
INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y EFICIENCIA AMBIENTAL EN LAS MINAS DE ARCILLA DE LA GUAJIRA, COLOMBIA

Danny Daniel López Juvinao, Carlos Alberto Socarrás Bertiz y Esjeisson Rafael Toncel Manotas

RESUMEN

Actualmente, el desarrollo de los países y las regiones depende de que en los sectores de producción se promueva la cultura de innovar, esto supone la creación, difusión y aplicación de tecnologías que garanticen el crecimiento económico, el bienestar de la sociedad y el medio ambiente; el sector minero arcilloso de La Guajira no se puede privar de esta cultura, sobre todo por los impactos negativos generados al medio ambiente producto de la forma en que actualmente se desarrolla esta actividad. El objetivo de esta investigación fue realizar un estudio de las tecnologías limpias empleadas en la minería de arcilla en el departamento, exponiendo la innovación tecnológica ambiental en las empresas mineras estudiadas y la eficiencia ambiental de estas. Se utilizó una serie de elementos teóricos

para evaluar el desarrollo de la investigación. El diseño metodológico utilizado se fundamentó en la investigación descriptiva, adaptativa de tipo no experimental de corte transversal, las técnicas de recolección se basaron en información secundaria y fuentes directas, el universo muestral de este trabajo lo conforman empresas que se dedican a la minería de arcilla en La Guajira. Los resultados del estudio indican que los procesos de explotación del mineral se dan de manera rudimentaria con herramientas muy convencionales y métodos altamente nocivos para el medio ambiente y las comunidades aledañas a los sitios de explotación. Las innovaciones tecnológicas propuestas, garantizan condiciones favorables para que se desarrolle una producción controlada y responsable con el medio ambiente.

Introducción

La Guajira es el departamento más septentrional y exótico de toda Colombia. Alberga en su intimidad un universo de recursos naturales, ecosistemas, seres vivos, paisajes y una valiosa riqueza de minerales que engalanan los lugares más recónditos

de su geografía (Parrado *et al.*, 2019). Ciertamente el sector minero a nivel internacional es importante en la economía de algunos países, en Colombia se estima que este es responsable de más de 202.000 empleos (Rodríguez, 2017). En La Guajira a lo largo de la historia, más de un centenar de familias

han vivido de la actividad minera lo que le permitió convertirse en una de las principales fuentes de ingresos económicas del departamento. En la actualidad el desarrollo de los países y las regiones depende de que en los sectores de producción se promueva la cultura de innovar, lo que supone la creación, difusión

y aplicación de tecnologías que garantizan el crecimiento económico y el bienestar de la sociedad y el medio ambiente.

El sector minero arcilloso del departamento no se puede privar de esta cultura, sobre todo por los impactos negativos generados al medio ambiente producto de la forma en que se ha

PALABRAS CLAVE / Eficiencia Ambiental / Innovación Tecnológica / Minería de Arcilla / Tecnologías Limpias /

Recibido: 28/02/2023. Modificado: 28/06/2023. Aceptado: 04/07/2023.

Danny Daniel López Juvinao. Ingeniero en Minas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia. Doctor en Ciencias Gerenciales, Universidad Rafael Bellosillo Chacín (URBE), Venezuela. Docente investigador, Universidad de La Guajira (UniGuajira), Colombia.

Dirección: Grupo de Investigación Ipaitug, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Guajira. Dirección: Km. 5 salida a Maicao, Riohacha, Colombia. e-mail: dlopezj@uniguajira.edu.co.

Carlos Alberto Socarrás Bertiz. Doctor en Ingeniería Mecatrónica,

Universidad de Málaga, España. Magister en Ingeniería de Control y Automatización de Procesos, URBE, Venezuela. Ingeniero Industrial, UniGuajira, Colombia. Profesor, UniGuajira, Colombia. e-mail: csocarras@uniguajira.edu.co.

Esjeisson Rafael Toncel Manotas. Ingeniero Ambiental, UniGuajira,

Colombia. Especialista en Gerencia Estratégica para el Desarrollo Sostenible, Santo Tomás Moto Bussines School, Perú. Candidato a Máster en Gestión Integral Frente al Cambio Climático, UniGuajira, Colombia. e-mail: erafaeltoncel@uniguajira.edu.co.

TECHNOLOGICAL INNOVATION AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY IN CLAY MINES OF LA GUAJIRA, COLOMBIA

Danny Daniel López Juvinao, Carlos Alberto Socarrás Bertiz and Esjeisson Rafael Toncel Manotas

SUMMARY

Currently, the development of countries and regions depends on the promotion of a culture of innovation in the production sectors, which implies the creation, dissemination and application of technologies that guarantee economic growth, the welfare of society and the environment; the clay mining sector in La Guajira cannot be deprived of this culture, especially due to the negative impacts generated to the environment as a result of the way in which this activity is currently developed. The objective of this research was to carry out a study of the clean technologies used in clay mining in the department, exposing the environmental technological innovation in the mining companies studied and their environmental efficiency. A series of theoretical

elements were used to evaluate the development of the research. The methodological design used was based on descriptive, adaptive, non-experimental, cross-sectional research, the collection techniques were based on secondary information and direct sources, the sample universe of this work is made up of companies engaged in clay mining in La Guajira. The results of the study indicate that the mineral exploitation processes are carried out in a rudimentary manner with very conventional tools and methods that are highly harmful to the environment and the communities surrounding the exploitation sites. The proposed technological innovations guarantee favorable conditions for the development of controlled and environmentally responsible production.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E EFICIÊNCIA AMBIENTAL NAS MINAS DE ARGILA DE LA GUAJIRA, COLÔMBIA

Danny Daniel López Juvinao, Carlos Alberto Socarrás Bertiz e Esjeisson Rafael Toncel Manotas

RESUMO

Atualmente, o desenvolvimento de países e regiões depende da promoção de uma cultura de inovação nos setores produtivos, o que envolve a criação, a disseminação e a aplicação de tecnologias que garantam o crescimento econômico, o bem-estar da sociedade e o meio ambiente; o setor de mineração de argila em La Guajira não pode ser privado dessa cultura, especialmente devido aos impactos negativos gerados no meio ambiente em decorrência da forma como essa atividade é realizada atualmente. O objetivo desta pesquisa foi realizar um estudo das tecnologias limpas utilizadas na mineração de argila no departamento, expondo a inovação tecnológica ambiental nas empresas de mineração estudadas e sua eficiência ambiental. Uma série de elementos teóricos foi utilizada para ava-

liar o desenvolvimento da pesquisa. O desenho metodológico utilizado foi baseado em uma pesquisa descritiva, adaptativa, não-experimental e de corte transversal, as técnicas de coleta foram baseadas em informações secundárias e fontes diretas, o universo amostral deste trabalho é composto por empresas que atuam na mineração de argila em La Guajira. Os resultados do estudo indicam que os processos de exploração mineral são realizados de forma rudimentar, com ferramentas e métodos muito convencionais, altamente prejudiciais ao meio ambiente e às comunidades vizinhas aos locais de exploração. As inovações tecnológicas propostas garantem condições favoráveis para o desenvolvimento de uma produção controlada e ambientalmente responsável.

venido desarrollando la minería de arcilla en La Guajira. Sin embargo, mientras avanza la transformación tecnológica a nivel mundial en el sector minero, existen barreras que limitan la difusión y adaptación de esas innovaciones. Algunos de ellos están relacionados con problemas específicas de la industria en la contextualización e implementación de la innovación, como ubicaciones remotas o la naturaleza del entorno competitivo de las operaciones mineras globales (Bladier, 2016; Job y Mcaree, 2017).

Aunado a esto, están las dificultades para formular y ejecutar planes tecnológicos realmente eficaces que permitan reducir

los impactos generados al medio ambiente, principalmente en la minería a pequeña escala desarrollada en mayor proporción de forma informal en La Guajira. Es probable que esas dificultades se deriven de la desarticulación que existe entre las empresas mineras clandestinas y el código de minas en Colombia (Ley 685 del 2001). La desarticulación es tal que se elimina la estratificación de explotación minera por escalas con lo cual los mismos requisitos que se le exigen a una gran concesión minera para obtener sus permisos ambientales y mineros, son exigidos a los pequeños mineros que desarrollan esta actividad como medio de

subsistencia (Quintero y Vásquez, 2022).

Conviene destacar, que con esta investigación no se busca desmeritar la minería de arcilla, al contrario, se resaltan las bondades de esta actividad y se fortalecen las falencias, entre ellas la explotación desmesurada del mineral arcilloso. Se ha visualizado un entorno minero ambiental responsable donde se dé el aprovechamiento de los recursos naturales utilizando procesos de explotación que no afecten de manera drástica el equilibrio ecológico. Para alcanzar estos procesos de explotación se debe recurrir a tecnologías limpias, las que permiten el desarrollo de una

minería en armonía con el medio ambiente significando una oportunidad para mostrar el lado positivo de la industria minera y de los beneficios que conllevan para un país como Colombia, tan rico en minerales y en vía de desarrollo.

En definitiva, las tecnologías limpias en la minería promueven una producción sostenible gracias a que no requieren de grandes cantidades de recursos naturales para su funcionamiento y en su mayoría son autosostenibles exceptuando la parte del mantenimiento. Si bien es cierto, que la tecnificación e implementación de los procesos mineros demanda una inversión inicial económicamente

significativa, también es un plus que permite a las empresas mejorar su imagen en el mercado, lo que se traduce en nueva clientela y mayores ganancias. Por otra parte, contribuye a minimizar las repercusiones ambientales de esta actividad, dando cumplimiento a algunos de los parámetros establecidos en la normatividad ambiental a fin.

De acuerdo con Dehran (2018), para que se dé una exitosa aplicación de tecnologías innovadoras estas deberían incluir por lo menos la utilización de inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático, *Machine Learning* en inglés (ML), el Internet industrial de las cosas (IIoT) o la realidad virtual (VR) (Rogers, 2019). Si bien es cierto que estos factores son claves, existen otros como la vinculación de las energías no convencionales y la automatización de los procesos. Desafortunadamente los entornos cambiantes del mercado, la volatilidad y la interrupción desafían los enfoques de gestión y operación presionando a las compañías mineras a repensar sus enfoques para la creación de valor (producto) (Deloitte, 2019).

Cabe resaltar, que el tema de tecnologías limpias en La Guajira es relativamente nuevo en la minería de arcilla, no obstante, a nivel nacional e internacional existen estudios que han comprobado la utilidad y la eficiencia ambiental de las tecnologías limpias aplicadas al sector de la minería, entre otros:

La implementación de tecnologías limpias en unidades mineras ubicadas en la zona aurífera del Departamento de Antioquia según Rodríguez (2017). En su investigación presenta el análisis de los resultados obtenidos de proyectos desarrollados con la finalidad de reducir el uso del mercurio durante el proceso de extracción del oro libre. Estos proyectos se han enfocado en incentivar e implementar la aplicación de buenas prácticas y tecnologías limpias mediante programas de capacitación, asesoría técnica, campañas demostrativas de procesos, así como el montaje y

puesta en marcha de equipos para tal fin.

Por otra parte en China relacionado a las tecnologías de carbón limpio basadas en la plataforma de metanol, Xiaoying *et al.*, (2017) enfocaron el estudio a la problemática ambiental que la industria del carbón ha generado por la forma tradicional de utilizarlo. El documento se centra en la visión general de la investigación y el desarrollo de tecnologías de conversión de carbón a base de metanol en China, como la síntesis de metanol, metanol a olefinas (MTO), productos químicos (formaldehído, ácido acético, aromáticos, etanol, etilenglicol, etc.), gasolina (MTG), dimetil éter (DME), polioximetilen dimetil éteres (DMMn), metil tert- butil éter (MTBE), combustión directa (DMFC) y como vehículo de energía. Este artículo permitió la ampliación focal al momento de buscar nuevas fuentes de energía y/o maquinaria ambiental para los procesos mineros en los que se utilicen algún tipo de combustible, para evitar la contaminación y reducir las emisiones causadas al medio ambiente.

En cuanto a la innovación, Carvaja *et al.* (2015) la definen como la implementación de un concepto o de un comportamiento nuevo dentro de una organización que permite la combinación de viejas ideas o el cambio de orden de esquemas actuales lo cual es percibido por los individuos que la componen como algo original. Esta se convierte en un eslabón clave dentro de la cadena productiva y en el caso de la minería artesanal a pequeña escala, en una oportunidad para transformar los modos de explotación actuales (Jaillier, 2016) y de abordar sus desafíos más apremiantes (Gruenhagen y Parker, 2020).

En términos generales, esta investigación resulta de interés porque el innovar en procesos de minería e implementar tecnologías limpias, es una opción de competitividad minera y una herramienta fundamental de la minimización y mitigación de los impactos negativos ocasionados por la explotación de los

recursos naturales no renovables. Además, se torna significativa gracias al aumento acelerado en la explotación de arcilla en La Guajira y a la falta de prácticas de producción más limpia.

En el contexto social la innovación tecnológica es fundamental sobre todo porque se evitan daños en la salud pública de los habitantes de zonas aledañas a la actividad como a los trabajadores del sector. Con respecto al ámbito práctico, brinda solución a los problemas socio ambientales de las minas de arcilla en el departamento de La Guajira y mejora la eficiencia en sus procesos, contribuyendo a una minería organizada y responsable con el medio ambiente, lo que facilita la obtención de permisos y/o licencias ambientales.

Con relación al componente ambiental, la investigación es de relevancia ya que la innovación e implementación de tecnologías limpias se ha convertido mundialmente en una estrategia trascendental para el desarrollo sostenible de una actividad o incluso en algunos casos de un país. Colombia por el aprovechamiento de sus características mineralógicas y los compromisos ambientales asumidos a nivel nacional e internacional debe apuntar a la innovación y ejecución de tecnologías limpias en sus sectores productivos. Por otro lado, el aporte metodológico de esta investigación es servir de guía para que las diferentes empresas interesadas puedan elaborar modelos referentes al tema.

Materiales y Métodos

La metodología utilizada se fundamentó en la investigación

descriptiva con un carácter adaptativo de tipo ex post-facto de corte transversal (Hernández y Fernández, 2014), alimentada por fuentes primarias y secundarias (Hernández y Mendoza, 2018). Es decir, la investigación se desarrolló sobre los hechos y no se manipula la variable por parte de los investigadores, el estudio se ejecutó en un solo periodo de observación y como fuente de información se utilizó la observación en campo y la revisión documental bibliográfica. Cabe resaltar, que este estudio está sujeto a criterios propios como investigadores tanto en la observación en campo como para la selección de material documental utilizado.

En cuanto a la técnica de recolección de información por medio de fuentes directas, se estructuró y realizó un cuestionario (Hernández y Mendoza, 2018), aplicado a cada una de las empresas mineras de La Guajira sujetas al estudio; la información obtenida por medio de este instrumento fue complementada con la percepción visual de los profesionales a cargo de esta tarea. El cuestionario se diseñó con un modelo de pregunta y respuesta abierta, conformado por 18 ítems (avalado) por el criterio de expertos en las áreas de ciencias ambientales, ciencias industriales, metodología de la investigación y minería en La Guajira.

Para abordar la investigación *in-situ* no se trabajó con muestras, ni sub muestras, por el contrario, se utilizó toda la población (Tabla I) esta última de carácter finito seleccionada aleatoriamente, específicamente cinco (5) empresas minero-arcillosas de La Guajira (López y Salazar, 2017) que conforman

TABLA I
ESCALA SOBRE PERCEPCIÓN DE RSC

| Municipio | Mina | N° de empleados |
|--------------------|------------------------|-----------------|
| Barrancas | San Pedrito | 20 |
| Fonseca | El Confuso | 25 |
| San Juan del Cesar | Loma Fresca y La Junta | 30 |
| Riohacha | Camaronés | 25 |

Fuente: Elaboración propia.

la población de interés donde se evaluó la aplicación, adaptación y mejoramiento de las tecnologías limpias.

Posteriormente, se establecieron una serie criterios (Tabla II) que permitieron medir y/o describir la innovación tecnológica ambiental que han experimentado las empresas mineras sujetas al estudio; del mismo modo, se fijaron algunos indicadores para estimar la eficiencia ambiental de los procesos mineros que actualmente se desarrollan.

Resultados y Análisis

Innovación tecnológica ambiental

En concordancia con López y Salazar (2017), las minas de arcilla en La Guajira se caracterizan por desarrollar procesos mineros rudimentarios, los cuales han experimentado cambios a lo largo del tiempo. Estos no impactan el desarrollo metodológico de los procesos mineros debido a que no representan innovaciones de tipo radical o incremental. Si bien los procesos que actualmente se llevan a cabo en las minas estudiadas obedecen a un modelo básico de operación que prioriza la economía sobre todos los impactos generados, esto no representa un factor de desarrollo para las empresas.

Respecto al aprovechamiento de la oferta natural energética, cabe destacar que en las minas estudiadas no existen equipos capaces de obtener utilidad de las energías limpias, a pesar de ser La Guajira uno de los departamentos con mayor potencial de aprovechamiento en las diferentes fuentes de energía no convencionales como la eólica y la solar. Esta última por la intensidad de los rayos solares en la zona y la facilidad de aprovechamiento a través de tecnologías de transformación en energía térmica, sería la más apropiada de aplicar en los procesos minero-arcillosos que se desarrollan.

En cuanto a los procesos de explotación, estos se desarrollan tal como los describe Ureche *et al.* (2022). Se realiza la prospección del área a intervenir, posteriormente se descapota y

extrae el material arcilloso, se mezcla con agua para facilitar la maleabilidad, ya homogenizado todo el material, se procede a ensamblos en los moldes para obtener la forma final del producto, que en este caso es un ladrillo de forma rectangular. Se deja durante doce (12) horas a exposición del sol para retirar el exceso de humedad. Una vez deshidratados, se quedan en hornos convencionales alimentados por material vegetal (leña), metodología muy básica (Figura 1) y perjudicial para la salud y el medio ambiente.

A pesar de que los procesos actualmente desarrollados en las minas de arcilla en La Guajira comprometen las condiciones medioambientales y sociales, ninguna de las empresas estudiadas lleva a cabo medidas para mitigar la degradación de la calidad del medio ambiente, lo que da lugar a una serie de impactos que van desde la alteración del suelo, la

contaminación de las aguas, la afección a la flora y fauna de los entornos próximos a las zonas de explotación del mineral, sin dejar de lado los efectos negativos en la salud humana de las poblaciones aledañas a las minas.

Eficiencia ambiental

Se presenta una estimación de la eficiencia ambiental en la minería de arcilla en La Guajira, a través del cumplimiento de los siguientes parámetros: Producción sostenible, Calidad ambiental del área intervenida, Manejo de la materia prima útil y desechada.

En general, las minas de arcilla en La Guajira no contemplan una producción sostenible marcada que integre tanto el aspecto social, económico y ambiental; causando un uso inadecuado de los recursos naturales, donde el crecimiento económico de estas empresas no se refleja en el desarrollo de las

comunidades aledañas, pero si en el impacto ocasionado al medio ambiente. Aunado a esto, se observa que el estado de las áreas intervenidas activas e inactivas es desfavorable, los cambios que ha experimentado la zona van desde la alteración del nivel paisajístico (flora y fauna) a la destrucción del terreno (productividad de los suelos). Se pudo apreciar un comportamiento patrón en las minas estudiadas, relacionado con el abandono inadecuado del área explotada, lo que revela un panorama ambiental deplorable, característico de un modelo de extracción indiscriminado en donde no se realizan actividades para controlar la contaminación generada en el área de influencia (no definida) por los procesos que se llevan a cabo.

Para esta actividad minera, es evidente que la materia prima tiene procedencia de los suelos arcillosos presentes en La Guajira, el manejo que se brinda a esta en su estado de utilidad ya fue mencionado previamente en los procesos de explotación descritos en la dimensión de innovaciones tecnológicas ambientales. Ahora bien, una vez obtenido el producto (ladrillo) algunas unidades no cumplen los estándares de calidad a los cuales se ciñen las empresas mineras por lo que son depositados indiscriminadamente en sitios indebidos repercutiendo en la belleza paisajística de la zona.

Tecnologías limpias

Debido al bajo nivel tecnológico del sector ladrillero en La

TABLA II
CRITERIOS EVALUADOS EN LAS EMPRESAS MINERAS ESTUDIADAS

| Dimensiones | Criterios evaluados |
|----------------------------------|--|
| Innovación tecnológica ambiental | <ul style="list-style-type: none"> - Presencia de sistemas autosuficientes - Tecnologías capaces de aprovechar energía limpia que ofrece La Guajira - Medidas de control, prevención y/o mitigación de los costos ambientales |
| Eficiencia ambiental | <ul style="list-style-type: none"> - Producción sostenible - Calidad ambiental del área intervenida - Manejo de la materia prima útil y desechada |

Fuente: Elaboración propia.

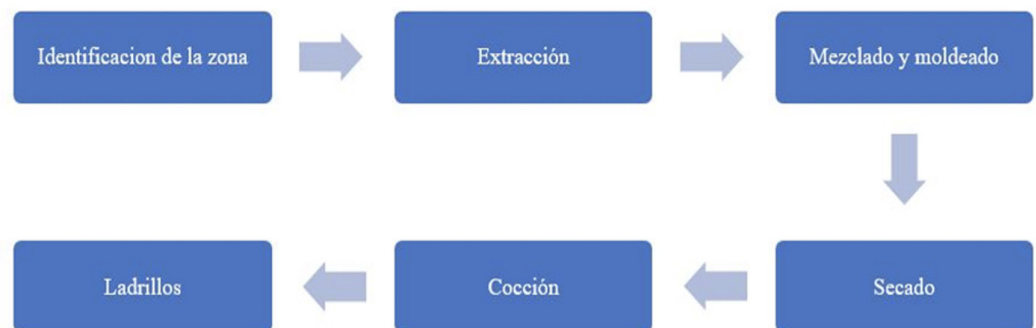


Figura 1. Esquema de producción de ladrillos en las minas de arcilla evaluadas, La Guajira. Fuente: Elaboración propia.

Guajira y al compromiso ambiental que se percibió por parte de las empresas estudiadas, se sugiere una serie de tecnologías ambientalmente sostenibles capaces de cubrir la producción estándar de ladrillos de cada una de las empresas estudiadas.

Actualmente son muchos los avances tecnológicos en materia de minería lo que ofrece un amplio abanico de posibilidades en la implementación de estas, casi sin limitaciones. Además se pueden combinar con las energías renovables para obtener una tecnología autosuficiente. En este orden de idea, se plantea una matriz de decisión (Tabla III) para la implementación de hornos en las minas de arcilla en La Guajira.

Se asignaron rangos cualitativos en función de la capacidad de estos hornos, la distribución de la temperatura al interior de los mismos, la demanda energética requerida para el proceso de cocción, el coste de inversión que representan, la calidad del producto y las probabilidades de dar cumplimiento a lo establecido por la normativa ambiental sobre emisiones, los resultados de la matriz arrojan tres diferentes equipos que se podrían implementar en la minería de arcilla, no obstante, se descartan los hornos de cámaras múltiples y de tipo Hoffman por los requerimientos de terreno necesarios para su operación.

Aunque la capacidad del horno MK-3 no es la más ostentosa según la matriz de decisión, este es capaz de cubrir la producción de ladrillos de forma continua en las minas de arcilla de La Guajira. Para su funcionamiento se utilizaría como fuente de alimentación la energía solar, el criterio de selección fue la matriz de combustibles alternativos (DOFA) (Tabla IV). La implementación de esta tecnología permitirá a las ladrilleras realizar un proceso de minería más sustentable y dar cumplimiento a la normatividad ambiental.

Para este fin, la innovación tecnológica dura corresponde a un prototipo compuesto por un horno MK-3 que va ser alimentado por energía solar y suplantaré el proceso de secado y combustión de ladrillos acelerando el proceso productivo (Figura 2) y reduciendo significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono) y el material particulado que se genera en el proceso de combustión que actualmente se desarrolla en las fábricas de ladrillos estudiadas.

Con respecto a la innovación tecnológica blanda, se sugiere una serie de estrategias para contrarrestar los impactos ambientales derivados de la forma en que se está desarrollando esta actividad, estas son: en primer lugar, empoderar a los

trabajadores sobre el manejo adecuado de los residuos producidos por las actividades que allí se realizan. Segundo, tecnificar los procesos mineros que tienen lugar en las minas de arcilla; en el caso de que la inversión económica sea muy significativa se recomienda no tecnificar todo el proceso de minería, solo acatar las sugerencias plasmadas en el apartado de tecnologías limpias anteriormente explicado o sustituir el material vegetal utilizado en la combustión del ladrillo por otro material de menor repercusión para el medio ambiente. Tercero, formular e implementar un plan de manejo ambiental (PMA) donde en la etapa de pre-minería se realicen bancos de suelo con su capa productiva (primeros 15cm a 30cm de profundidad), bancos que deberán utilizarse en la etapa de post-minería para la rehabilitación del suelo. Por último realizar reforestaciones para subsanar el daño causado al ecosistema.

Conclusiones

Se identificó que las innovaciones tecnológicas que han experimentado a lo largo de la historia los procesos de explotación del mineral arcilloso en La Guajira no han sido de relevancia puesto que el modelo de extracción sigue siendo el mismo, un modelo netamente económico. Además, se determinó

que las empresas mineras sujetas a la investigación no implementan un manejo integral de los recursos naturales, lo cual no permite que se desarrolle una producción sostenible en las minas, estas empresas mineras tampoco desarrollan estrategias encaminadas a este fin.

Las empresas mineras evaluadas no presentan interés en incorporar estrategias para garantizar que los componentes bióticos, abiótico y socioeconómicos presentes en la zona de explotación se vean mínimamente afectados por la operación minera. A lo largo de la investigación se observó que las empresas mineras visitadas no se acogen al plan de ordenamiento territorial (POT) para efectuar sus puntos de explotación del mineral, lo que obliga a buscar mecanismos que permitan la articulación de las normas, los planes y la minería, para garantizar un desarrollo más organizado y mejorar la calidad ambiental de los ecosistemas, limitando la actividad minera a las zonas adecuadas para dichas actividades.

Por otro lado, la viabilidad en el tiempo para las ladrilleras de La Guajira, implica la vinculación de procesos relacionados con la sostenibilidad ambiental a los procesos de explotación; es por esto que se sugiere el uso de tecnologías limpias encaminadas a la protección de los recursos naturales. Las

TABLA III
MATRIZ DE DECISIÓN PARA SELECCIÓN DEL HORNO

| Criterios | Horno Hoffman | Horno Baúl | Horno Colmena | Horno de Fuego Dormido | Horno Mk-3 | Horno de Cámaras Múltiples |
|---|---------------|--------------|---------------|------------------------|------------|----------------------------|
| Capacidad del horno | Alta | Alta | Baja | Regular | Regular | Regular |
| Tipo de horno | Continuo | Intermitente | Intermitente | Intermitente | Continuo | Continuo |
| Permite uso de otro combustible | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Homogeneidad de temperatura | Buena | Regular | Media | Regular | Buena | Buena |
| Energía requerida / Kg de ladrillo | Baja | Alta | Media | Alta | Baja | Baja |
| Permite recuperar el calor para el secado | Sí | No | No | No | Sí | Sí |
| Puede ser utilizado para producir otro material de construcción | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Emisiones a la atmosfera | Bajas | Mediana | Mediana | Altas | Bajas | Bajas |
| Posibilidad de cumplir las normas de emisiones | Mediana | Bajas | Mediana | Bajas | Altas | Altas |
| Calidad del producto | Optima | Regular | Buena | Regular | Buena | Buena |
| Inversión | Alta | Mediana | Mediana | Baja | Mediana | Mediana |

Fuente: Tomada de (EELA, 2011) y contextualizada a la problemática de las minas de arcilla en La Guajira.

TABLA IV
COMBUSTIBLES Y/O ENERGÍAS ALTERNATIVAS

| Energía y/o combustible | Energía Solar | Energía eólica | Biogás |
|-------------------------|---|---|---|
| Debilidades | <ul style="list-style-type: none"> - Instalación costosa - Mantenimiento técnico - Resistencia a tener una nueva forma de energía | <ul style="list-style-type: none"> - Energía limitada por el viento - Mantenimiento avanzado | <ul style="list-style-type: none"> - Necesita depósito de almacenamiento - Mantenimiento técnico - Energía poca conocida - Capacidad de biogás finita |
| Fortalezas | <ul style="list-style-type: none"> - Fuente de energía inagotable - Disminución de enfermedades provocadas por otros tipos de energía - No es contaminante - Disminución de daños al medio ambiente - Reducción de costos a largo plazo - Se cuenta con grandes extensiones de terreno para su implementación | <ul style="list-style-type: none"> - Fuente de energía inagotable - Fácil diseño - No es contaminante - Se usan material reciclado - Reducción de costos a largo plazo | <ul style="list-style-type: none"> - Combustible económico - Combustible renovable - Capacidad de entrega directa |
| Oportunidades | <ul style="list-style-type: none"> - Disminuir gases de efecto invernadero - Apoyo para implementar el proyecto - Uso eficiente de energía - Avance tecnológico - Óptimas condiciones en cuanto a periodos de insolación de la región | <ul style="list-style-type: none"> - Diseño innovador y funcional - Vientos favorables - Disminuir gases de efecto invernadero - Apoyo para implementar el proyecto - Uso eficiente de energía | <ul style="list-style-type: none"> - Condiciones óptimas de funcionamiento en hornos - Aprovechamiento de materia orgánica por medio de biodigestores - Uso eficiente de energía |
| Amenazas | <ul style="list-style-type: none"> - Poco conocimiento sobre la energía - Se requiere grandes extensiones de terreno - Bajo nivel socioeconómico de las minas | <ul style="list-style-type: none"> - Mortalidad de aves - No recibir apoyo para su funcionamiento - Es dependiente del movimiento del aspa | <ul style="list-style-type: none"> - Combustible inflamable - Riesgos en el almacenamiento - Cambios climáticos inesperados |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Esquema de producción en las empresas mineras objetos de estudio con la implementación de la innovación tecnológica dura sugerida. Fuente: Elaboración propia.

innovaciones ambientales se sugieren con el propósito de implementar tecnologías limpias para disminuir los efectos negativos al medio ambiente y a la salud humana producidos por la minería de arcilla en La Guajira, además de estimular a las empresas evaluadas, a través de la reconversión de tecnologías duras y blandas, un desarrollo sostenible en estas minas. Con la implementación de las tecnologías sugeridas se podrá optimizar algunos procesos mineros como: el secado y la

combustión de los ladrillos, y mejoraran las condiciones del ambiente de trabajo.

REFERENCIAS

Bladier R (2016) *Innovation and Technology Policy*. Queensland Resources Council, Queensland, Australia. 29 pp.

Carvaja SA, Perez M, Vanegas R (2015) Identificación de Factores Clave en la Cultura de Innovación. El Caso de la Mediana Minería en Chile. *Journal of Technology Management and Innovation* 10: 132-145.

Dehran S (2018) Digital Applications in Metals and Mining Industry. *American Journal of Operations Management and Information Systems* 3: 33-37. <https://doi.org/10.11648/j.ajomis.20180301.15>

Deloitte P (2019) *Tracking the trends 2019: the top 10 issues transforming the future of mining*. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/gx-er-tracking-the-trends-2019.pdf>

Gruenhagen JH, Parker R (2020) Factors driving or impeding the diffusion and adoption of innovation in mining: A systematic

review of the literature. *Resources Policy* 65: 101-140. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101540>

Hernández S, Fernández C, Baptista M (2014) *Metodología de la investigación*. McGraw-HILL / Interamericana Editores, S.A. de CV, Ciudad de México, México. 182 pp.

Hernández R, Mendoza C (2018) *Metodología de la investigación - Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Editorial McGraw Hill Education, Ciudad de México, México. 714 pp.

Jaillier E (2016) Innovación social y oportunidades de cambio en la minería artesanal a pequeña escala, en Antioquia. *Revista de la Facultad de Trabajo Social* 32: 121-143. <https://doi.org/10.18566/rfts.v32n32.a07>

Job AT, Mcaree PR (2017) Three case studies on the implementation of new technology in the mining industry. *Iron Ore* 7: 24-26.

López DD, Salazar MM (2017) 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: 8-23. <https://doi.org/10.17081/invinno.4.2.2486>

Parrado EA, Pinto AB, Páez SC (2019) Condiciones de vida en regiones mineras de Colombia: Guajira, Chocó y Casanare. *Revista Colombiana de Contabilidad-ASFACOP* 7: 103-118.

Quintero PD, Vásquez AA (2022) La concesión minera en Colombia: un análisis ecológico desde el marco normativo. *Advocatus* 39: 1-19.

Rodríguez M (2017) Implementación tecnologías limpias en unidades mineras ubicadas en la zona aurífera del departamento de Antioquia. *Teknos Revista Científica* 17: 30-37.

Rogers PM (2019) Automation in the Mining Industry: Review of Technology, Systems, Human Factors, and Political Risk. *Mining, Metallurgy and Exploration* 36: 607-631. <https://doi.org/10.1007/s42461-019-0094-2>

Ureche CH, Mercado DS, Díaz AT (2022) Extracción de carbón y obras de ingeniería conexas en La Guajira colombiana: impacto socio ambiental en un territorio frágil. *Revista Notas Históricas y Geográficas* 29: 48-63.

Xiaoying X, Yuan L, Fan Z, Wei D, Yulong Z (2017) Clean coal technologies in China based on methanol platform. *Catalysis Today* 298: 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2017.05.070>