.es/proceso-de-fabricacion/>
- Kucukvar, M., Egilmez, G. y Tatari, O. (2015). Evaluating environmental impacts of alternative construction waste management approaches using supply-chainlinked life-cycle analysis. *Waste Manag Res.*, 32; pp. 500–508.
- Lavandaio, E. (2015). *Conozcamos más sobre minería*. Segunda edición. Serie Publicaciones N° 168. Buenos Aires: Servicio Geológico Minero Argentino.
- López, D. D. y Salazar, M. M. (2016). Evaluación de impacto ambiental en la mina artesanal de arcilla, santa cruz en el municipio de Manaure, La Guajira. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 4(2); pp. 72-118 .
- Marzuki, P. F., Abduh, M. y Driejana, R. (2017). The sustainable infrastructure through the construction supply chain carbon footprint approach. *Procedia Engineering*, 171; pp. 312-322.

- Mosqueira Moreno, M. Á. (2019). *Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos artesanales fabricados con arcilla y concreto*, Tesis de pregrado. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Palacios, F. A. (2019). *Estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas del ladrillo artesanal de las ciudades de Sullana-Paita-Piura-Morropón*, Tesis de pregrado. Piura: Universidad Nacional de Piura.
- Ordóñez, G. y Ubillus, J. C. (2020). *Reducción de la huella de carbono y los costos de operación en el transporte de personal de una empresa minera*, Tesis de especialista. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Organización de las Naciones Unidas (2015). *Objetivos del desarrollo sostenible (2015-2030). Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles*. New York: ONU.
- Pomponi, F. y Moncaster, A. (2016). Embodied carbon mitigation and reduction in the built environment -What does the evidence say? *Journal of Environmental Management*, 181; pp. 687-700.
- Restrepo-Zapata, G. C., & Cadavid-Restrepo, C. F. (2019). Mejora del desempeño ambiental y energético de la vivienda de interés prioritario en Medellín con el uso de ladrillos cerámicos modificados. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35); pp. 33-49.
- Rincón, C. D., Gil, J. C., Fabian, C. L. y Caro, C. A. (2017). Evaluación de la Sostenibilidad de la Producción de Ladrillo en la Región de Boyacá, Colombia. *L'esprit Ingénieux*, 7(1); pp. 35-45.
- Rodrigo, M. N. N., Perera, S., Senaratne, S. y Jin, X. (junio de 2019). *Embodied carbon mitigation strategies in the construction industry*. Hong Kong: CIB World Building Congress.

- Rodríguez-Potes, L. y Meza, C. E. (2018). La construcción sostenible frente a la mitigación del cambio climático. *Modulo Arquitectura-CUC*, 21(1); pp. 9-22.
- Rueda, V. (2018). *Influencia de la luz y distancia entre pórticos de acero en la huella de CO2 de la estructura*, Tesis Doctoral. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Sanabria, M. A. (2018). *Propuesta de mejora para el proceso productivo de la empresa Cementos Tequendama*, Trabajo de pregrado. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Schwartz, Y., Raslan, R. y Mumovic, D. (2018). The life cycle carbon footprint of refurbished and new buildings—A systematic review of case studies. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 81; pp. 231-241.
- Solís-Guzmán, J., Rivero-Camacho, C., Alba-Rodríguez, D., & Martínez-Rocamora, A. (2018). Carbon footprint estimation tool for residential buildings for non-specialized users: OERCO2 project. *Sustainability*, 10(5); pp. 1359.
- Tellnes, G. F., Ganne-Chedeville, C., Dias, A., Dolezal, F., Hill, C. y Zea, E. (2017). Comparative assessment for biogenic carbon accounting methods in carbon footprint of products: a review study for construction materials based on forest products. *iForest: Biogeosciences and Forestry*, 10; pp. 815-823.
- Vargas, J., Arango, J., Agudelo, M., Cuellar, J., Hernández, E. e Isaza L. (2020). Analysis of Co, Co2 and No2 Air Pollutants in the City of Villavicencio - Colombia. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 13(3); pp. 490-499.
- Yeo, Z., Ng, R. y Song, B. (2016). Technique for quantification of embodied carbon footprint of construction projects using probabilistic emission factor estimators. *Journal of Cleaner Production*, 119; pp. 135-151.

Yua, M., Wiedmanna, T., Crawford, R. y Tait, C. (2017). The carbon footprint of Australia's construction sector. *Procedia Engineering*, 180; pp. 211-220.

Zhang, Z., & Liu, R. (2015). Carbon emissions in the construction sector based on input-output analyses. *Journal of Tsinghua University Science and Technology*, 53(1); pp. 53-57.