



Facultad de Ingeniería

Diseño de una propuesta para la transicionalidad hacia la economía circular del flujo de materiales en el sector minero-energético, en la jurisdicción CAR Cundinamarca

Autora

Ingrid Mabell Sánchez Carvajal

Tutora

Msc. Mariluz Osorio Quiceno

Universidad El Bosque

Programa de Ingeniería Industrial

Diseño, Gestión e Ingeniería de Operaciones

Bogotá D.C., Colombia

Noviembre de 2023

Contenido

Resumen	10
Introducción	11
1 Formulación del proyecto	13
1.1 Problema de investigación	13
1.1.1 Identificación	13
1.1.2 Descripción	16
1.1.3 Planteamiento	17
1.2 Justificación	17
1.3 Objetivos	18
1.3.1 Objetivo General	18
1.3.2 Objetivos específicos	18
1.4 Marco referencial	19
1.4.1 Antecedentes	19
1.4.2 Marco Teórico	22
1.4.3 Marco legal	28
1.5 Metodología	30
1.6 Alcances y resultados	32
2 Establecimiento del marco de trabajo	33
2.1 Análisis de la normatividad vigente -codificación abierta-	33
2.2 Determinación de líneas de acción -codificación axial-	38
2.3 Relacionamiento de las líneas de acción priorizadas	40
2.4 Definición de líneas de acción priorizadas -codificación selectiva-	41
3 Caracterizar los procesos de las empresas del sector minero energético	43
3.1 Ecomarmato y el aprovechamiento de la biomasa vegetal	43
3.1.1 Líneas de acción priorizadas Ecomarmato	45
3.1.2 Fuentes de energía no convencionales	46
3.1.3 Fuentes y flujos de energía	48

3.1.4	Reducción de emisiones	53
3.2	Asmincol y la fabricación de ladrillo ecológico	53
3.2.1	Líneas de acción priorizadas Asmincol	54
3.2.2	Eficiencia en la producción y consumo de materiales	55
3.2.3	Fuentes y flujos de energía	57
3.2.4	Conservación de fuentes hídricas	60
3.2.5	Reducción de emisiones	61
3.3	Hallazgos de los procesos productivos	61
4	Determinar la factibilidad de la incorporación de tecnologías disponibles	63
4.1	Incentivos para la transicionalidad hacia una economía circular	63
4.2	Generación y selección de ideas	64
4.2.1	Identificación de alternativas Ecomarmato	65
4.2.2	Selección de las alternativas para Ecomarmato	66
4.2.3	Identificación de alternativas Asmincol	67
4.2.4	Selección de las alternativas para Asmincol	68
4.3	Planteamiento de estrategias de mejora	69
4.3.1	Estrategias de mejora para la empresa Ecomarmato	70
4.3.2	Estrategias de mejora para la empresa Asmincol	76
4.4	Conclusión del capítulo	80
5	Conclusiones y recomendaciones	81
5.1	Conclusiones	81
5.2	Recomendaciones	81
6	Referencias	83
7	Anexos	88

Lista de tablas

Tabla 1. Codificación abierta CONPES 3918	34
Tabla 2. Codificación abierta Estrategia Nacional de Economía Circular.....	35
Tabla 3. Codificación abierta CONPES 3934.....	37
Tabla 4. Clasificación de los códigos identificados	38
Tabla 5. Productos de la empresa Ecomarmato	44
Tabla 6. Líneas de acción priorizadas aplicables a la empresa Ecomarmato.....	45
Tabla 7. Líneas de acción priorizadas aplicables a la empresa Asmincol.....	54
Tabla 8. Materias primas para la elaboración de 1.000 ladrillos ecológicos.....	58
Tabla 9. Hallazgos por Líneas de acción priorizadas.....	62
Tabla 10. Resultados de las búsquedas realizadas	65
Tabla 11. Determinación del Nivel de Dificultad de las alternativas.....	66
Tabla 12. Plazos de implementación de las alternativas	67
Tabla 13. Determinación del Impacto de implementación de las alternativas.....	67
Tabla 14. Determinación del Nivel de Dificultad de las alternativas.....	68
Tabla 15. Plazos de implementación de las alternativas	69
Tabla 16. Determinación del Impacto de implementación de las alternativas.....	69
Tabla 17. Comparativo de proveedores de máquina de zaranda hermética	76

Lista de figuras

Figura 1. Mapa Jurisdicción CAR.....	15
Figura 2. Esquema de un análisis de flujo de material de la economía.....	27
Figura 3. Frecuencia de las líneas de acción identificadas.....	39
Figura 4. Relacionamiento de las categorías identificadas.....	40
Figura 5. Materias primas de la empresa Ecomarmato	44
Figura 6. Características de los productos de Ecomarmato.....	44
Figura 7. Diagrama de flujo para briquetas y carbón ecológico	47
Figura 8. Almacenamiento y empaque para briquetas y carbón ecológico	48
Figura 9. Diagrama de balance de masa briquetas	49
Figura 10. Diagrama de Sankey para briquetas.....	50
Figura 11. Diagrama de balance de masa carbón ecológico -parte 1-.....	51
Figura 12. Diagrama de balance de masa carbón ecológico -parte 2-.....	52
Figura 13. Diagrama de Sankey para carbón ecológico.....	52
Figura 14. Servicios ofrecidos por Asmincol.....	54
Figura 15. Diagrama de flujo para ladrillo ecológico	56
Figura 16. Ladrillo ecológico fabricado en Asmincol.....	57
Figura 17. Diagrama de balance de masa ladrillo ecológico -parte 1-	59
Figura 18. Diagrama de balance de masa ladrillo ecológico -parte 2-	59
Figura 19. Diagrama de Sankey para ladrillo ecológico	60
Figura 19. Proceso de implementación GTC 314 de 2020.....	64
Figura 21. Ilustración sistema de aprovechamiento de gas de la pirolisis	71
Figura 22. Diagrama de flujo ajustado para carbón ecológico.....	72
Figura 23. Diagrama de balance de masa ajustado carbón ecológico -parte 1-	73
Figura 24. Diagrama de balance de masa carbón ecológico -parte 2-.....	74
Figura 25. Diagrama de Sankey para carbón ecológico ajustado.....	74
Figura 26. Porcentaje de materiales adecuados.....	75
Figura 27. Diagrama de balance de masa ajustado ladrillo ecológico -parte 1-.....	78
Figura 28. Diagrama de balance de masa ajustado ladrillo ecológico -parte 2-.....	78
Figura 29. Diagrama de Sankey ajustado para ladrillo ecológico	79
Figura 30. Porcentaje de materiales adecuados.....	80

Lista de anexos

Anexo A. Resultados de la búsqueda en Scopus del proceso de pirolisis.....	88
Anexo B. Resultados de la búsqueda del proceso de desterronado y zaranda	91

Resumen

El presente proyecto se realiza con el fin de diseñar propuestas para la transicionalidad hacia la economía circular en empresas del sector Minero- Energético de la jurisdicción CAR Cundinamarca, a fin de mejorar el flujo de materiales, el estudio se centró en dos empresas Ecomarmato y Asmincol. Para ello se utilizó una metodología de tipo mixta que incluye técnicas cualitativas como teoría fundamentada y técnicas cuantitativas para la caracterización de los procesos de las empresas y la determinación de las tecnologías disponibles para las mejoras de los procesos. El desarrollo de los objetivos condujo a la creación de un marco de trabajo, que involucró la identificación de las líneas de acción prioritarias y la definición de mecanismos normativos aplicables a los municipios dentro de la jurisdicción de la CAR de Cundinamarca. Este marco se centró en la alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la Estrategia Nacional de Economía Circular, así como en la evaluación de indicadores y metas presentes en la Política de crecimiento verde (CONPES 3934 de 2016).

Además, se llevó a cabo una caracterización detallada de los procesos de producción en empresas relacionadas con el sector minero-energético que operan en los municipios de la jurisdicción de la CAR. Esta caracterización se realizó en función de los incentivos proporcionados por el marco normativo y regulatorio a nivel nacional, como se establece en la Estrategia Nacional de Economía Circular. Se enfocó especialmente en el análisis de las empresas Ecomarmato y Asmincol. Finalmente, se emprendió la tarea de evaluar la viabilidad de la incorporación de tecnologías disponibles y la selección de aquellas que mejor se adaptan a las necesidades del sector minero-energético en los municipios de la jurisdicción de la CAR a fin de proponer alternativas para mejorar los procesos existentes, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales, en total consonancia con el marco regulatorio vigente.

Palabras clave

CAR Cundinamarca, Economía circular, sector minero energético, transicionalidad.

Introducción

La economía circular se presenta como alternativa al modelo lineal de extraer, producir y desechar que ha tenido lugar desde hace varios años. A pesar que se han logrado avances importantes con el fin de mejorar la eficiencia de los recursos no renovables a nivel global, Colombia hasta hace unos años ha demostrado interés en adoptar medidas relacionadas a un crecimiento más sostenible, es importante destacar que el país tiene un enorme potencial para la creación de políticas rigurosas que posibiliten abrir paso a la nueva cultura emprendedora que ha venido evolucionando, no obstante, el compromiso de adhesión a la OCDE ha permitido trabajar en virtud de un desarrollo eficiente respecto a la conservación y uso de las riquezas naturales (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Este proyecto tiene como objetivo central la identificación de las líneas de acción prioritarias y los mecanismos normativos que enlazan a empresas del sector minero-energético en los municipios de la CAR de Cundinamarca con tres pilares fundamentales: los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la Estrategia Nacional de Economía Circular y los indicadores y metas establecidos en la Política de Crecimiento Verde CONPES 3934 de 2016. El propósito de esta identificación es el establecimiento de un sólido marco de trabajo que oriente las acciones a seguir, promoviendo un desarrollo equitativo y sostenible de tal manera que se mejore el flujo de materiales, para lo cual el documento se ha organizado en cinco capítulos. El primero en el cual se presenta la formulación del proyecto, esta incluye el planteamiento y descripción del problema, los objetivos, antecedentes, justificación, marco teórico, normativo, metodología y alcances.

Una segunda fase del proyecto se enfoca en caracterizar los procesos de producción en las empresas del sector minero-energético en los municipios de la jurisdicción CAR, evaluando los incentivos proporcionados por el marco normativo y regulatorio a nivel nacional, en consonancia con la Estrategia Nacional de Economía Circular. Esta caracterización permitirá comprender las dinámicas industriales existentes y establecer una base sólida para la siguiente etapa por eso se caracterizan los procesos de las empresas analizadas del sector minero-energético Ecomarmato y Asmincol por medio de diferentes diagramas como el diagrama de flujo, balance de masa y diagrama de Sankey.

La tercera y última fase del proyecto se centra en la determinación de la factibilidad de incorporar tecnologías disponibles en el sector minero-energético de la jurisdicción CAR. Este proceso incluye la selección de aquellas tecnologías que mejor se adecúan a las necesidades específicas de la región, con el objetivo de proponer alternativas viables para mejorar los procesos existentes. Esta evaluación de viabilidad no se limita únicamente a aspectos técnicos, sino que abarca dimensiones económicas y ambientales, asegurando que las soluciones propuestas sean

holísticas y alineadas con el marco regulatorio vigente. Finalmente, se presentan conclusiones y recomendaciones donde se identifica el enfoque integral que busca trazar un camino hacia un futuro más prometedor y equitativo, donde la sostenibilidad y la prosperidad convergen en beneficio de las comunidades locales y del medio ambiente.

1 Formulación del proyecto

En este primer capítulo se describe la problemática encontrada y se plantean los objetivos, pregunta de investigación y justificación del proyecto, además incluye los antecedentes relevantes de la temática de estudio, el marco teórico, marco legal y normativo, así como la metodología a emplear para desarrollar los objetivos planteados, finalmente, se presenta el alcance del proyecto.

1.1 Problema de investigación

Este proyecto de investigación mostrará el diseño de una propuesta para la transicionalidad hacia la economía circular del flujo de materiales en el sector minero-energético, en la jurisdicción CAR Cundinamarca.

1.1.1 Identificación

El sector minero energético es clave en la economía colombiana y representa alrededor del 6.7% del PIB nacional, 33% de las inversiones extranjeras directas, 25% de recaudos y 42% de las exportaciones (Instituto Humbolt, 2019), este sector además de ser una locomotora (se refiere a sectores que permiten que la economía avance y que se entienden como sectores promisorios en los que se sustenta el PIB y el crecimiento económico del país, es decir, son los motores de la economía (INCP, 2017) para el crecimiento, tiene la gran responsabilidad de garantizar el abastecimiento energético para el desarrollo sostenible de las demás locomotoras. En este sentido, el compromiso se centra en suplir la demanda con energéticos de calidad, de manera confiable y que a su vez contribuyan con la conservación del medio ambiente, cuenta con un impacto ambiental negativo, que incrementa al pasar los años de manera exponencial y con poca responsabilidad medioambiental (Ministerio de Minas y Energía, 2016).

Un aspecto relevante es formar capital humano en los niveles técnicos y profesionales mejorando las prácticas de la actividad minera y la calidad de vida de los mineros basándose en que no todos los títulos mineros que se encuentran en explotación cuentan con licencia ambiental, como lo refleja el censo minero del Ministerio de Minas y Energía –MinMinas–, que concluye que el 50% se realiza sin título minero (Goñi, Sabogal, & Asmat, 2014). Adicionalmente el 50% con título, no todos cuentan con licencia ambiental y su gestión ambiental no ha sido la esperada. Muchas de las actividades mineras, incluidas las que cuentan con planes de manejo ambiental, están poniendo en riesgo la vida, la integridad y la salud de personas que habitan en sus inmediaciones. Así mismo, existe impacto ambiental sobre el agua, el suelo, el aire, la biodiversidad, el paisaje, que no son mitigados, prevenidos, ni compensados en forma adecuada (Goñi, Sabogal, & Asmat, 2014).

Por su parte, MinMinas reconoce el riesgo de las actividades extractivas y por lo tanto ha implementado políticas para la mitigación del riesgo, la Ley 1523 de 2012 que adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, impulsa acciones de gestión ambiental por actividades antrópicas, en las que se tiene la minería. Existe amenaza por actividades mineras sobre todos los tipos de áreas protegidas y ecosistemas estratégicos existentes en la jurisdicción de la CAR.

En zonas de reservas de la jurisdicción de la CAR, hay 123 títulos mineros con 16.263 hectáreas, distribuidas afectando área de Reservas Forestales Protectoras, entre ellas en los páramos de Guargua y Laguna Verde, Rabanal, Telecom y Merchán, y Guerrero, Distritos de Conservación de Suelos, Distritos de Manejo Integrado, Reservas Forestales Protectoras, Reservas Forestales Productoras Protectoras, Reservas Hídricas y Páramos (CAR, 2012). De otra parte, la CAR históricamente ha invertido recursos públicos en la protección de cuencas y microcuencas a través de la reforestación, que también se cruzan con títulos mineros y autorizaciones.

En particular, en el complejo de páramos de Guerrero, cuenta con una titulación minera de alrededor de 11,19% de su área, páramo de Guargua y Laguna Verde, con una titulación del 28,5% de su área y el de Rabanal con una titulación minera de 44,5% de su área, los cuales se muestran como los más afectados actualmente, en este caso subterránea de carbón; reservas forestales protectoras de los órdenes nacional y regional que han sido tituladas y en particular la ARF protectora regional Cuenca hidrográfica del río San Francisco titulada en cerca del 25% de su área total (CAR, 2012). Debe prevalecer el interés general y deben negarse las licencias ambientales cuando los títulos mineros muestran traslape, así sea parcial con áreas protegidas o ecosistemas estratégicos.

La CAR busca fortalecer la capacidad administrativa y empresarial del sector minero, apoyar la implementación de la normatividad minera y ambiental, avanzar en el cumplimiento de la seguridad social y minera, prevenir los índices de accidentalidad, asegurar el crecimiento progresivo del recurso humano calificado, incorporar minería en actualización del Ordenamiento Territorial y establecer una red de conocimiento minero para aumentar la competitividad; en el Plan de desarrollo de Cundinamarca se fijó como meta reducir en un 16% la informalidad e ilegalidad en la explotación minera de carbón en Cundinamarca, ya que cerca de 640 minas de carbón son informales o ilegales, disminuir el déficit de electrificación rural y urbana en un 2%, y mejorar la economía familiar con el ahorro del 30% del costo mensual del servicio de gas domiciliario (Gobernación de Cundinamarca, 2012).

Con todos estos elementos en consideración, se puede afirmar que los aportes hacia la economía circular en el contexto colombiano están respaldados por la Estrategia Nacional de

[illegible]

Fuente: CAR (2012)

Los esfuerzos en el sector energético son clave para la consecución del ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y, en particular, las metas 7.2 aumentar la proporción de energía renovable y la 7.3 aumentar la eficiencia energética. Asimismo, el sector energético y su contribución con la transición energética tiene un fuerte vínculo con el ODS 13 –Acción por el clima– a través de su meta 13.3 relacionada con crear conocimiento y capacidad para la lucha contra el cambio climático, al implementarse los ODS se tendrán menos exposición a los riesgos derivados de los combustibles fósiles y menor vulnerabilidad gracias a la diversificación de las fuentes energéticas, por lo tanto, menor contaminación y mayor calidad de vida, especialmente en entornos urbanos, nuevas oportunidades de negocio basadas en una mejor gestión de la energía para satisfacer necesidades de los clientes.

1.1.2 Descripción

La Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca –CAR–, es un organismo público que reúne a las entidades territoriales con la responsabilidad legal de gestionar el medio ambiente y los recursos naturales. Fue establecida en 1993 en virtud de la Ley 99 del mismo año, que dio origen al Ministerio del Medio Ambiente (MinAmbiente) y reorganizó el sector público encargado de la gestión y conservación del entorno natural. La misión de la CAR consiste en ejercer la máxima autoridad ambiental en su área de influencia, implementando políticas, planes, programas y proyectos medioambientales a través de la construcción de una red social sólida, con el propósito de contribuir al desarrollo sostenible y equilibrado de la región. Como visión, la CAR aspira a que, para el año 2023, haya desempeñado un papel fundamental en la consolidación de un modelo regional viable, próspero, inclusivo, equitativo y sostenible, fomentando una cultura ambiental responsable (CAR, 2020).

La CAR contempla 33 corporaciones autónomas regionales distribuidas por todo el territorio colombiano, ubicadas en el departamento de Cundinamarca de la siguiente manera: Pioneer de Colombia SDAD Ltda (Chía- Cundinamarca), Erazo Valencia SAS (Cota- Cundinamarca), Carbotrans Valencia SAS (Ubaté-Cundinamarca), Tucker Energy Services SAS (Cota - Cundinamarca), Global Energy y Production Company SAS (Chía - Cundinamarca), Kluane Colombia SAS (Cajicá-Cundinamarca), Proveedora Internacional de Taladros SAS (Chía-Cundinamarca), Kluane colombia sas (Funza- Cundinamarca), Compañía Minera Lidias SAS (Guachetá - Cundinamarca), Empresa de petróleo gas y energías renovables SAS (Chía - Cundinamarca), CPP Testing SAS (Chía- Cundinamarca).

Sus funciones fueron establecidas por la Ley 99 de 1993 (Ministerio de Medio Ambiente, 2021), entre las cuales están: Otorgar diferentes concesiones, ejecutar políticas, planes y proyectos en temas ambientales, desempeñar autoridad ambiental en toda su jurisdicción, promover la

participación ciudadana en diferentes actividades acerca del medio ambiente, liderar la preparación de planes y estrategias en proyectos de desarrollo, asesorar entidades territoriales, diferentes tipos de entidades –públicas y privadas– para la defensa y protección del medio ambiente y sus recursos, realizar funciones de control, evaluación, seguimiento ambiental en diferentes actividades y proyectos desarrollados, así como ejecutar normas y directrices encargadas de la coordinación de las entidades territoriales.

La Corporación dentro de su Plan de Acción reconoce la importancia de progresar en una relación con los sectores productivos de la economía regional basada en 3 pilares principales: 1. Corresponsabilidad en la lógica de lo ambiental, 2. Solidaridad entre productores y 3. Gradualidad (CAR, 2020). La Unión Temporal Economía Circular responde a los lineamientos contenidos en las políticas públicas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MinAmbiente– que se dictan desde la Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Desarrollo, el Pacto por la sostenibilidad y el CONPES 3918, Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible –ODS– en Colombia con el fin de fortalecer mecanismos de confianza y liderazgo para la gestión interinstitucional entre la CAR y autoridades ambientales y mineras. Es necesario generar una visión de sostenibilidad ambiental del territorio entre los actores relevantes y los funcionarios involucrados con el fin de alcanzar metas propuestas y generar acciones estratégicas para lograr este fin.

1.1.3 Planteamiento

La descripción del planteamiento del problema que se presentó anteriormente permite resumir la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué estrategias deben implementar las empresas del sector minero energético de los municipios de la jurisdicción CAR Cundinamarca, de tal manera que mejoren el flujo de materiales, facilitando con esto la transicionalidad hacia la Economía Circular en el marco de la normatividad vigente?

1.2 Justificación

La conservación del medio ambiente es un tema que a lo largo del tiempo va tomando más fuerza debido a los problemas que se ven reflejados a causa de la irresponsabilidad del ser humano y su falta de empatía con el medio, los conceptos de la economía circular permitirán diseñar una propuesta para la transicionalidad del proceso de obtención de materiales en el sector Minero-Energético, dicha propuesta le ayudará a los diferentes municipios de Cundinamarca de la jurisdicción CAR, para reducir la intensidad energética (consumo nacional de energía total/PIB), el consumo de agua total/PIB, disminuir el uso de mercurio en procesos mineros, fomentar las compras verdes estatales en el orden nacional, regional y diseñar e implementar de una estrategia interinstitucional para el control de la minería ilegal.

Como futura profesional de la Universidad El Bosque bajo el enfoque Biopsicosocial y cultural se implementará el esfuerzo formativo e investigativo partiendo desde del compromiso que se tiene en el territorio nacional bajo la Estrategia Nacional de Economía Circular y a nivel institucional para trabajar y aportar en la conservación ambiental. Los esfuerzos en el sector energético son clave para la consecución del ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y, en particular, las metas 7.2 (aumentar la proporción de energía renovable) y la 7.3 (aumentar la eficiencia energética).

Asimismo, el sector energético y su contribución con la transición energética tiene un fuerte vínculo con el ODS 13 (Acción por el clima), a través de su meta 13.3 (crear conocimiento y capacidad para la lucha contra el cambio climático), generando aportes tanto a los municipios como a la autora del proyecto, puesto que permite integrar los conocimientos adquiridos en diferentes asignaturas como: Ecodiseño, Ecología, Gestión logística, Gestión ambiental, Procesos Industriales I y II; sobre bases científicas, tecnológicas, sociales y ambientales, para así lograr recopilar información que permita diseñar soluciones en diversas áreas del conocimiento, así como el fortalecimiento y obtención de nuevas habilidades.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar propuestas para la transicionalidad hacia la economía circular en empresas del sector Minero- Energético de la jurisdicción CAR Cundinamarca, de tal manera que se mejore el flujo de materiales.

1.3.2 Objetivos específicos

Identificar las líneas de acción priorizadas y los mecanismos normativos entre los municipios de la jurisdicción de la CAR de Cundinamarca en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la Estrategia Nacional de Economía Circular, indicadores y metas de la Política de crecimiento verde CONPES 3934 de 2016, para establecer un marco de trabajo.

Caracterizar los procesos de producción en empresas del sector minero-energético en los municipios de la jurisdicción CAR, en relación con los incentivos que ofrece el marco normativo y regulatorio a nivel nacional establecido en la Estrategia Nacional de Economía Circular.

Determinar la factibilidad para la incorporación de tecnologías disponibles y seleccionar las que más se adecuan en el sector minero energético para los municipios en la jurisdicción CAR, a fin de proponer alternativas para el mejoramiento de los procesos, evaluando su viabilidad con el

objetivo de analizar aspectos técnicos, económicos y ambientales en concordancia con el marco regulatorio.

1.4 Marco referencial

El marco referencial del presente documento se compone de los antecedentes del tema en donde se describen documentos relacionados con modelos de economía circular y la importancia de la implementación de estrategias para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Igualmente se incluye el marco teórico y el marco legal para el desarrollo de los objetivos del presente proyecto.

1.4.1 Antecedentes

El modelo de la Economía Circular –EC– en la actualidad es un factor clave para tener en cuenta, con el paso del tiempo las empresas han venido implementando estas estrategias para el funcionamiento de sus negocios, esto debido a la necesidad de generar productividad y desarrollo sostenible. Los gobiernos al recibir estadísticas negativas en cuanto al impacto ambiental y el cambio climático, se han visto en la necesidad de tomar medidas y diseñar normativas que puedan regular la problemática ambiental actual, las compañías diseñan estrategias basándose en diferentes documentos como las ODS y estudios ambientales en su entorno, por otro lado la crisis medioambiental y el aumento en la conflictividad socioambiental originada por la contaminación, han contribuido a la creación del nuevo paradigma denominado ‘economía circular’ –EC–. A partir de la economía circular se ha erigido *“un modelo de negocio que se basa en el reciclaje, la reutilización y la reducción de los recursos naturales”* (Antunéz et al., 2021).

El uso de la EC para el logro de los ODS no es contrario al crecimiento económico, sino que, al proponer el cierre de ciclos de energía y materiales para mantenerlos dentro de la economía, mantiene también de esta forma el uso de los recursos disponibles sin necesidad de aumentar los daños ambientales (Sandoval et al., 2017). La importancia económica del sector minero para Colombia comenzó desde la expedición del Código de Minas, con el cual se quiso fomentar y fortalecer la exploración y explotación de los recursos mineros del país. La situación del mercado mundial ha llevado a Colombia en los últimos gobiernos a plantear que éste es un “país minero”; así como lo indica el “DANE (2011) principalmente por el contexto mundial (crecimiento considerable del consumo, tanto de carbón como de petróleo, y precios muy altos) ha recibido un singular impulso. Por ello no es extraño que el sector minero energético haya presentado el mayor crecimiento del PIB para el tercer trimestre de 2011, con 18,4%, en contraste con un crecimiento global de la economía del 7,7%” (p. 9).

En cuanto a nivel de Latinoamérica, Colombia ha venido en proceso de planeamiento e implementación de métodos o modelos que proporcionen efectividad en la actividad minera teniendo en cuenta los aspectos ambientales y las normativas establecidas para el cuidado del medio ambiente con el fin de poder llevar a cabo una actividad industrial de buen rendimiento generando productividad y aportando al impacto del medio ambiente, en la economía circular es fundamental principalmente tener en cuenta diferentes aspectos respecto a los objetivos de desarrollo sostenible, grandes economistas como Georgescu-Roegen y Herman Daly tuvieron en cuenta y se discutieron diferentes premisas de los objetivos de desarrollo sostenible como energía asequible no contaminante, producción y consumo responsable donde se pueden abarcar con base a estos objetivos temas fundamentales como la reducción de materiales y reducción de energía contaminante, a pesar de estos esfuerzos varios autores plantean que muchas empresas cometen el error de no conectar dichos procesos con visión circular, sino que los implementan enfocados en mejorar indicadores (Corcelli et al 2019; Gallagher et al 2019).

Un estudio comparativo de empresas del sector energético mostró que las prácticas de gestión de residuos, eficiencia de los recursos, adquisiciones sostenibles, técnicas de recuperación de energía y la generación baja en carbono están activos en la mayoría de los casos. Sin embargo, pocas empresas mencionan el concepto de EC como parte de su modelo de negocio. En particular, un enfoque sistémico para la planificación de plantas y productos al final de su vida útil, así como la colaboración de múltiples partes interesadas para la optimización del uso de recursos y residuos no se presentó y podrían respaldar la transición hacia el funcionamiento del modelo circular (Spataru, 2019).

En lo que respecta a la planificación, es importante señalar que Colombia ha establecido el Plan Nacional de Desarrollo Minero con una visión hacia el año 2025. En este contexto, se resaltó que, para el año 2017, el país sobresalía en la producción de carbón y, en comparación con otros minerales, únicamente destacaba en la extracción de oro. Además, se puso de manifiesto que el potencial minero de Colombia aún no se había explorado en su totalidad, revelando un panorama prometedor para el futuro. Sin embargo, el Servicio Geológico Colombiano identificó áreas con potencial para alojar mineralizaciones de oro, platino, cobre, minerales de fosfato, minerales de potasio, minerales de magnesio, carbón metalúrgico, carbón térmico, uranio, hierro, minerales de niobio y tantalio (UPME, 2017), cabe mencionar que el Circular Gap Report del 2019 afirmó, que la implementación de prácticas de EC podría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en más de un tercio para 2100, además de las tecnologías bajas en carbono existentes (Circle Economy, 2019). Para esto, se debe incluir nueva infraestructura, como energía renovable, relacionada con el ODS 7, agua circular y gestión de residuos, recursos, logística inversa y apoyo a la investigación e innovación, relacionada en parte con el ODS 6, entre otros. Otro ODS por destacar es el número 8, que está asociado con la EC y con los nuevos modelos comerciales

circulares que se están creando, los cuales son una fuente potencial importante de empleos verdes (Schroeder et al., 2018).

Según Ellen MacArthur Foundation (2019), varios estudios han encontrado que la EC es una oportunidad de varios billones de euros a nivel mundial, con un beneficio neto anual de 1,8 billones de euros solo en la Unión Europea para 2030. Se podría concluir que el sector minero se encuentra inmerso en desafíos de expansión, los cuales son evaluados desde tres enfoques que comúnmente se abordan en el ámbito de la Responsabilidad Social Empresarial (RSE): el aspecto económico, el social y el medioambiental. Desde una perspectiva económica, es evidente que los incrementos en la demanda sugieren un posible crecimiento exponencial en la extracción de minerales, con el objetivo de aumentar la contribución del sector a la economía nacional. Asimismo, la competencia generada por la adopción de prácticas de economía circular en los procesos de producción exige una mayor competitividad por parte de los actores que tradicionalmente han suministrado dichos minerales, Colombia debe tener en cuenta de manera más significativa la EC, ya que es un factor clave para lograr generar productividad y desarrollo sostenible.

Por su parte, Zamora e Hinojosa (2019), enfocan su trabajo de investigación en las empresas mineras e indican que los procesos extractivos no sólo deben determinar los efectos de impacto negativo al medio ambiente que generan cada una de las operaciones unitarias del proceso extractivo; sino que también, deberían crear soluciones innovadoras para disminuir los consumos de agua y energía; pero además, tratando que los residuos generados sean reutilizados en el cierre de la operación minera; permitiendo así, un claro beneficio económico, social y ambiental para la industria minera (Zamora & Hinojosa, 2019, pág. 16). Los autores proponen una estrategia que se centra en la implementación de la economía circular. Este enfoque integral busca reducir tanto los residuos mineros generados durante la fase de explotación como los residuos orgánicos y las aguas residuales producidas en los campamentos mineros. Además, se pretende optimizar el uso de los suelos en el sector minero. Este enfoque no solo busca disminuir el consumo de agua y energía en las operaciones mineras, sino también reducir los costos asociados al cierre ambiental de los sitios de disposición final de los desechos y relaves generados durante la operación minera.

En la misma línea, el informe presentado por la Comisión Chilena del Cobre (2021), está enfocado en la identificación de oportunidades de negocios para los residuos mineros, utilizando a la Economía Circular –EC– como eje fundamental, lo cual por un lado muestra la importancia de la economía circular en el sector minero energético (pág. 49) y por otra parte, evidencia que existen alternativas para aprovechar mejor los residuos de las actividades mineras para el crecimiento de la economía. Dentro de las conclusiones del estudio mencionan que la minería en Chile representa una gran oportunidad para desarrollar un modelo de economía circular, siendo una opción válida de implementar a través de la minería secundaria y de la reutilización de residuos

mineros, sin embargo, se requiere la generación de un marco legal que permita el retratamiento y reutilización de residuos mineros, siendo esta la principal brecha identificada. Otras brechas que identificó el estudio se refieren a que no existe claridad sobre el tipo y cuantía de recursos mineros presentes en los diversos residuos mineros analizados, además, de un bajo conocimiento en tecnologías y el desconocimiento del posible impacto ambiental en el cual no existe consenso del impacto en el medioambiente que podría llevar el retratamiento de estos residuos mineros.

1.4.2 Marco Teórico

El marco teórico del presente proyecto se enfoca en lo que se entiende por mejoramiento de procesos y las metodologías que se aplicarán para desarrollarlo, incluye también lo relacionado con el análisis del flujo de materiales y la definición de economía circular en el marco del desarrollo de los objetivos planteados.

Mejoramiento de procesos

El mejoramiento de procesos también conocido como rediseño de procesos de acuerdo con lo planteado por Harrington (2000), tiene importancia en las organizaciones teniendo en cuenta que, “la razón fundamental y única para la cual debe iniciarse un proceso de mejoramiento es para generar mayores beneficios y hacer más competitiva a la organización” (Harrington, 2000, pág. 142), es por eso que, se plantea el mejoramiento de los procesos en empresas del sector Minero-Energético de la jurisdicción CAR Cundinamarca, para obtener mayores beneficios e implementar la economía circular en este sector de manera efectiva. El objetivo del mejoramiento de procesos es llegar a ser más productivos, aprovechar mejor las oportunidades y ejecutar las actividades al menor costo posible (ICONTEC, 2015).

Algunas de las metodologías más conocidas en el mejoramiento de procesos es la aplicación del mejoramiento continuo a través del ciclo PHVA relacionado con las actividades de Planear, Hacer, Verificar y Actuar. Las fases del mejoramiento de procesos son: preparación, identificación, descripción, solución y transformación, cada una de las cuales posee una serie de actividades o tareas para su aplicación y desarrollo y que se puede generar un cambio positivo de mejoramiento continuo de los procesos (Manganelli & Klein, 2004) y asimismo, los autores describen las fases de implementación del rediseño de procesos, las cuales se presentan a continuación.

Preparación: Esta etapa tiene como objetivo movilizar, organizar y estimular a las personas que van a realizar el rediseño del proceso. También produce un cambio; una estructura organizacional y una constitución para el equipo; y un plan de acción. Según Manganelli & Klein (2004) en esta etapa se realizan las siguientes actividades:

- Reconocer la necesidad: Esta tarea se resalta por el cambio que se realiza en el mercado, en la tecnología, o ambiental.
- Desarrollo consenso ejecutivo: Se realiza de una manera informal en cierto periodo de tiempo por medio de reuniones bipersonales o de grupo, memorandos, hablando con colegas en otras compañías, con consultores, etc.
- Capacitar al equipo de rediseño: Capacitar al equipo para lograr el objetivo, teniendo en cuenta las expectativas, el trabajo en equipo, el método, las herramientas que se van a utilizar y asumiendo responsabilidades del proyecto.
- Planificar el cambio: Se desarrolla el plan global para el resto del proyecto, este debe ser detallado para la siguiente etapa.

Identificación: Para Manganeli & Klein (2004), esta etapa permite desarrollar y comprender un modelo de negocio con procesos orientados al cliente. Incluye las siguientes actividades:

- Modelar clientes: Identificar clientes externos definir sus necesidades y deseos, además, se identifican las diversas interacciones entre la organización y sus clientes.
- Definir y medir rendimiento: Se definen las medidas de rendimiento orientadas al cliente y se determinan los actuales niveles de rendimiento, también examinan las normas actuales y examinan los problemas de rendimiento.
- Modelar procesos: Define cada proceso e identifica su serie de cambios de estado: Define los objetivos del proceso y los factores críticos del éxito, Identifica los insumos y los resultados del proceso.
- Identificar actividades: Identifica las principales actividades necesarias para efectuar cada cambio de estado, así mismo determina el grado en que cada actividad agrega valor, es decir, el grado en que la actividad contribuye a satisfacer las necesidades o los deseos del cliente.
- Fijar prioridades de procesos: Se pondera cada proceso por su impacto sobre las metas y prioridades.

Visión: El objetivo de esta fase es concebir una visión del proceso que pueda generar un avance significativo en términos de rendimiento. En la etapa de definición de la visión, se analizan los componentes preexistentes del proceso, como organizaciones, sistemas, flujo de información, problemas y desafíos actuales. Además, se lleva a cabo una evaluación comparativa del rendimiento actual del proceso, identificando las oportunidades de mejora y estableciendo objetivos claros para el futuro. En esta etapa Manganeli & Klein (2004) proponen realizar las siguientes actividades:

- Entender la estructura del proceso: Se amplía la comprensión de los efectos en las tareas Modelar procesos y Extender modelo de proceso identificando todas las actividades y pasos del proceso. La estructura del proceso se define en función de actividades, pasos, insumos, productos y estímulos.
- Entender el flujo del proceso: Se amplía la comprensión de los aspectos dinámicos del proceso modelado identificando puntos primarios de decisión y de procesos. Se reconoce explícitamente que el proceso no se ejecuta de la misma manera todas las veces.
- Identificar actividades de valor agregado: Se evalúa el impacto de cada actividad del proceso sobre las medidas de rendimiento externo para identificar actividades que agregan valor, las que no lo agregan y las que son puramente de control interno.
- Visualizar el ideal (Externo): Describe como operaría el proceso una vez optimizadas todas las medidas de rendimiento externo, describe el comportamiento de las actividades que tienen interfaz con clientes y proveedores.
- Visualizar el ideal (Interno): Describe como operaría el proceso todas las medidas optimizadas de rendimiento interno, describe como se ejecutaría las funciones claves de cada oficio para alcanzar el rendimiento ideal.
- Integrar visiones: Identifica conflictos entre ideales internos y externos y busca acomodamiento entre las capacidades alternas para producir la visión integrada más eficaz.

Solución: El propósito de esta etapa es producir un rediseño del proceso capaz de realizar la visión. En esta etapa Manganelli & Klein (2004) indican que deben realizarse las siguientes actividades:

- Modelar relaciones de entidades: Identifica las relaciones entre entidades, la dirección y cardinalidad.
- Reexaminar conexiones de los procesos: Considera si el movimiento de pasos entre actividades, de actividades entre procesos, o la redistribución de la responsabilidad de los pasos pueden mejorar el rendimiento e identifica también casos en que una mejor coordinación entre actividades mejoraría el rendimiento.
- Instrumentar e informar: Identifica la información necesaria para medir y manejar el rendimiento del proceso, define puntos donde la información se puede almacenar y agrega subprocesos, según se necesite para captar, reunir y diseminar la información necesaria.
- Consolidar interfaces e información: Define los cambios del proceso necesarios para reducir e identificar interfaces, tanto internas como externas. Identifica y elimina

duplicación de corrientes de información, y con ellas las actividades de reconciliación necesarias para resolver a cuál de los duplicados se debe dar crédito.

- Redefinir alternativas: Evaluar las necesidades de casos especiales si los hay en el proceso, busca remplazar un solo proceso complejo por uno o más procesos simples.
- Reubicar o reprogramar controles: Busca reducir el número de actividades que no agregan valor en el proceso, simplificando las estructuras de control de este.
- Especificar implantación: Utiliza los módulos definidos en la tarea anterior para evaluar alternativas estructurales y alternativas de implementación.
- Aplicar tecnología: Se harán aplicaciones específicas de tecnología al proceso.
- Planificar implementación: Desarrolla planes preliminares para implementar los aspectos técnicos del proceso rediseñado, incluso desarrollo, adquisiciones, instalaciones, prueba, conversión e implantación.
- Identificar grupos de características de cargos: Identificar las características de un cargo y agruparlas en tres categorías; destrezas, conocimiento y orientación, y redefinirlos para satisfacer las necesidades del proceso rediseñado.
- Definir cargos y equipos: Se evalúa la agrupación de requisitos de los cargos para determinar cuáles de los actuales cargos se pueden conservar o subir de categoría, cuales combinar y cuales eliminar.
- Especificar cambios de cargos: Prepara una nueva matriz de requisitos de destrezas, conocimiento y orientación, frente a transiciones de cargos viejos a cargos nuevos.
- Diseñar programa de gestión del cambio: Es la tarea más importante, porque más proyectos de reingeniería fracasan por falta de una eficiente gestión del cambio que por defectos en su diseño técnico o social. Esta tarea refina y amplía el plan de gestión del cambio.
- Diseñar incentivos: Concertar las metas individuales, organizacionales y de proceso definiendo incentivos que motivan a la gente para hacer la transición al nuevo proceso, alcanzar los niveles proyectados de rendimiento, y comprometerse a una mejora continua.
- Planificar implementación: Se desarrollan planes preliminares para implementar los aspectos sociales del proceso rediseñado, inclusive contratación de empleados, educación, capacitación, reorganización y reubicación.

Transformación: El propósito de esta etapa es realizar la visión del proceso implementando el diseño producido en la etapa cuatro. La etapa de transformación produce una versión piloto y una de plena producción para el proceso rediseñado y mecanismos de cambio continuo durante la vida de la versión de producción. Según Manganeli & Klein (2004) en esta etapa se realizan las siguientes actividades:

- Completar el diseño del sistema: Tienen que ver con el diseño “externo” de un sistema nuevo o revisado de apoyo del proceso rediseñado.
- Ejecutar diseño técnico: Tienen que ver con el diseño “interno” de un sistema nuevo o revisado de apoyo del proceso rediseñado. Esta tarea escoge la plataforma o plataformas sobre las cuales se va a montar el sistema de aplicación.
- Capacitar al personal: Da capacitación en la operación, la administración y el mantenimiento del nuevo proceso, justo a tiempo para que el personal asuma nuevas responsabilidades.
- Mejora continua: La mejora de un proceso es continua, no porque se haga en todos los instantes si no porque se hacen mejoras en todo intervalo de tiempo.

Chase et al. (2014), indican que es muy importante analizar los procesos ya que estos son los que garantizan la competitividad de una empresa, como el valor agregado que esta puede brindar y se debe saber la finalidad de cada uno, así mismo, contar con evidencia para el respectivo análisis y en busca de la mejora de los procesos se deben implementar herramientas que lo faciliten.

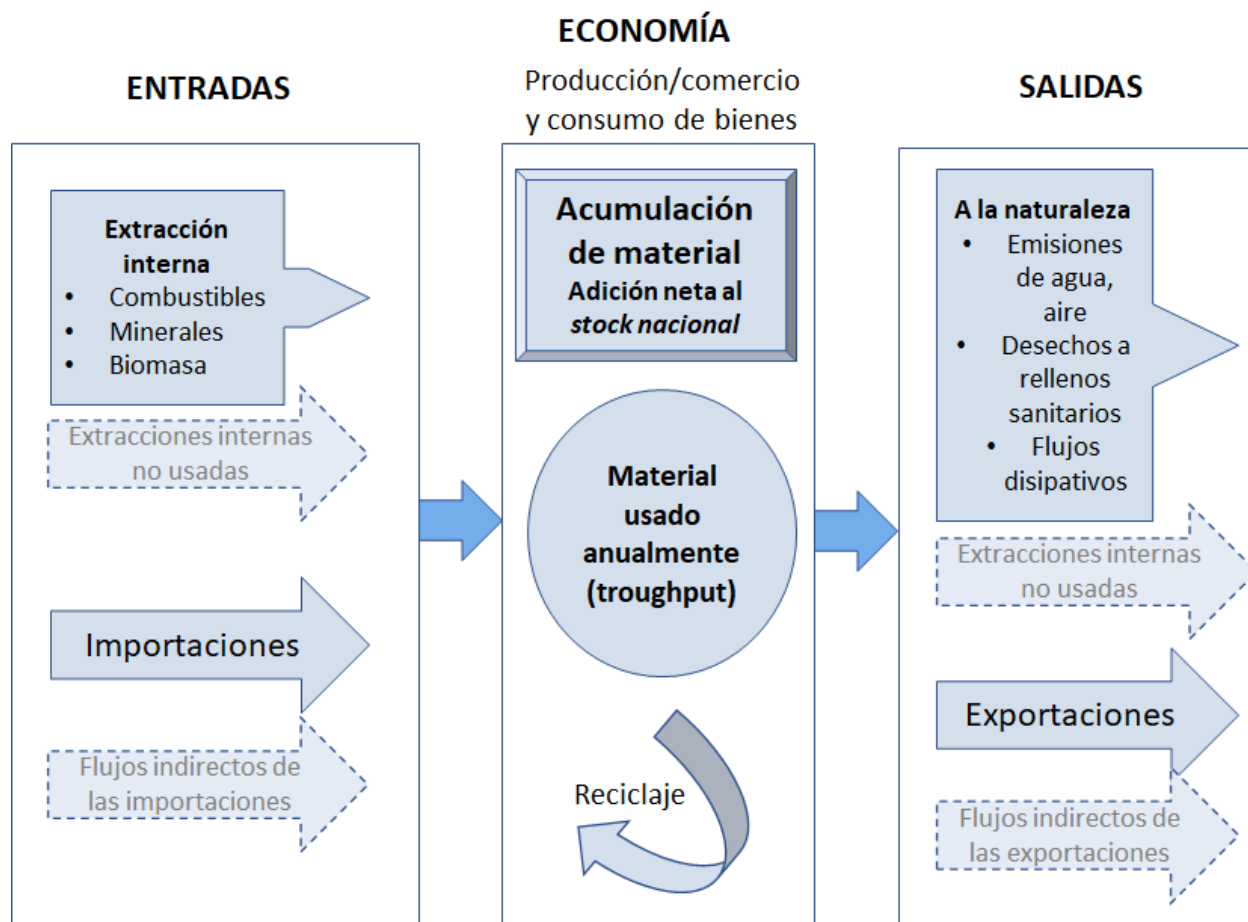
Análisis del flujo de materiales

El análisis de flujo de materiales es una “metodología para evaluar los flujos físicos de recursos materiales, desde su extracción hasta su eliminación final, teniendo en cuenta las pérdidas en el camino” (Euskadi, 2012). Igualmente, se basa en la Ley de conservación de la materia y la energía, en donde la suma de todas las entradas del sistema debe ser igual a la suma de las salidas, es importante porque proporciona una visión completa de la arquitectura del sistema por el que circula un material determinado y las interacciones con el entorno que se generan durante este proceso, permitiendo la vinculación de las actividades humanas con el medio ambiente (Sucozhañay & Vidal, 2019).

Para realizar el análisis del flujo de materiales es necesario conocer las entradas y las salidas del proceso y cuantificarlas para poderlas comparar, dado que, deben ser iguales. En cuanto a las entradas los materiales que entran y que se contabilizan en el análisis de flujo de materiales se pueden dividir en dos categorías.

La primera categoría la componen aquellos materiales sólidos, líquidos y gaseosos que entran directamente para su utilización en el proceso productivo o en el consumo final. La segunda categoría, conocida como flujos ocultos (FO) o mochilas ecológicas, engloba los materiales que han sido desplazados del medio natural, pero que no entran directamente en la economía por no tener un valor económico (Euskadi, 2012). En la Figura 2 se muestra un ejemplo de un análisis de flujo de material de la economía.

Figura 2. Esquema de un análisis de flujo de material de la economía



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente Chile (2018)

Economía circular

La economía circular es una alternativa al modelo lineal de flujo de materiales en el cual se extrae, produce y desecha, este modelo ha sido usado tradicionalmente (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Es importante destacar que el país tiene un enorme potencial para la creación de políticas rigurosas que posibiliten abrir paso a la nueva cultura emprendedora que ha venido evolucionando, no obstante, el compromiso de adhesión a la OCDE ha permitido trabajar en virtud de un desarrollo eficiente respecto a la conservación y uso de las riquezas naturales.

Webster (citado en Tedx Talks, 2012), define la economía circular como “aquella que se fundamenta en reducir, reusar y reciclar, a la vez que se promueve que el valor de los productos, los materiales y los recursos, se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible y se reduzca al mínimo la generación de residuos” (Webster, 2001, citado en Tedx Talks, 2012). El modelo de economía circular plantea sistemas regenerativos y restauradores, con el fin de mantener el valor de los recursos –naturales, agua, suelo y energía– y de los productos, reduce

insumos de materias primas y recursos energéticos e impulsa la innovación y eficiencia empresarial, así como la competitividad y sostenibilidad.

La economía circular según la Fundación Ellen MacArthur (2014), se basa en tres principios: preservar y mejorar el capital humano, optimizar el rendimiento de los recursos y promover la eficacia de los sistemas que describen las acciones que se deben llevar a cabo para cumplir los objetivos de la economía circular y obtener los beneficios esperados, a su vez representa retos que las industrias deben superar para adaptarse con éxito a los sistemas circulares y conseguir reducir la extracción de recursos y la generación de residuos. El primero, busca proteger y mejorar los recursos naturales, manteniendo control sobre el uso de los no renovables, además, promover su reutilización y la sustitución de materias primas, el segundo que consiste en aumentar la vida útil de los productos, mediante una reestructuración en la etapa de diseño del bien, de modo tal que los componentes y materiales recirculen, y contribuyan nuevamente en la economía, y por último está el principio de alcanzar un sistema más eficiente eliminando externalidades negativas, buscando así que se reduzca el impacto negativo del ser humano y su relación con la contaminación de la atmósfera, suelos, aguas, emisiones de sustancias tóxicas y el cambio climático, entre otros.

La economía circular tiene como enfoque minimizar la necesidad de nuevos insumos de materiales y energía, también reducir las presiones medioambientales asociadas a la extracción de recursos, las emisiones y la disposición de residuos en vertederos.

Desde 1850 hasta el año 2000, la reutilización de los productos o materiales no ha constituido una prioridad puesto que era más fácil obtener materiales nuevos y, además, la disposición de residuos resultaba una opción fácil y económica de gestión de los mismos (Ihobe, 2017).

Es innegable que el paradigma del crecimiento económico en Colombia se ha centrado predominantemente en la explotación intensiva de los recursos naturales, lo cual plantea desafíos tanto desde una perspectiva económica como ambiental. En este contexto, la transición de un modelo económico lineal a uno circular para las empresas colombianas requiere cambios sustanciales en todos los aspectos del sistema. Esto abarca desde la transformación de los modelos de negocio y gestión hacia prácticas más sostenibles y una responsabilidad ampliada del productor, hasta la evolución del diseño convencional de productos, permitiendo la creación de industrias más limpias y la optimización eficaz de residuos. Este enfoque promueve una mayor conciencia en el uso responsable de los recursos naturales.

1.4.3 Marco legal

Dentro del marco legal y normativo el documento base de análisis es el Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética –PAI-PROURE– 2022-2030, expedido por la Unidad de

Planeación Minero-Energética, el cual estableció los potenciales de ahorro energético por sectores, así como las medidas específicas que requieren ser fortalecidas y desarrolladas de manera coordinada.

Respecto al transporte sostenible, la Ley 1964 de 2019, promueve mediante incentivos puntuales el uso de vehículos eléctricos para contribuir a la transición energética y disminución de emisiones de Gases de Efecto Invernadero –GEI–. Es decir, una Movilidad Sostenible: aquella que es capaz de satisfacer las necesidades de la sociedad de moverse libremente, acceder, comunicarse, comercializar o establecer relaciones sin sacrificar otros valores humanos ecológicos básicos actuales o futuros (Ley 1964 de 2019). Adicionalmente, en la Resolución 40177 de 2020 del Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se definen los energéticos de cero y bajas emisiones para el transporte sostenible y mejora de la calidad del aire.

La evaluación de impacto ambiental es un estudio que identifica, describe y valora la manera más apropiada de obrar en un caso concreto (Universidad El Bosque, 2018). Según las particularidades del caso, los efectos notables previsibles que la ejecución del proyecto minero producirá sobre los distintos aspectos ambientales. La EIA incluirá el plan de manejo ambiental respectivo, que contemple acciones requeridas para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles efectos. La EIA se presenta antes del inicio de las actividades avanzadas de exploración, labores mineras de explotación, beneficio, fundición y refinación. El mismo debe ser sometido a la aprobación de la Subsecretaría de Protección Ambiental del Ministerio de Energía y Minas.

Los esfuerzos en el sector energético son clave para la consecución del ODS 7 (Energía asequible, no contaminante) y, en particular, las metas 7.2 (aumentar la proporción de energía renovable) y la 7.3 (aumentar la eficiencia energética). Asimismo, el sector energético y su contribución con la transición energética tiene un fuerte vínculo con el ODS 13 (Acción por el clima) a través de su meta 13.3 (crear conocimiento y capacidad para la lucha contra el cambio climático) (Universidad El Bosque, 2018).

Los sectores de hidrocarburos y minería desempeñan un papel fundamental en la reactivación económica gracias a sus contribuciones significativas en forma de regalías, impuestos, inversión extranjera directa y contraprestaciones económicas al servicio del país. En el contexto normativo que rige su desarrollo, destacamos varias regulaciones clave. El Decreto 1073 de 2015, por ejemplo, establece la normativa que regula las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos, garantiza el suministro de gas combustible y establece las disposiciones generales para el sector minero, entre otros aspectos relevantes. La Ley 2056 de 2020 regula la organización

y el funcionamiento del sistema general de regalías, desempeñando un papel crucial en la gestión de estos recursos.

En cuanto a los esfuerzos de política para fomentar y desarrollar proyectos en los sectores de minería y energía, la Ley 401 de 1997 se destaca por su importancia. Además, el Documento CONPES 3762 establece directrices fundamentales para identificar y priorizar proyectos en infraestructura, hidrocarburos, minería y energía que se consideran de interés nacional y estratégicos. Por otro lado, el Documento CONPES 3990, titulado "Colombia Potencia Bioceánica Sostenible 2030", traza líneas de acción para promover el desarrollo de proyectos relacionados con los hidrocarburos en áreas costa afuera. Finalmente, el Documento CONPES 3866 se enfoca en el desarrollo productivo y sus directrices asociadas. Estas regulaciones y políticas desempeñan un papel crucial en el fomento y regulación de estos sectores claves para la economía colombiana.

El PND 2018-2022, en el Pacto por los recursos minero-energéticos, estableció como objetivo consolidar el sector como dinamizador del desarrollo de territorios poniendo en marcha un nuevo modelo de relacionamiento entre el Gobierno nacional y los entes territoriales, el Plan Nacional de Desarrollo Minero con horizonte a 2025 (UPME, 2017) con el objetivo de consolidar el sector como dinamizador de desarrollo de territorios sostenibles.

1.5 Metodología

La investigación a desarrollar es tipo mixta, este tipo de investigación también llamada investigación múltiple o integrativa es un tipo de investigación donde se utiliza una metodología que busca integrar los métodos cualitativos y cuantitativos en el mismo estudio; la meta de la investigación mixta no es reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales (Hernández et al., 2014). Asimismo, esta investigación es de carácter descriptivo. Para el desarrollo de la presente investigación se realizarán las siguientes etapas:

Etapas 1. Establecimiento del marco de trabajo

Esta etapa es de carácter cualitativo orientada hacia la exploración de la normatividad nacional para establecer las acciones posibles para el sector Minero Energético. Para ello se utiliza la teoría fundamentada en la cual el investigador recoge, codifica y analiza datos en forma simultánea más no sucesiva, en un proceso metódico, sistemático e interpretativo, propio del paradigma cualitativo” (Bonilla & López, 2016), en esta metodología se deben realizar las fases de recolección, codificación y análisis de los datos, en forma simultánea. De acuerdo con el

planteamiento de Bonilla & López (2016) el proceso de codificación para el establecimiento del marco de trabajo se realiza en tres partes:

- **Codificación abierta:** donde inicialmente, en la codificación abierta se generan códigos – categorías– generales que determinan los principales aspectos del tema estudiado.
- **Codificación axial:** se determinan las relaciones entre los códigos identificados para determinar las clases y las bases de los códigos.
- **Codificación selectiva:** es la relación conceptual y teórica que guardan entre sí los códigos o familias y que se concreta en la teorización”.

A partir de estas tres codificaciones se determinan las líneas de acción del marco de trabajo para las empresas del sector minero energético.

Etapas 2. Caracterización de los procesos

En esta etapa se describen en detalle los procesos de las empresas seleccionadas por medio de diferentes herramientas y diagramas, de manera que se puedan identificar las oportunidades de mejora de sus procesos, por lo que es de carácter cuantitativo y se aplican las siguientes actividades:

Recolección y sistematización de la información: Procesos y entrevistas con los gerentes de las empresas seleccionadas para organizar la información en diagramas de flujo y otros.

Mejoramiento de los procesos: Identificación de alternativas de mejoras en los procesos productivos, determinación de alternativas de mejoramiento de los recursos e insumos de un proceso productivos, de acuerdo con las normativas vigentes y formulación de acciones tendientes al mejoramiento de un proceso productivo, en función del mejoramiento de los indicadores de gestión, del uso de los recursos y sostenibilidad.

Medición de los flujos de materiales: Flujo de materiales, balance de masa y materia, donde puede usarse el diagrama de Sankey y análisis de balance de masa.

Explicación de los resultados: Realizar un análisis del material del sistema y determinar los principales hallazgos de los procesos actuales.

Etapas 3. Propuestas de Mejora de Resultados

En esta etapa se usan técnicas cuantitativas y cualitativas para establecer las tecnologías que permiten la mejora de los flujos de materiales. Se plantean tres actividades generales:

- **Establecer Mejoras:** Aplicar la vigilancia tecnológica para detectar y analizar los procesos. Inteligencia Tecnológica: Buscar un ambiente y una tecnología adecuada para cada proceso.
- **Previsión Tecnológica:** Anticiparse a posibles desarrollos futuros en tecnologías particulares.
- **Evaluación tecnológica:** Evaluar si las tecnologías incluidas generan una correcta sostenibilidad.
- **Gestión de los procesos tecnológicos:** Brindar información acerca de las tecnologías que los que toman decisiones.
- **Diseñar implementación de la tecnología:** Incluir la tecnología adecuada en los procesos.
- **Análisis de aspectos técnicos, económicos y ambientales:** mejoramiento y reducción de contaminación ambiental y desperdicios.

1.6 Alcances y resultados

Este trabajo está enfocado en la determinación de estrategias que permitan y colaboren en lograr la inclusión de la transicionalidad hacia la economía circular en dos empresas de jurisdicción de la CAR Cundinamarca del sector minero-energético, donde se analizan los flujos de materiales por medio de diferentes diagramas para finalmente, aplicar la metodología de mejoramiento de procesos y vigilancia tecnológica para determinar tecnologías disponibles aplicables a los procesos de las empresas analizadas. La implementación de las propuestas realizadas es decisión de las entidades de la CAR y no está incluida dentro del presente proyecto de investigación.

Conceptual: El presente proyecto se delimita conceptualmente dentro de la teoría fundamentada para el análisis cualitativo de los documentos que permite crear el marco de trabajo, además se usa el mejoramiento de procesos y el análisis de los flujos de materiales en el sector minero-energético.

Cronológica: Este trabajo se desarrolla en un tiempo de 12 meses de mayo de 2022 a mayo de 2023.

Geográfica: Este proyecto de grado se desarrolla en los municipios Cajicá y Sibaté de la jurisdicción de la CAR de Cundinamarca.

2 Establecimiento del marco de trabajo

En este capítulo se presenta el desarrollo del primer objetivo específico relacionado con la identificación de las líneas de acción priorizadas y los mecanismos normativos entre los municipios de la jurisdicción de la CAR de Cundinamarca en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la Estrategia Nacional de Economía Circular, indicadores y metas de la Política de crecimiento verde CONPES 3934 de 2016, que permitan establecer un marco de trabajo planteado para el trabajo de investigación desarrollado en este documento.

Esta identificación se desarrolló usando la teoría fundamentada en la cual “el investigador recoge, codifica y analiza datos en forma simultánea más no sucesiva, en un proceso metódico, sistemático e interpretativo, propio del paradigma cualitativo” (Bonilla & López, 2016), en esta técnica se deben realizar las fases de recolección, codificación y análisis de los datos, en forma simultánea. El proceso de codificación se realiza en tres partes: codificación abierta, axial y selectiva, donde inicialmente, en la codificación abierta se analizan cada una de las estrategias y normativas existentes en el sector minero energético relacionadas con la economía circular, luego en la codificación axial, se determinan los códigos que se denominarán las líneas de acción identificadas y luego, con la codificación selectiva se relacionan y priorizan estas líneas de acción con el fin de convertirse en el marco de trabajo necesario para incluir la transicionalidad de las empresas hacia la economía circular.

2.1 Análisis de la normatividad vigente -codificación abierta-

Se realizó el análisis de la normatividad vigente con el fin de identificar las líneas de acción priorizadas y los mecanismos normativos que sean aplicables a los municipios de la jurisdicción de la CAR de Cundinamarca, comenzando con la identificación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS en los cuales se encuentra enfocado este proyecto. Los ODS son en total 17 y están encaminados en lograr erradicar el hambre y la pobreza, proteger el planeta y la seguridad la prosperidad para todos, para este proyecto aplican principalmente los ODS relacionados con la protección del planeta desde la mejora de las actividades mineras y el consumo energético de las entidades que hacen parte de la CAR de Cundinamarca.

En particular el ODS 7, que se denomina Energía asequible y no contaminante y las metas 7.2 aumentar la proporción de energía renovable y la 7.3 aumentar la eficiencia energética, y el ODS 13 –Acción por el clima– a través de su meta 13.3 relacionada con crear conocimiento y capacidad para la lucha contra el cambio climático. De acuerdo con lo anterior, se determinaron las primeras codificaciones abiertas con base en el documento CONPES 3918: Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible –ODS– en Colombia (DNP, 2016), donde se realizó la primera codificación para identificar líneas de acción relevantes en relación con la

aplicación de los ODS en el país, de esta manera se comienza a delinear un marco de trabajo desde los ODS a nivel internacional para que pueda ser aplicado a nivel nacional, con base en la aplicación de la teoría fundamentada para ir de lo general a lo particular. La codificación abierta del documento CONPES 3918: Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible –ODS– en Colombia (DNP, 2016), junto con los códigos identificados se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Codificación abierta CONPES 3918

Documento	CONPES 3918: Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia		
Numeral	Página	Cita textual	Código
5	30	La inclusión de objetivos que promueven la conservación ambiental y el uso eficiente de recursos, así como el crecimiento económico sostenible, convoca a trabajar de manera sostenida y estrecha a países que antes no tenían agendas de trabajo conjuntas.	Conservación ambiental
			Uso eficiente de recursos
			Crecimiento económico sostenible
5.3.1	34	Indicador nacional: cobertura de energía eléctrica (% de viviendas)	Cobertura de energía eléctrica
		Indicador nacional: reducción de emisiones totales de gases efecto invernadero (%)	Reducción de emisiones
5.3.4	48	Transformación hacia sociedades sostenibles y resilientes	Sociedades sostenibles y resilientes

Fuente: Elaboración propia con base en DNP (2016)

El análisis del documento CONPES 3918 permitió identificar seis códigos base para la determinación y priorización de las líneas de acción en relación con: conservación ambiental, uso eficiente de recursos, crecimiento económico sostenible, cobertura de energía eléctrica, reducción de emisiones y sociedades sostenibles y resilientes. Estas líneas se identificaron teniendo en cuenta su relación con el sector minero-energético, dado que, este es el sector que se analiza en este documento y con el fin de ser aplicadas en pymes de este sector en la jurisdicción de la CAR.

El siguiente documento analizado fue la Estrategia Nacional de Economía Circular (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019), el cual está enfocado en “promover la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas y el uso circular de los flujos de materiales” (p. 8), se realizó la lectura y análisis del documento y se identificaron otros códigos asociados con la transicionalidad hacia la economía circular, esta identificación de códigos se realiza con el fin de lograr la aplicación de esta estrategia en empresas del sector minero-energético, como se mencionó anteriormente, para llevar la estrategias a acciones tácticas en las empresas que apoyen la transicionalidad hacia la economía

circular. La codificación abierta del documento Estrategia Nacional de Economía Circular (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019), junto con los códigos identificados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Codificación abierta Estrategia Nacional de Economía Circular

Documento	Estrategia Nacional de Economía Circular		
Numeral	Página	Cita textual	Código
Resumen	8	Además de estos mecanismos de gestión y política pública, se enfatizan, a partir del diagnóstico del metabolismo de la economía colombiana, seis líneas de acción: (i) flujo de materiales industriales y productos de consumo masivo (ii) flujos de materiales de envases y empaques; (iii) flujos de biomasa; (iv) fuentes y flujos de energía, (v) flujo del agua; y (vi) flujos de materiales de construcción.	Fuentes y flujos de energía
			Flujo del agua
	9	Los beneficios ambientales incluyen la reducción en la extracción de materias primas, disminuyendo la presión sobre los recursos naturales y los servicios ecosistémicos, la transición de un consumo energético basado en combustibles fósiles a uno con mayor participación de energías renovables; la reducción de residuos y emisiones de gases de efecto invernadero, conservación de fuentes de recursos y uso eficiente del agua (Ellen MacArthur Foundation, 2014).	Reducción en la extracción de materias primas
			Transición de un consumo energético basado en combustibles fósiles
			Reducción de emisiones
1.1	11	La Estrategia nacional de economía circular del Gobierno Nacional propende por un nuevo modelo de desarrollo económico que incluye la valorización continua de los recursos, el cierre de ciclos de materiales, agua y energía, la creación de nuevos modelos de negocio, la promoción de la simbiosis industrial y la consolidación de ciudades sostenibles, con el fin, entre otros, de optimizar la eficiencia en la producción y consumo de materiales, y reducir la huella hídrica y de carbono	Conservación de fuentes de recursos y uso eficiente del agua
			Valorización continua de los recursos
			Agua y energía
			Consolidación de ciudades sostenibles
			Eficiencia en la producción y consumo de materiales
			Reducir la huella hídrica
	14	La Estrategia nacional de economía circular reconoce varios indicadores propuestos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -OCDE para examinar el avance de los países en el marco de las evaluaciones de	Intensidad en el consumo de materiales y la intensidad energética

Documento	Estrategia Nacional de Economía Circular		
Numeral	Página	Cita textual	Código
		desempeño ambiental, como: la intensidad en el consumo de materiales y la intensidad energética, las emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) por habitante, la tasa de aprovechamiento de residuos o la tasa de reciclaje, la huella ecológica por habitante por hectárea, el porcentaje de reutilización de agua y el porcentaje de aprovechamiento de biomasa	Huella ecológica por habitante por hectárea Porcentaje de reutilización de agua
2.2	23	Ciudades sostenibles: los centros urbanos integran ciclos productivos y contribuyen al uso inteligente de productos, materiales, agua y energía a escala ciudad-región.	Uso inteligente de agua y energía
2.3	26	La reducción en el uso de materiales, agua y energía aumenta la capacidad de suministro, asimilación y recuperación, y mejora la condición de los ecosistemas y los activos ambientales, entendidos como el capital natural del país	Reducción en el uso de materiales, agua y energía
		A su vez, el modelo circular disminuye la presión sobre los recursos naturales no renovables, reduce la generación de emisiones y residuos descargados en el ambiente, reemplaza materiales no renovables por biodegradables, aumenta el uso de energía a partir de fuentes renovables y contribuye a la conservación de fuentes hídricas mediante el uso eficiente del agua.	Reducción de emisiones
			Reemplaza materiales no renovables por biodegradables
			Conservación de fuentes hídricas
5.2.5	61	Por otra parte, la política definió el objetivo de calidad, el cual se enfoca en mejorar la calidad del agua y minimizar la contaminación del recurso hídrico	Uso eficiente del agua
			Minimizar la contaminación del recurso hídrico
	62	El Decreto 3930 de 2010, compilado en el Decreto 1076 de 2015, promueve el reúso de aguas residuales a través de los planes de reconversión a tecnologías limpias en gestión de vertimientos	Reúso de aguas residuales Reconversión a tecnologías limpias en gestión de vertimientos

Fuente: Elaboración propia con base en MinAmbiente (2019)

El análisis del documento Estrategia Nacional de Economía Circular permitió identificar 23 códigos base para la determinación y priorización de las líneas de acción, algunos de los cuales se repiten y otros se encuentran también en el documento CONPES 3918. También se encontraron en este documento algunos mecanismos normativos importantes en el sector energético relacionados con la Ley 1715 de 2014, la cual “...regula la integración de las energías renovables

no convencionales al sistema energético nacional, la Resolución 41286 de 2016, por medio de la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2017-2022 para el desarrollo del Plan de acción indicativo de eficiencia energética Proure, las Resoluciones 1988 de 2017 y 0367 de 2018, donde se adoptan como metas ambientales las metas indicativas de eficiencia energética, acorde al Proure 2017-2022” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

También se analizó la Política de Crecimiento Verde en el CONPES 3934 de 2018 (DNP, 2018), la cual está enfocada a “Impulsar a 2030 el aumento de la productividad y la competitividad económica del país, al tiempo que se asegura el uso sostenible del capital natural y la inclusión social, de manera compatible con el clima” (p. 7). Igualmente, se realizó la lectura y análisis del documento y se identificaron otros códigos asociados con la transicionalidad hacia la economía circular que permita aplicar principios de economía verde en el sector minero-energético, los cuales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Codificación abierta CONPES 3934

Documento	CONPES 3934: Política de Crecimiento Verde		
Numeral	Página	Cita textual	Código
3.1.3	17	Reglamentar el Decreto 0570 de 2018, con el propósito de definir el mecanismo competitivo que promueva la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica.	Proyectos de generación de energía eléctrica
		Ajustar el Decreto 1076 de 2015, con el fin de no exigir el diagnóstico ambiental de alternativas para el licenciamiento ambiental de proyectos de exploración y uso de fuentes no convencionales de energía renovable solar, eólica y geotérmica.	Uso de fuentes no convencionales de energía
		Implementar mecanismos de precios asociados a las emisiones de CO ₂ por el uso de combustibles fósiles.	Reducción de emisiones
		Implementar el plan integral de gestión del cambio climático para el sector de minas y energía.	Gestión del cambio climático
		Fortalecer los servicios climáticos en el sector de energía para mitigar los efectos climáticos en áreas priorizadas del país.	Mitigar los efectos climáticos
3.2.2	25	Desarrollar una estrategia para el fortalecimiento tecnológico dirigido a las CAR, basado en instrumentos de información para mejorar la gestión del recurso hídrico.	Gestión del recurso hídrico
3.3	33	Generar el direccionamiento para que, a través de los mecanismos o instancias adecuadas, se implemente la metodología para la identificación y medición de brechas de capital humano para el crecimiento verde.	Brechas de capital humano para el crecimiento verde

Fuente: Elaboración propia con base en DNP (2018)

El análisis del documento Política de Crecimiento Verde permitió identificar 7 códigos base para la determinación y priorización de las líneas de acción, algunos de los cuales se repiten y otros

se encuentran en los demás documentos analizados. Estos códigos están relacionados con el análisis de la transicionalidad hacia la economía circular enfocada en el sector minero-energético para poder ser aplicados en pymes de este sector que estén en la jurisdicción de la CAR.

2.2 Determinación de líneas de acción -codificación axial-

Con base en lo anterior, es posible determinar que, se identificaron un total de 36 códigos que son la base de las líneas de acción priorizadas en los documentos de política relacionados con la transicionalidad hacia la economía circular para el sector minero-energético, estos 36 códigos fueron analizados en detalle y clasificados de acuerdo con sus relaciones o duplicados, tal como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de los códigos identificados

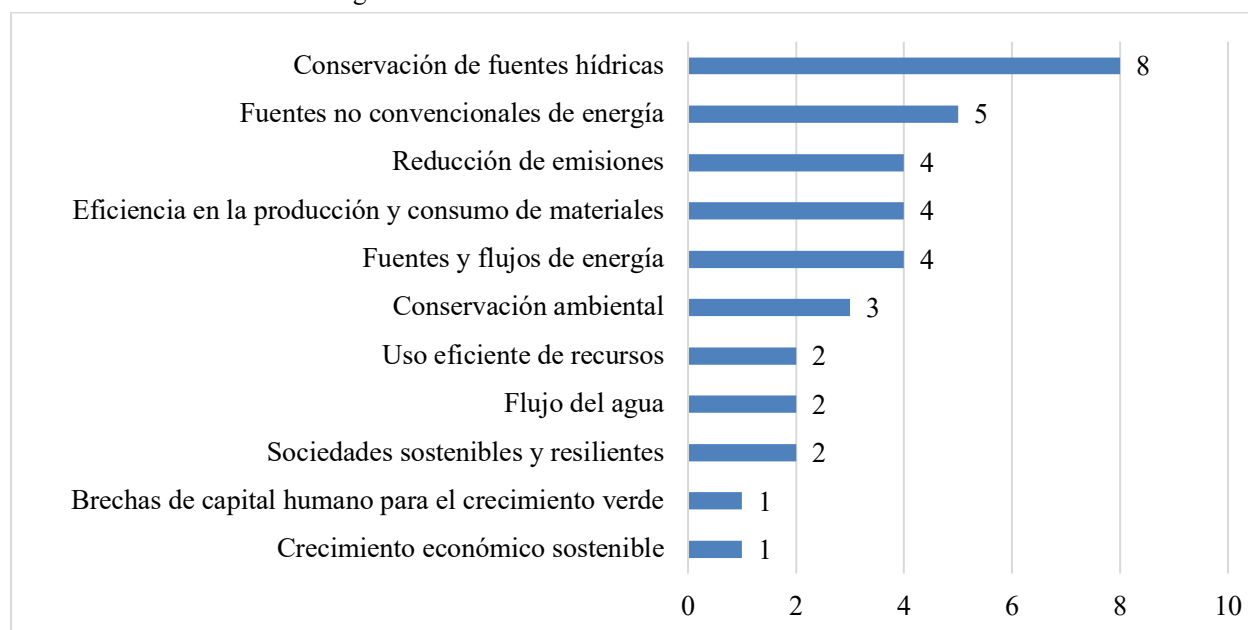
Línea de acción	Código
Conservación de fuentes hídricas	Reducir la huella hídrica
	Porcentaje de reutilización de agua
	Conservación de fuentes hídricas
	Uso eficiente del agua
	Conservación de fuentes de recursos y uso eficiente del agua
	Minimizar la contaminación del recurso hídrico
	Reúso de aguas residuales
	Gestión del recurso hídrico
Fuentes no convencionales de energía	Transición de un consumo energético basado en combustibles fósiles
	Uso de fuentes no convencionales de energía
	Proyectos de generación de energía eléctrica
	Reconversión a tecnologías limpias en gestión de vertimientos
	Reemplaza materiales no renovables por biodegradables
Eficiencia en la producción y consumo de materiales	Reducción en la extracción de materias primas
	Reducción en el uso de materiales, agua y energía
	Huella ecológica por habitante por hectárea
	Eficiencia en la producción y consumo de materiales
Reducción de emisiones	Reducción de emisiones
	Reducción de emisiones
	Reducción de emisiones
	Reducción de emisiones
Fuentes y flujos de energía	Cobertura de energía eléctrica
	Uso inteligente de agua y energía
	Intensidad en el consumo de materiales y la intensidad energética
	Fuentes y flujos de energía
Conservación ambiental	Conservación ambiental
	Gestión del cambio climático
	Mitigar los efectos climáticos

Línea de acción	Código
Uso eficiente de recursos	Uso eficiente de recursos
	Valorización continua de los recursos
Sociedades sostenibles y resilientes	Sociedades sostenibles y resilientes
	Consolidación de ciudades sostenibles
Flujo del agua	Flujo del agua
	Agua y energía
Crecimiento económico sostenible	Crecimiento económico sostenible
Brechas de capital humano para el crecimiento verde	Brechas de capital humano para el crecimiento verde

Fuente: Elaboración propia con base en DNP (2018)

De los 36 códigos identificados se encontraron 11 categorías, estas son las que se toman como líneas de acción enfocadas en el sector minero-energético, dado que, son las que se determinaron para apoyar la transicionalidad hacia la economía circular en pymes de este sector en los municipios de la jurisdicción de la CAR. Se puede observar que, cada categoría o línea de acción cuenta con diferentes códigos asociados, por lo cual se realizó un análisis de frecuencia con el fin de determinar la importancia de cada una, y de esta manera poder priorizar las que se consideran más importantes en el sector minero-energético. Este análisis se muestra en la Figura 3, esta frecuencia se tomó de la cantidad de códigos asociados a cada línea de acción identificada.

Figura 3. Frecuencia de las líneas de acción identificadas

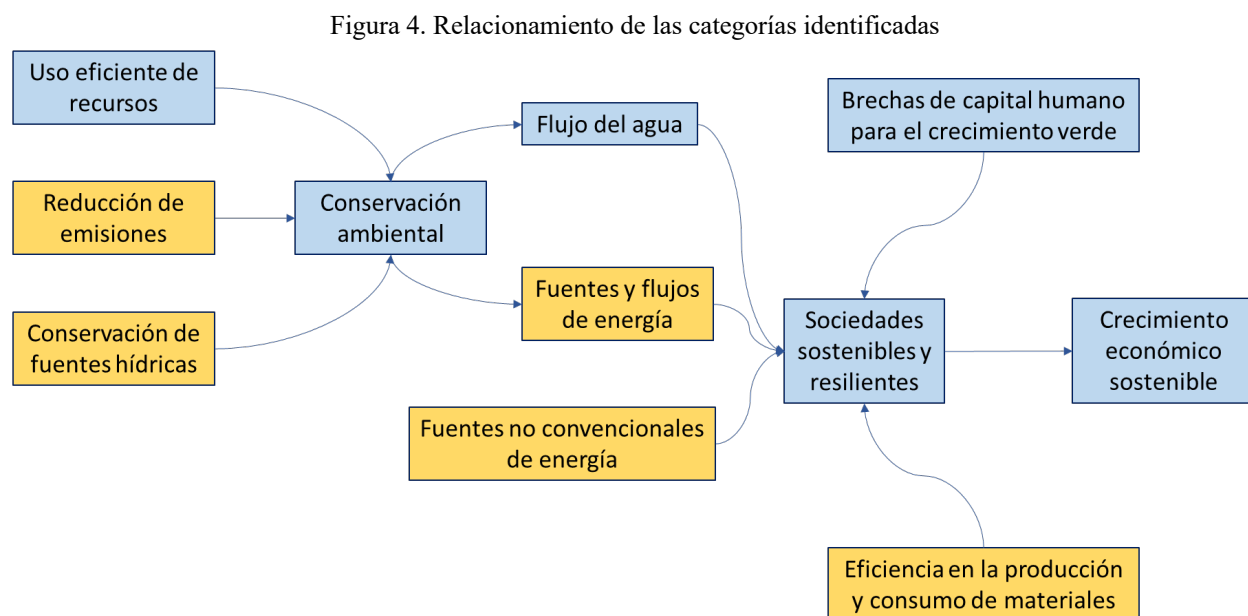


Fuente: Elaboración propia con base en (DNP, 2018), (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019) y (DNP, 2016)

Se puede observar mediante la figura 3, que las categorías con mayores frecuencias son la conservación de fuentes hídricas, fuentes no convencionales de energía, reducción de emisiones, eficiencia en la producción y consumo de materiales y fuentes y flujos de energía, es decir, que estas son las que mayor importancia tienen en el sector minero-energético de acuerdo con el análisis realizado, por lo tanto, son las líneas de acción priorizadas para su aplicación como marco de trabajo en las pymes de este sector.

2.3 Relacionamiento de las líneas de acción priorizadas

Continuando con la codificación axial de acuerdo con la teoría fundamentada, se realizó el análisis del relacionamiento de las líneas de acción que fueron identificadas en el numeral anterior y en color amarillo se resaltan las líneas de acción priorizadas, a partir de ello, se analizaron las relaciones entre estas categorías de manera que se puedan identificar las líneas de acción priorizadas para la transicionalidad hacia la economía circular. Este análisis de relacionamiento se muestra en la figura 4.



Fuente: Elaboración propia con base en DNP (2018), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019) y DNP (2016)

La figura 4, permite evidenciar el relacionamiento existente entre las categorías identificadas, donde se muestra que el uso eficiente de recursos, la reducción de emisiones y la conservación de fuentes hídricas son categorías que van a aportar a la conservación ambiental, es decir, si se usan eficientemente los recursos, se reducen las emisiones y se conservan las fuentes hídricas, la conservación ambiental como parte importante de la economía circular también va a mejorar.

Igualmente, una mejor conservación ambiental permitirá mejorar el flujo del agua y de energía que son importantes para tener sociedades sostenibles y resilientes. Por otro lado, para tener este tipo de sociedades, se requiere mejorar la eficiencia en la producción y consumo de materiales, lograr la transformación a fuentes de energía no convencionales y disminuir las brechas de capital humano para el crecimiento verde. Finalmente, estas categorías van a permitir que se tenga un crecimiento económico sostenible que es el objetivo final de la transicionalidad hacia la economía circular.

2.4 Definición de líneas de acción priorizadas -codificación selectiva-

De acuerdo con la codificación selectiva de la teoría fundamentada, una vez se ha realizado la codificación axial es posible determinar el marco de trabajo para lograr la transicionalidad hacia la economía circular por parte de las entidades adscritas a la CAR de Cundinamarca en el sector minero-energético, por lo cual en este marco de trabajo se delimitan y definen las líneas de acción priorizadas de acuerdo con el análisis y la codificación realizada.

Línea de acción - conservación de fuentes hídricas: se refiere a la implementación de acciones para reducir la huella hídrica y el porcentaje de reutilización de agua, además del uso eficiente del agua, que permitan minimizar la contaminación del recurso hídrico, implementar el reúso de aguas residuales para lograr la gestión eficiente del recurso hídrico.

Línea de acción – fuentes no convencionales de energía: se refiere a la implementación de acciones para lograr una transición de un consumo energético basado en combustibles fósiles, por medio del uso de fuentes no convencionales de energía, proyectos de generación de energía eléctrica, reconversión a tecnologías limpias en gestión de vertimientos y reemplazar materiales no renovables por biodegradables.

Línea de acción – reducción de emisiones: se refiere a la implementación de acciones para lograr que se disminuyan las emisiones totales de gases efecto invernadero como parte de las metas propuestas dentro de los ODS en particular el ODS 7, que se denomina Energía asequible y no contaminante y las metas 7.2 aumentar la proporción de energía renovable y la 7.3 aumentar la eficiencia energética.

Línea de acción - fuentes y flujos de energía: se refiere a la implementación de acciones para lograr una conservación ambiental que permite mejorar las fuentes y flujos de energía haciendo la aplicación efectiva de mecanismos normativos, como los descritos en la Ley 1715 de 2014, Resolución 41286 de 2016, Resoluciones 1988 de 2017 y 0367 de 2018.

Línea de acción - eficiencia en la producción y consumo de materiales: se refiere a la implementación de acciones para lograr la reducción en la extracción de materias primas en el uso de materiales, agua y energía y en la huella ecológica por habitante por hectárea.

A partir de las líneas de acción descritas y que fueron definidas como marco de trabajo para la transicionalidad hacia la economía circular, y una vez se hayan caracterizado los procesos se proponen como base para realizar el análisis de la factibilidad de la incorporación de tecnologías disponibles para las empresas de los municipios en la jurisdicción de la CAR y plantear las alternativas correspondientes. Es importante señalar que, este análisis permitió ir de lo general a lo particular, de las estrategias internacionales como los ODS, hacia las nacionales, luego a los sectores, que para este caso es el sector minero-energético el cual es el objeto de estudio. De esta manera, para el análisis de los procesos actuales de las empresas se aplican estas líneas de acción priorizadas, teniendo en cuenta las que apliquen a cada empresa de acuerdo con los procesos y productos que ofrecen.

3 Caracterizar los procesos de las empresas del sector minero energético

En este capítulo se desarrolla el segundo objetivo específico del presente proyecto y tiene como finalidad caracterizar los procesos de producción en empresas del sector minero-energético en los municipios de la jurisdicción CAR, en relación con los incentivos que ofrece el marco normativo y regulatorio a nivel nacional establecido en la Estrategia Nacional de Economía Circular, enfocado en la empresa Ecomarmato y Asmincol, las cuales se seleccionaron de acuerdo con su disponibilidad para participar del estudio de una lista de empresas proporcionada por la CAR.

El capítulo se ha organizado de la siguiente manera en primer lugar, se presenta la empresa Ecomarmato en donde se describe la compañía, las líneas de acción aplicables a esta empresa y con base en estas líneas identificadas se analizan los procesos por medio de diagrama de flujo, balance de masa y diagrama de Sankey, luego, se presenta la empresa Asmincol siguiendo el mismo contenido que con la primera. Finalmente, el capítulo resume los principales hallazgos de cada una de las organizaciones que son la base para el planteamiento de las alternativas de solución a través de la aplicación de tecnologías.

3.1 Ecomarmato y el aprovechamiento de la biomasa vegetal

De acuerdo con información secundaria de la página web de la empresa¹ se presenta la misión y la visión de la empresa Ecomarmato, la cual está enfocada en la producción de alternativas energéticas al carbón por medio del uso de la biomasa. Esta empresa se encuentra ubicada en el municipio de Cajicá que hace parte de la jurisdicción de la CAR Cundinamarca y se enfoca en una alternativa ecológica al carbón mineral.

La misión de la empresa es:

“Ecomarmato busca innovar en la creación de una nueva fuente de energía 100% renovable y limpia, ayudando a disminuir la contaminación por energías similares y a la mitigación del efecto invernadero, cuidado del medio ambiente y en especial a la NO tala de árboles, dejando como responsabilidad social un mejor futuro para las nuevas generaciones” (Ecomarmato , 2020).

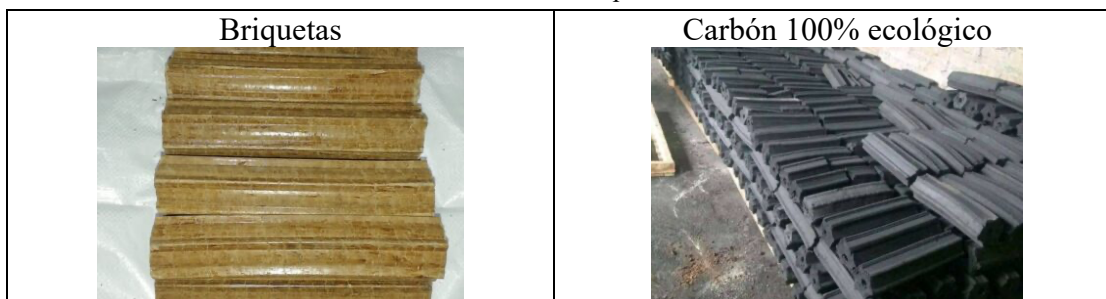
La visión de la empresa es:

“Ecomarmato será en el 2025 una empresa reconocida y pionera a nivel nacional en la fabricación de energía 100% renovable, ofreciendo a sus clientes un producto limpio y óptimo que contribuya con el cuidado del medio ambiente” (Ecomarmato , 2020).

¹ <https://ecomarmato.com/nosotros/>

La empresa tiene como productos briquetas y carbón 100% ecológico a partir de Biomásas, los cuales se muestran y describen a continuación –Ver tabla 5–.

Tabla 5. Productos de la empresa Ecomarmato



Fuente: (Ecomarmato , 2020) <https://ecomarmato.com/>

Las briquetas son elaboradas de biomásas de origen vegetal –que la empresa adquiere con algunos productores– especialmente para procesos industriales, chimeneas, fogatas, estufas y calderas, las materias primas son principalmente vegetación muerta, residuos de la industria agropecuaria y de la industria alimenticia. La empresa fabrica sus productos a partir de biomásas, las cuales pueden provenir de diferentes fuentes como se muestra en la figura 5.

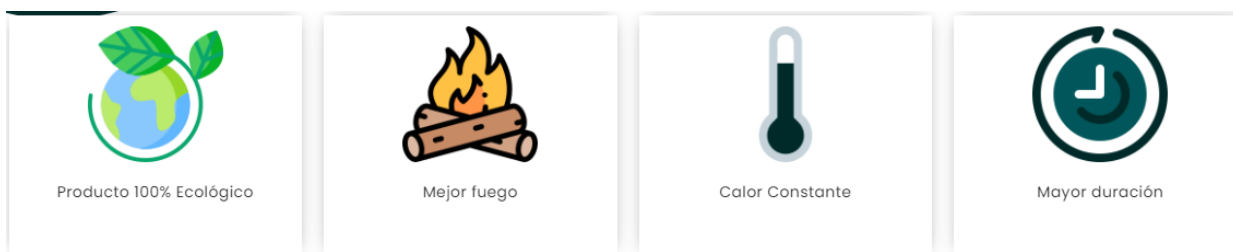
Figura 5. Materias primas de la empresa Ecomarmato



Fuente: (Ecomarmato , 2020) <https://ecomarmato.com/>

Los productos de la empresa tienen características particulares que los hacen interesantes como alternativas para las energías renovables, tal como se observa a continuación –Ver figura 6–

Figura 6. Características de los productos de Ecomarmato



Fuente: (Ecomarmato , 2020) <https://ecomarmato.com/>

Igualmente, los productos de la empresa y de acuerdo con la información proporcionada por la empresa, son las biomásas como fuente energética poseen algunas ventajas que vale la pena describir como son:

–Mientras que el carbón mineral es un recurso no renovable que tiene una extracción tan peligrosa como costosa, las briquetas vegetales son un recurso que no se agota ya que se elabora a partir de residuos vegetales que se encuentran en gran cantidad en el planeta.

–Su ciclo de carbono es neutro, pues el CO₂ liberado por la utilización de las briquetas a partir de biomasa es exactamente el mismo que las plantas han consumido de la atmósfera para generarla, por lo que las briquetas de biomasa se considera un carbono limpio.

–La briketa de biomasa vegetal no contamina y es ecológica, es ideal para procesos industriales, chimeneas, calderas, camping, cocinas rurales.

–El apoyo que brinda el estado colombiano a través de la ley 1715 del 13 de mayo de 2014 con el objeto de promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable.

De acuerdo con la Ley 1715 de 2014 “las Fuentes no convencionales de energía renovable – FNCER–. Son aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleadas o son utilizadas de manera marginal y no se comercializan ampliamente”.

3.1.1 Líneas de acción priorizadas Ecomarmato

De acuerdo con la descripción de la empresa, se identificaron las líneas de acción que son aplicables a la empresa de las que se mencionaron en el marco de trabajo realizado en el capítulo anterior del presente documento, esto con el fin de determinar adecuadamente las mejoras de sus procesos, las cuales se describen a continuación en la tabla 6.

Tabla 6. Líneas de acción priorizadas aplicables a la empresa Ecomarmato

Línea de acción priorizada	Descripción
Fuentes no convencionales de energía	Implementan acciones para introducir en el mercado una fuente de energía alternativa a las fuentes convencionales. Permite el análisis de los flujos de materiales a lo largo de todo su proceso productivo.
Fuentes y flujos de energía	Esta empresa se enfoca en ofrecer fuentes de energía y flujos de materiales como alternativa a la extracción y comercialización del carbón. Permite el análisis de los flujos energéticos a lo largo de su proceso productivo.
Reducción de emisiones	Esta empresa se enfoca en aplicar método y tecnologías para disminuir la reducción de emisiones. Permite el análisis de las emisiones producidas en el proceso de la empresa

Fuente: Elaboración propia

La empresa Ecomarmato aplica acciones que permiten enfocarla en tres líneas de acción priorizadas para la transicionalidad de las empresas hacia la economía circular, siendo una opción

importante para poder cerrar ciclos en el sector minero-energético que cuentan en la actualidad con una alta cantidad de desperdicios de biomasa y que pueden ser claramente aprovechables con las tecnologías propuestas en esta empresa, de manera que estas empresas puedan cerrar sus ciclos de producción y lograr la transformación hacia una economía circular enfocada en los ODS mencionados y en la aplicación de la normativa de economía circular actual. Además, estas líneas de acción son las que permiten el análisis detallado de los procesos de la empresa de manera que se puedan identificar oportunidades de mejora.

El análisis de los procesos se realiza con base en las tres líneas de acción priorizadas para la empresa Ecomarmato que son: fuentes de energía no convencionales, reducción de emisiones y fuentes y flujos de energía, para ello se utilizan tres herramientas de ingeniería a saber: diagrama de flujo, balance de masa y diagrama de Sankey, además, de analizar el proceso de pirólisis en detalle para determinar qué tipo de salidas existen en este proceso.

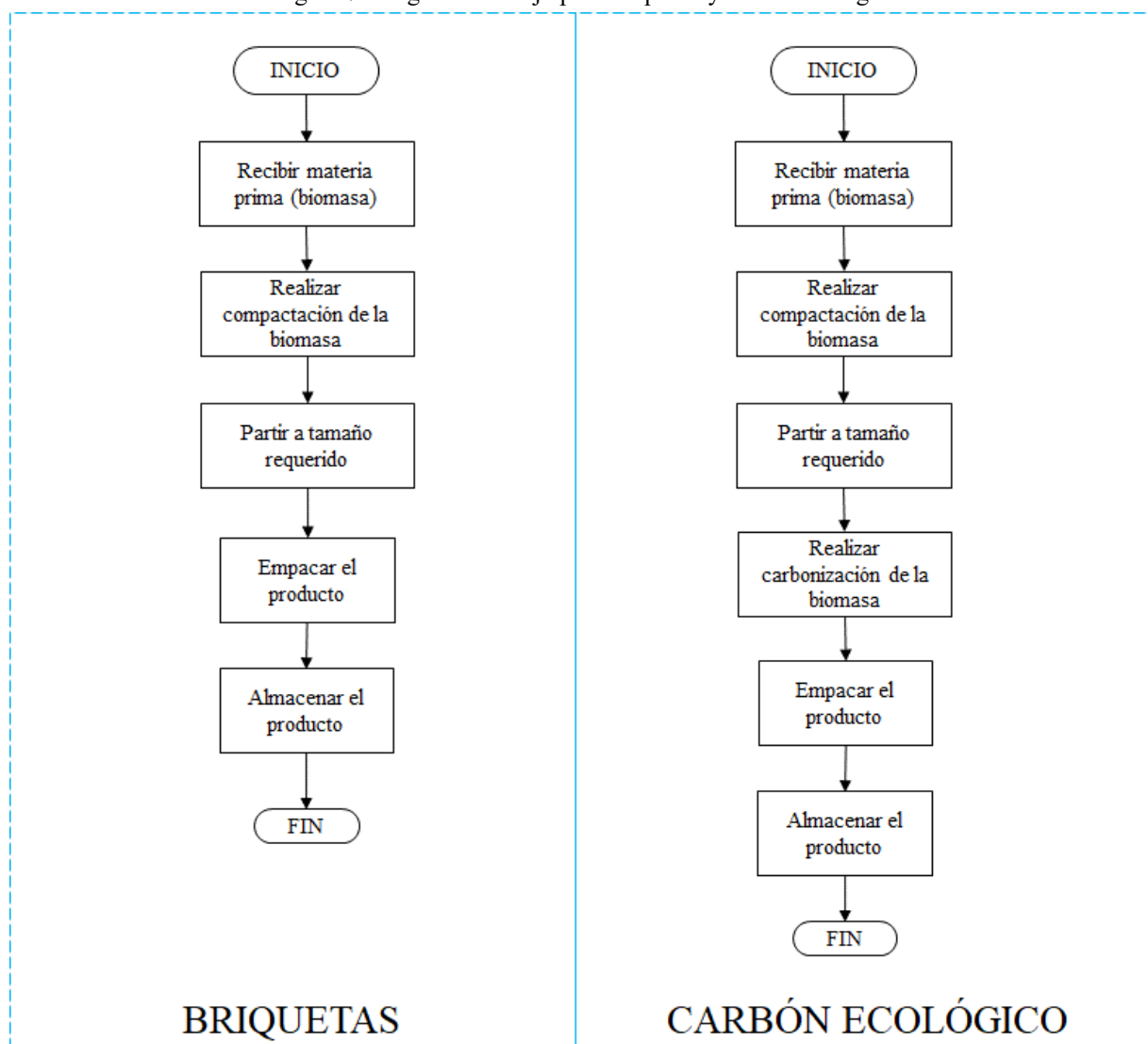
3.1.2 Fuentes de energía no convencionales

Para realizar el análisis de los productos de la empresa, los cuales se comercializan dentro de productos que son fuente de energía no convencionales, se realizó una recolección de información primaria por medio de una entrevista al Gerente de la empresa Ecomarmato (Castro, 2022) en la cual se indagó acerca de los procesos de producción de sus productos y de las áreas con las que cuenta actualmente. La empresa tiene contratados solo 4 empleados, 2 de planta que son los que realizan los procesos de transformación de la biomasa en las briquetas, 1 vendedor y 1 conductor –que se paga por horas–. Las funciones administrativas y de supervisión se realizan por parte de la familia del Gerente, sin embargo, en la actualidad ellos no reciben oficialmente un salario por sus labores.

Con base en la información recolectada en la entrevista, se realizaron los diagramas de flujo, los cuales se muestran a continuación, comenzando con el diagrama de flujo de los dos productos que fabrica la empresa briquetas de biomasa y carbón ecológico, donde se puede observar que, el proceso es muy similar se usan las mismas actividades, sin embargo, en la fabricación del carbón se agrega un proceso que se denomina pirólisis, que se refiere a la carbonización de la biomasa, sin dejar que llegue a la combustión.

Es importante mencionar que, estos dos productos de la empresa constituyen en sí mismos fuentes no convencionales de energía, en tanto que, son alternativas al uso de carbón que es una fuente convencional extraída de la naturaleza. Su ampliación en el mercado puede generar importantes aportes a la transicionalidad hacia la economía circular, que puede llegar a expandirse no solo en los municipios de la CAR Cundinamarca sino a nivel nacional, este proceso se puede observar en la Figura 7.

Figura 7. Diagrama de flujo para briquetas y carbón ecológico



Fuente: Elaboración propia con información de Ecomarmato (2023)

El proceso de carbonización de las briquetas para convertirlas en carbón ecológico se realiza por el proceso de pirólisis, este proceso es el que permite que se logre la carbonización de la biomasa para obtener el carbón vegetal 100% ecológico, que surge como una fuente de energía no convencional, como alternativa al carbón mineral cuyos procesos de extracción tienen un alto impacto ambiental negativo. Igualmente, permite eliminar el agua del producto y dejarlo como un carbón para ser una fuente de energía renovable, actualmente, la empresa cuenta con una planta de pirólisis que tiene una capacidad de 117 toneladas mensuales, sin embargo, actualmente no está funcionando a su máxima capacidad pues apenas está comenzando a expandir su mercado.

En el proceso de empaque se tiene que, para las briquetas se utiliza un caucho que permite agruparlas en paquetes de 10 briquetas, los cuales son almacenados en estantes mientras se realiza

en el envío del producto a los clientes. Para el caso del carbón ecológico si se utilizan empaques que son bolsas plásticas, donde la empresa tiene bolsas de 20 kg y 40 kg para la venta. Esto empaques mencionados se pueden observar en la Figura 8.

Figura 8. Almacenamiento y empaque para briquetas y carbón ecológico



Fuente: Ecomarmato (2023)

3.1.3 Fuentes y flujos de energía

Para analizar las fuentes y flujos de energía en el proceso de la empresa Ecomarmato, se realizó el balance de masa y el diagrama de Sankey para las briquetas y el carbón ecológico, tomando como dato de entrada 1 tonelada (1.000 Kg) de materia prima -biomasa-, que como se ha mencionado corresponde a la biomasa vegetal obtenida de diferentes fuentes.

Análisis para las Briquetas

Es importante mencionar que, aparte de la biomasa, la empresa no utiliza más materias primas, no se hace uso de agua, dado que, la biomasa al ser de origen vegetal cuenta con los componentes necesarios para el proceso. Con base en el diagrama presentado se aplican las ecuaciones relacionadas con el balance de masa obteniendo:

$$\text{Entrada total} = 1.000 \text{ Kg de biomasa vegetal}$$

$$\text{Salida total} = 100 \text{ Kg de agua} + 4.5 \text{ Kg de polvo de biomasa compactada} = 104.5 \text{ Kg}$$

$$\text{Balance de masa} = 1000 \text{ Kg} - 104.5 \text{ Kg} = 895.5 \text{ Kg briquetas}$$

De acuerdo con lo anterior, en la figura 9 se muestra el diagrama de balance de masa para las briquetas, que inicia con los 1.000 Kg de biomasa, que se reciben en la empresa, para luego, pasar al proceso de compactación o de prensado de alta presión. Este proceso es el que permite lograr que la biomasa quede compacta, la unión de los materiales se realiza por medio de un componente denominado lignina el cual ayuda a homogenizar la compactación para que no se desintegre la

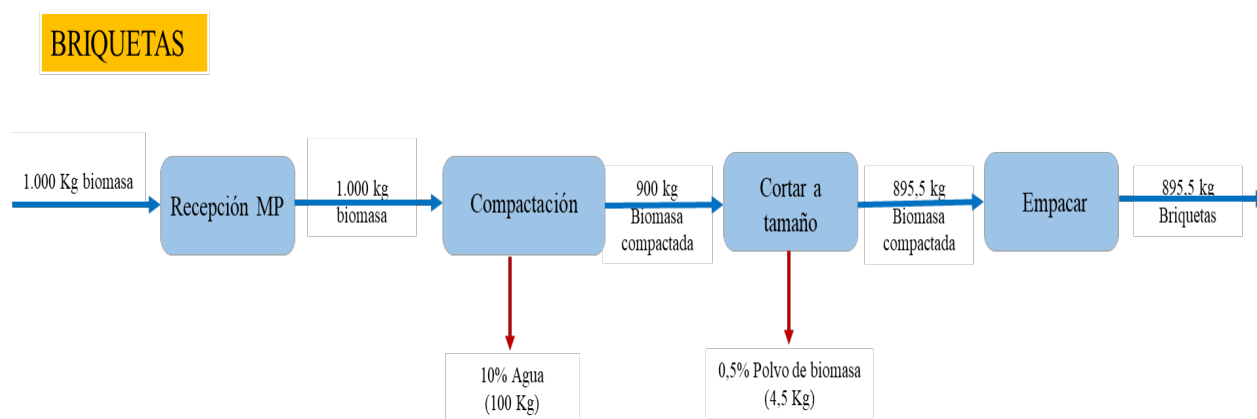
mezcla (Figuerola, 2015) y se obtenga un producto compacto que pueda ser comercializado. Igualmente, al realizar esta presión sobre la biomasa se elimina el agua del producto, por lo que este es una salida del proceso de compactación. Luego, en el proceso de corte a tamaño se tiene una pérdida del 0,5% que se refiere a polvo de biomasa que se produce al cortar la biomasa compactada en trozos al tamaño requerido.

$$\text{Salida compactación} = 1.000 \text{ Kg biomasa} - 100 \text{ Kg agua} = 900 \text{ Kg biomasa compactada}$$

$$\text{Salida corte} = 900 \text{ Kg} - 4.5 \text{ Kg} = 895.5 \text{ Kg briquetas}$$

Este diagrama permite determinar las pérdidas en cada actividad siguiendo el esquema del diagrama de flujo el cual se presenta a continuación.

Figura 9. Diagrama de balance de masa briquetas

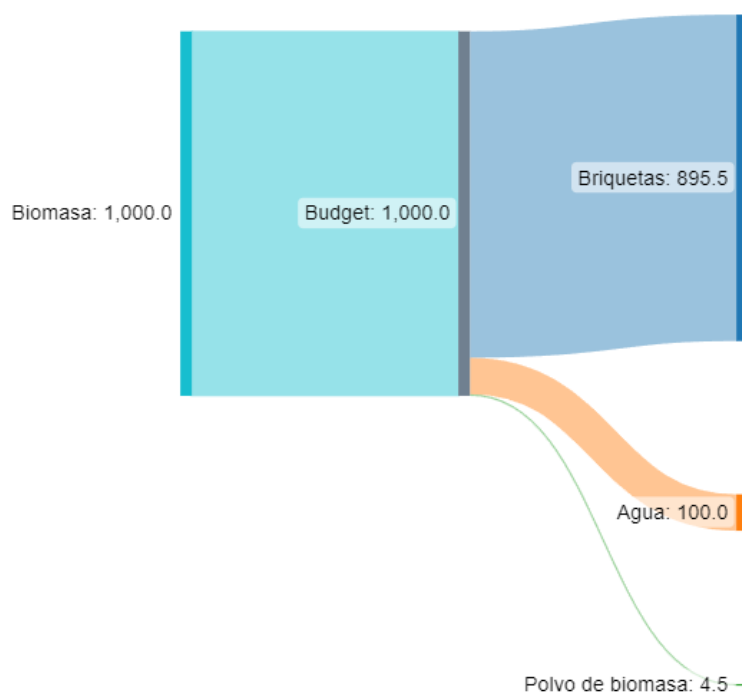


Fuente: Elaboración propia con información de Ecomarmato

De acuerdo con el diagrama presentado se tienen pérdidas en el proceso de compactación de 10% que corresponde al agua que se elimina de la biomasa para lograr un producto compacto y combustible que pueda ser usado como fuente de energía no convencional, al ser fabricado con residuos de otros procesos agroindustriales. Además, en el proceso de cortar a tamaño se tiene una pérdida de 0.5% donde se genera una especie de polvo que, de acuerdo con la información entregada por la empresa, se obtiene al cortar el producto compactado, pero no representa un porcentaje alto dentro del proceso.

Para analizar los resultados obtenidos se presenta el diagrama de Sankey, el cual muestra el flujo de materiales de la empresa teniendo en cuenta que, al proceso entra biomasa, y se convierte en briquetas, y del proceso se genera vapor de agua y polvo de biomasa el cual es devuelto al proceso y es aprovechado dentro del mismo, por lo que es una pérdida para el producto, pero no para el proceso en general.

Figura 10. Diagrama de Sankey para briquetas



Fuente: Elaboración propia con información de Ecomarmato

Se puede observar que, la empresa no cuenta con desperdicios en su proceso, dado que, al ser fabricado con biomasa vegetal y desperdicios de otras industrias todo el material puede ser aprovechado en el proceso. Existen pérdidas de materiales como agua y polvo de biomasa, sin embargo, el agua al obtenida de la compactación del producto no representa como tal un desperdicio de material, sino una pérdida asociada al proceso lo mismo ocurre con el polvo de biomasa.

Análisis para el carbón ecológico

Teniendo como base el análisis realizado para las briquetas, se presenta el análisis para la fabricación de carbón ecológico en la empresa Ecomarmato. Para el análisis también se toma como base la transformación de 1.000 Kg de biomasa vegetal.

$$\text{Entrada total} = 1.000 \text{ Kg de biomasa vegetal}$$

$$\begin{aligned} \text{Salida total} &= 100 \text{ Kg de agua} + 4.5 \text{ Kg de polvo de biomasa compactada} + 223.8 \text{ Kg agua} \\ &+ 59.6 \text{ Kg Co y CO}_2 + 30.1 \text{ Kg celulosa} = 417.9 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Balance de masa} = 1000 \text{ Kg} - 417.9 \text{ Kg} = 582,1 \text{ Kg carbón ecológico}$$

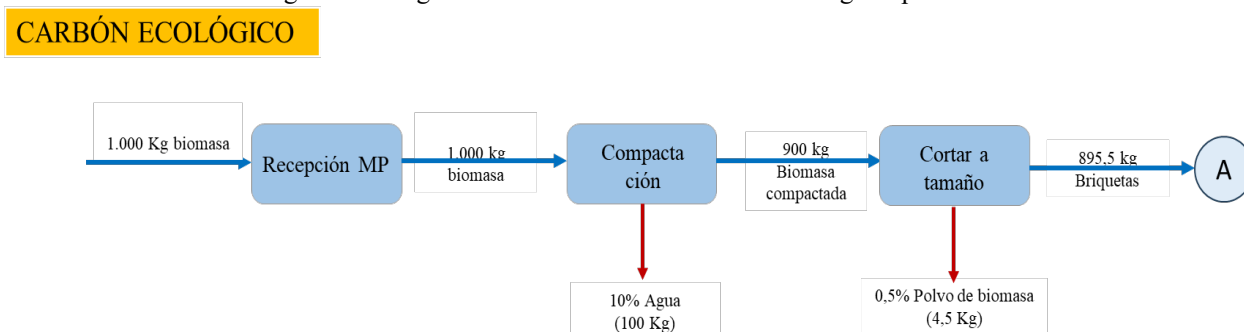
De acuerdo con lo anterior, en la figura 9 se muestra el diagrama de balance de masa para carbón vegetal, que inicia con los 1.000 Kg de biomasa, que se reciben en la empresa, donde se tienen las mismas pérdidas mencionadas en el balance de masa de las briquetas, dado que, es el mismo proceso.

$$\text{Salida compactación} = 1.000 \text{ Kg biomasa} - 100 \text{ Kg agua} = 900 \text{ Kg biomasa compactada}$$

$$\text{Salida corte} = 900 \text{ Kg} - 4.5 \text{ Kg} = 895.5 \text{ Kg briquetas}$$

Este diagrama permite determinar las pérdidas en cada actividad siguiendo el esquema del diagrama de flujo el cual se presenta a continuación.

Figura 11. Diagrama de balance de masa carbón ecológico -parte 1-



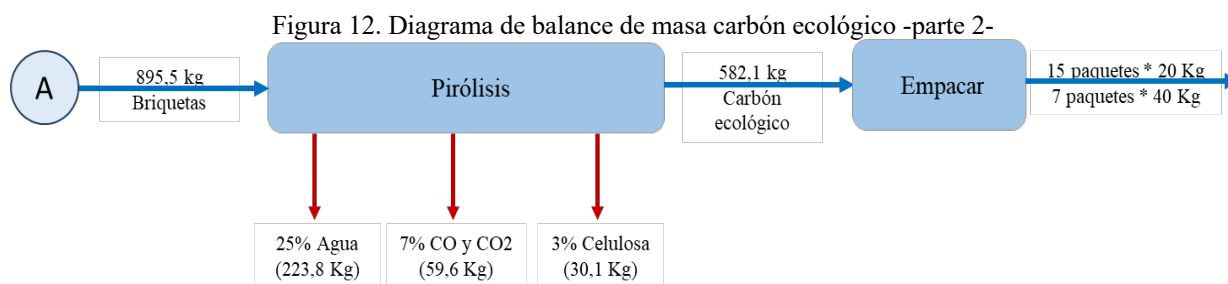
Fuente: Elaboración propia con información de Ecomarmato

Por otro lado, se tienen pérdidas en el proceso de pirólisis de un 35% de acuerdo con información de la empresa, sin embargo, para detallar este porcentaje en los subproductos que se obtienen fue necesario investigar fuentes secundarias. En este sentido, de acuerdo con Pinheiro (2017), se encontró que un 71,4% se debe a la evaporación del agua restante en el producto, un 19% a gases como CO₂, CO y un 9,6% a celulosa. Estos porcentajes se aplicaron al 35% de pérdidas informado por la empresa para poder realizar esta segunda parte del balance de masa obteniendo que, el 71,8% de 35% es un 25% del proceso total, el 19% de 35% es un 7% del total y el 9,6% de 35% es un 3% del total, con base en estos datos se realizó el balance de masa que se muestra en la Figura 12.

$$\text{Salida pirólisis} = 895.5 \text{ Kg briquetas} * 0,65 = 582.1 \text{ Kg}$$

$$\text{Salida pirólisis} = 223.8 \text{ Kg agua} + 59.6 \text{ Kg Co y CO}_2 + 30.1 \text{ Kg celulosa} = 313.4 \text{ Kg}$$

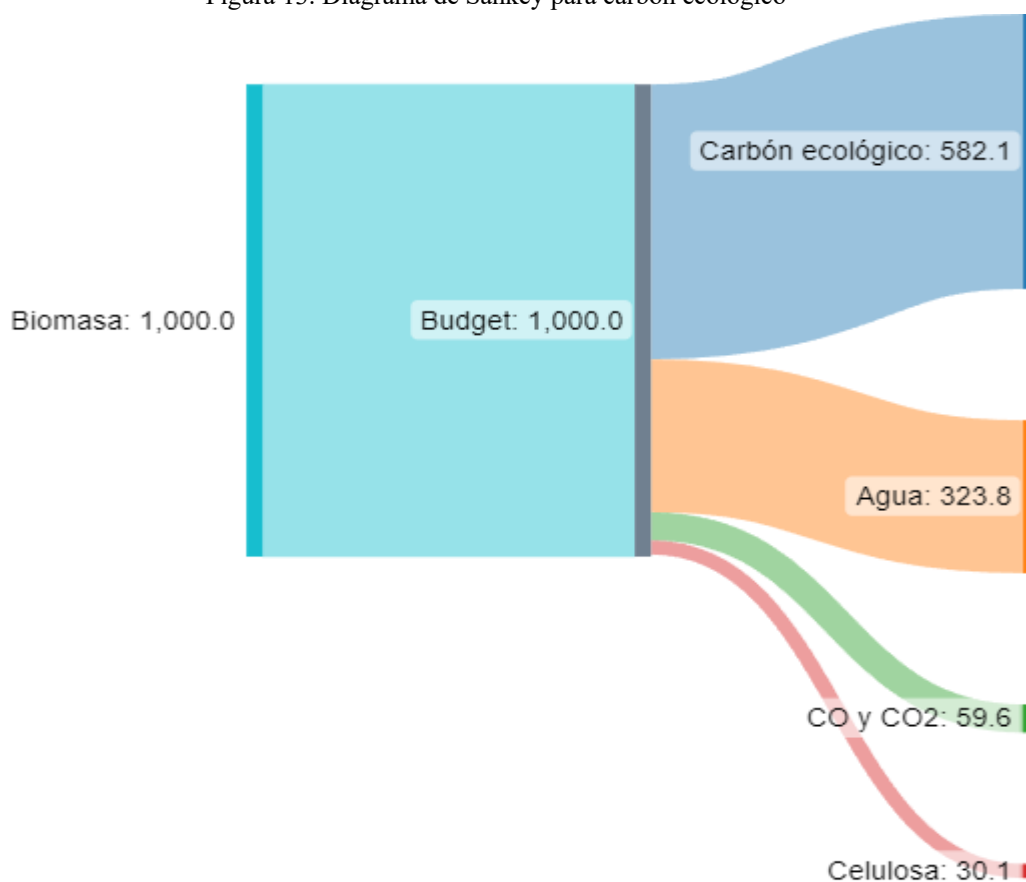
Se observa que, se tiene un porcentaje del 25% de agua que corresponde con a 223.8 Kg, el 7% de CO₂, CO corresponde a 59.6 Kg y un 9,6% a celulosa que corresponde a 30,1 Kg, como se muestra a continuación.



Fuente: Elaboración propia con información de Ecomarmato

Para analizar los resultados obtenidos se presenta el diagrama de Sankey, el cual muestra el flujo de materiales de la empresa teniendo en cuenta que, al proceso entra biomasa, y se convierte en carbón ecológico, y del proceso se genera vapor de agua y polvo de biomasa el cual es devuelto al proceso y es aprovechado dentro del mismo, por lo que es una pérdida para el producto, pero no para el proceso en general.

Figura 13. Diagrama de Sankey para carbón ecológico



Fuente: Elaboración propia con información de Ecomarmato

Se puede observar que, la empresa no cuenta con desperdicios en su proceso, dado que, al ser fabricado con biomasa vegetal y desperdicios de otras industrias todo el material puede ser

aprovechado en el proceso. Existen pérdidas de materiales como agua, gases y celulosa, sin embargo, se producen en el proceso de compactación y de pirólisis por lo que, no representa como tal un desperdicio.

3.1.4 Reducción de emisiones

En cuanto a la línea de acción priorizada y relacionada con la reducción de emisiones, se puede ver que, la empresa produce gases de efecto invernadero como el CO₂ en su proceso de producción de carbón ecológico, especialmente en el proceso de pirólisis, lo cual puede convertirse en una oportunidad de mejora del proceso.

3.2 Asmincol y la fabricación de ladrillo ecológico

De acuerdo con información secundaria de la página web de la empresa² se presenta la misión y la visión de Asmincol, la cual está enfocada en servicios para la minería y el medio ambiente para disminuir los impactos de estas actividades, además, de comercializar y fabricar productos para la construcción ecológicos.

La misión de la empresa es: “ASMINCOL S.A.S está especializado en servicios para la minería y el medio ambiente que por la experiencia del equipo de trabajo en este sector nos posiciona como una compañía aliada para nuestros clientes. El conocimiento de nuestro equipo facilita la entrega de un servicio a satisfacción de cualquier proyecto, que puede iniciar desde la etapa de planeación minera, hasta la reutilización de materiales ya procesados y que pueden ser reincorporados en los proyectos de infraestructura por que el CICLO AUN NO TERMINA.” (Asmincol, 2020).

La visión de la empresa es: “Es una empresa privada donde los accionistas trabajan en el negocio. Esto nos proporciona la capacidad de responder rápidamente, mientras que nuestros recursos nos permiten prestar servicios a proyectos de minería y ambientales de cualquier escala” (Asmincol, 2020).

La empresa ofrece como productos el ladrillo ecológico y un producto denominado cemento expansivo denominado RHYNOCEM el cual:

...es un cemento expansivo y un agente demolidor seguro y silencioso característico por su color gris en polvo con capacidad extremadamente expansiva que no requiere ningún tipo de permiso para su utilización y es ideal para trabajos en lugares cerrados y de difícil acceso (Asmincol, 2020).

² <https://asmincol.com/about/>

Además, la empresa ofrece servicios enfocados hacia soluciones de la minería y el medio ambiente, los cuales se muestran y describen a continuación en la figura 14.

Figura 14. Servicios ofrecidos por Asmincol



Fuente: (Asmincol, 2020) <http://asmincol.com/wp-content/uploads/2020/05/PORTAFOLIO-ASMINCOL.pdf>

3.2.1 Líneas de acción priorizadas Asmincol

De acuerdo con la descripción de la empresa, se identificaron las líneas de acción que son aplicables a la empresa con base en el marco normativo descrito en el capítulo 2, las cuales se describen a continuación en la tabla 7.

Tabla 7. Líneas de acción priorizadas aplicables a la empresa Asmincol

Línea de acción	Descripción
Eficiencia en la producción y consumo de materiales	Esta empresa está enfocada en la extracción de materias primas en el uso de materiales y energía por medio de una transición tecnológica hacia procesos de fabricación limpios y de bajo impacto. Permite analizar el proceso de la empresa en la fabricación del ladrillo ecológico.
Fuentes y flujos de energía	Esta empresa se enfoca en ofrecer alternativas a la fabricación de ladrillo que en la actualidad es un proceso que afecta el medio ambiente. Permite el análisis de los flujos energéticos a lo largo de su proceso productivo.
Conservación de fuentes hídricas	Acciones para generar un uso eficiente del agua, que permitan minimizar la contaminación del recurso hídrico, implementar el reúso de aguas residuales para lograr la gestión eficiente del recurso hídrico. Permite el análisis detallado del uso de agua en el proceso de la empresa.
Reducción de emisiones	Esta empresa se enfoca en aplicar método y tecnologías para disminuir la reducción de emisiones. Permite el análisis de las emisiones producidas en el proceso de la empresa

Fuente: Elaboración propia

La empresa Asmincol aplica acciones que permiten enfocarla en cuatro líneas de acción priorizadas para la transicionalidad de las empresas hacia la economía circular, de manera que estas empresas puedan cerrar sus ciclos de producción y lograr la transformación hacia una economía circular enfocada en los ODS mencionados y en la aplicación de la normativa de economía circular actual. Además, estas líneas de acción son las que permiten el análisis detallado de los procesos de la empresa de manera que se puedan identificar oportunidades de mejora.

El análisis de los procesos se realiza con base en las cuatro líneas de acción priorizadas para la empresa Asmincol que son: eficiencia en la producción y consumo de materiales, conservación de fuentes hídricas, reducción de emisiones y fuentes y flujos de energía, para ello se utilizan tres herramientas de ingeniería a saber: diagrama de flujo, balance de masa y diagrama de Sankey.

3.2.2 Eficiencia en la producción y consumo de materiales

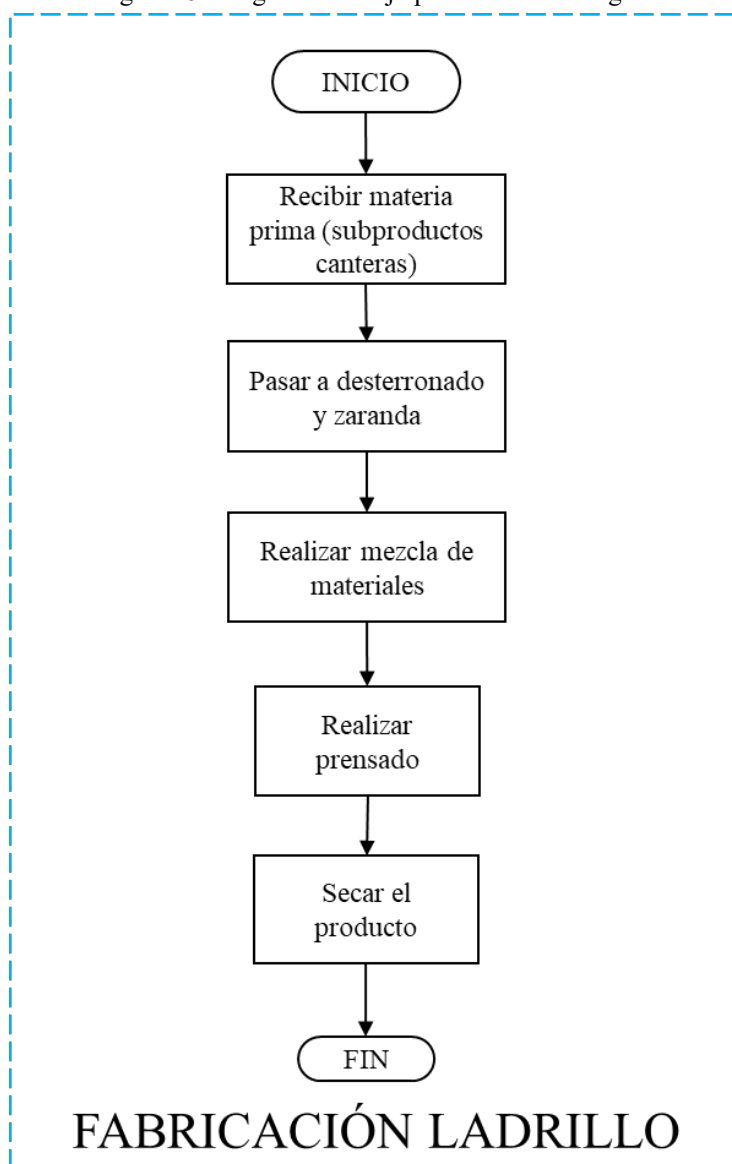
Para realizar el análisis de los productos de la empresa, los cuales se comercializan para mejorar la eficiencia en la producción y consumo de materiales, se realizó una recolección de información primaria por medio de una entrevista al Gerente de la empresa Asmincol (Ospina, 2023), en la cual se indagó acerca de los procesos de producción de sus productos y de las áreas con las que cuenta actualmente. La empresa tiene contratados entre 6 y 10 personas dependiendo de la producción, mensualmente se producen 28.000 unidades los cuales venden a casas campestres principalmente.

La materia prima de la empresa para la fabricación de su producto ladrillo ecológico son residuos de canteras llamados estériles, y subproductos industriales, que se reciben en la empresa debido a que, estos son residuos no utilizables en los procesos de minería. Al igual que ocurre con la biomasa en la empresa Ecomarmato, los residuos de canteras actualmente son considerados como un problema ambiental teniendo en cuenta que se producen en una gran cantidad y no son aprovechables dentro del proceso de las canteras (CDE, 2022).

Con base en la información recolectada en la entrevista, se realizaron los diagramas de flujo, que permiten evidenciar el flujo de materiales en la fabricación de ladrillo ecológico a base de residuos de canteras y subproductos industriales, que incluyen los procesos realizados que son desterronado, zaranda, mezcla de materiales, prensado, secado y almacenamiento.

Para el proceso de la empresa se cuenta con una máquina desterronadora, una máquina de zaranda y una prensa que son las que permiten fabricar el producto mencionado. Esta información permite presentar el diagrama de flujo del ladrillo ecológico que fabrica la empresa que se puede observar en la Figura 15.

Figura 15. Diagrama de flujo para ladrillo ecológico



Fuente: Elaboración propia con información de Asmincol

El proceso de fabricación de ladrillos ecológicos utiliza cuatro máquinas: desterronadora, zaranda, mezcladora y prensa con las cuales realizan el proceso. La empresa indica que, el proceso que realizan no tiene desperdicios o pérdidas, pues todo el material que ingresa como materia prima es utilizado en el proceso, el prensado del material y el proceso diseñado permiten el aprovechamiento de todo el material que se recibe en la empresa. Vale la pena indicar que, una vez el ladrillo está listo, no se utilizan empaques para el producto, pues se almacena en bodegas y se entrega a los clientes transportándolo en camionetas o en el vehículo del cliente, sin necesidad de usar empaques, como se puede observar en la Figura 16.

Figura 16. Ladrillo ecológico fabricado en Asmincol



Fuente: Asmincol (2023)

La empresa en su proceso de fabricación de ladrillo ecológico realiza el aprovechamiento de los estériles de las canteras de minería como se mostró en la Figura 15, por lo que, permite la disminución de estos recursos y ser una empresa que puede aportar en la transicionalidad hacia la economía circular, desde el aprovechamiento de residuos y también desde la disminución del uso de ladrillo tradicional, el cual también genera impacto ambientales negativos (Carrasco & Tinoco, 2018).

3.2.3 Fuentes y flujos de energía

Para analizar las fuentes y flujos de energía en el proceso de la empresa Asmincol, se realizó el balance de masa y el diagrama de Sankey para la fabricación del ladrillo ecológico, tomando como dato de entrada 1 tonelada (1.000 Kg) de materia prima - residuos de canteras y subproductos

industriales -, que como se ha mencionado corresponde a materiales arenosos y arcillosos que ya no pueden ser utilizados en las minas, con al cual se producen 1.000 ladrillos ecológicos.

Es importante mencionar que, la empresa hace uso de agua, para el proceso cuando se realiza la mezcla de ingredientes antes del prensado del ladrillo de tipo ecológico, la empresa indicó que esta agua la toman del acueducto, por medio del abastecimiento normal que tienen las instalaciones de la empresa, y solo se toma la que se requiere para el proceso por lo cual no se considera que exista contaminación de fuentes hídricas. Además, para la fabricación del ladrillo, se adiciona cemento y un aditivo en las cantidades que se muestran en la tabla:

Tabla 8. Materias primas para la elaboración de 1.000 ladrillos ecológicos

Entrada	Cantidad
Materias primas	1.000 Kg
Agua	36.2 Kg
Cemento	103.5 Kg
Aditivo	9.7 Kg

Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa

Los datos presentados anteriormente se utilizan para realizar los cálculos de las entradas y salidas del sistema y así poder determinar el balance de masa, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

$$\text{Entrada total} = 1.000 \text{ Kg de materias primas} + 37.1 \text{ Kg agua} + 105.9 \text{ Kg cemento} + 10 \text{ Kg aditivo} = 1.152,9 \text{ Kg}$$

$$\text{Salida total} = 190,4 \text{ Kg material particulado} + 14,4 \text{ Kg de mezcla} + 66,4 \text{ Kg agua evaporada} = 271,2 \text{ Kg}$$

$$\text{Balance de masa} = 1.152,9 \text{ Kg} - 271,2 \text{ Kg} = 881,7 \text{ Kg ladrillo ecológico}$$

De acuerdo con lo anterior, en la figura 17 se muestra el diagrama de balance de masa para el ladrillo ecológico que inicia con la entrada de 1.000 Kg de materias primas -residuos de canteras y subproductos industriales-. Luego en el proceso de recepción de materias primas no se tienen pérdidas, pero si en el proceso de desterronado, donde hay pérdidas de un 5% en material particulado³ que se expulsa directamente de la máquina desterronadora, al igual que un 14.8% de este material que se produce en la máquina de zaranda. En este proceso también se tiene una pérdida de energía térmica debido a que la empresa cuenta con una zaranda vibratoria que genera que las partículas tengan fricción y en este proceso se genera esta pérdida.

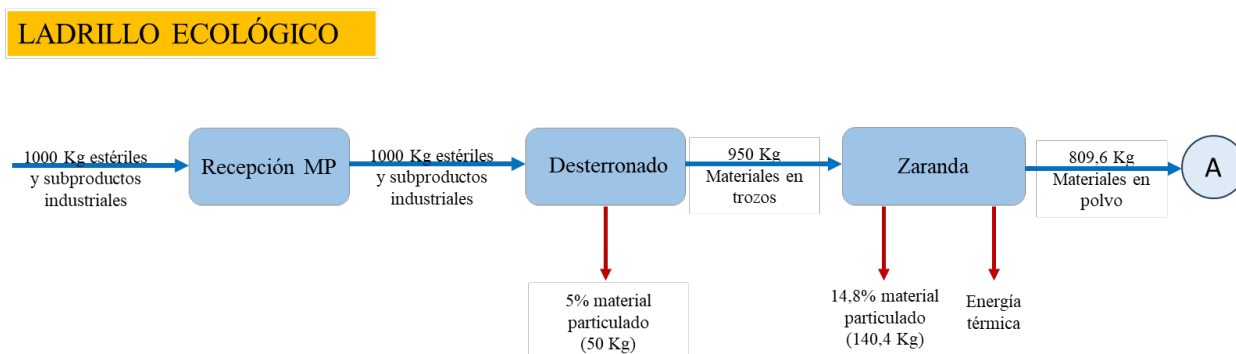
³ Se refiere al conjunto de partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire, tales como el hollín de diesel, polvo de vías, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos (Arciniégas, 2012).

$$\text{Salida desterronado} = 1.000 \text{ Kg} - 50 \text{ Kg} = 950 \text{ Kg materiales en trozos}$$

$$\text{Salida zaranda} = 950 \text{ Kg} - 140,4 \text{ Kg} = 809,6 \text{ Kg materiales en polvo}$$

Este diagrama permite determinar las pérdidas en cada actividad siguiendo el esquema del diagrama de flujo el cual se presenta a continuación.

Figura 17. Diagrama de balance de masa ladrillo ecológico -parte 1-



Fuente: Elaboración propia con información de Asmincol

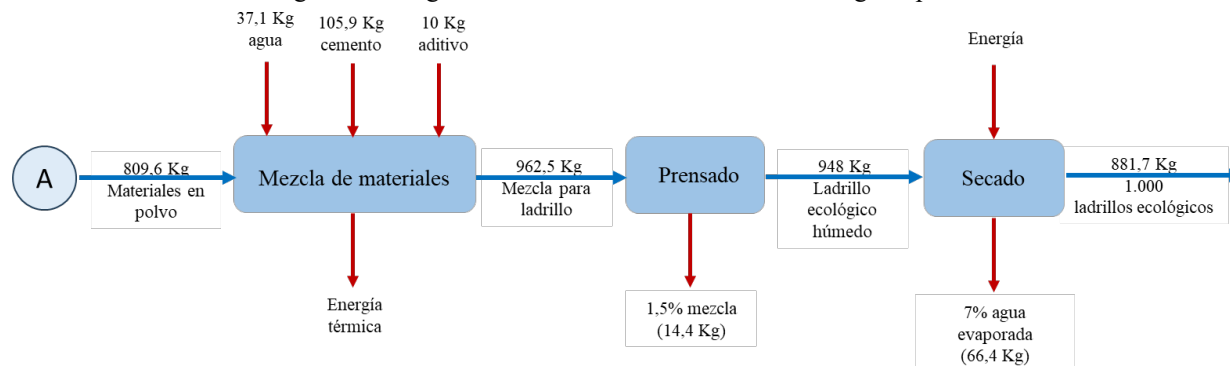
Por otro lado, se tienen pérdidas en el proceso de prensado de 1,5% de mezcla la cual se pierde en el llenado de la prensa y de 7% en el secado que se debe al agua que se vaporiza por medio de la energía solar dado que, el ladrillo ecológico se seca al aire libre, con base en estos datos se realizó el balance de masa que se muestra en la Figura 18.

$$\begin{aligned} \text{Salida mezcla de materiales} &= 809,6 \text{ Kg} + 37,1 \text{ Kg agua} + 105,9 \text{ Kg cemento} + 10 \text{ Kg aditivo} \\ &= 962,5 \text{ Kg mezcla} \end{aligned}$$

$$\text{Salida prensado} = 962,5 \text{ Kg} - 14,4 \text{ Kg} = 948,0 \text{ Kg ladrillo ecológico húmedo}$$

$$\text{Salida secado} = 948,0 \text{ Kg} - 66,4 \text{ Kg} = 881,7 \text{ g ladrillo ecológico}$$

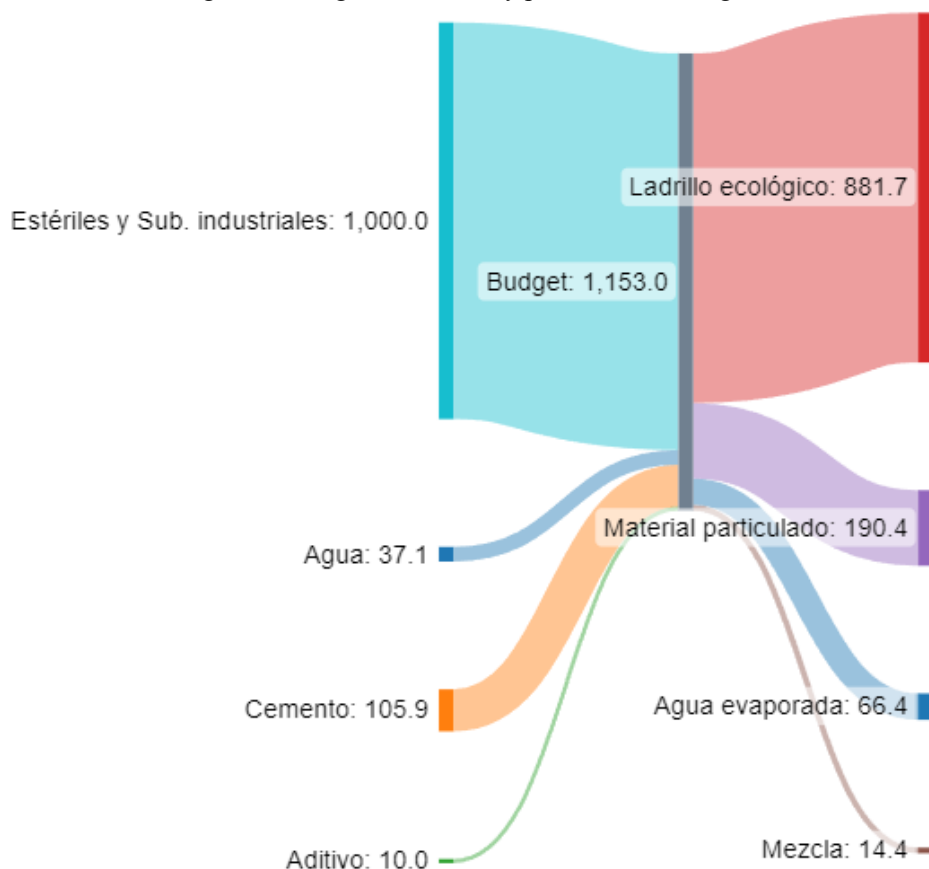
Figura 18. Diagrama de balance de masa ladrillo ecológico -parte 2-



Fuente: Elaboración propia con información de Asmincol

Para analizar los resultados obtenidos se presenta el diagrama de Sankey, el cual muestra el flujo de materiales de la empresa teniendo en cuenta que, al proceso entra la materia prima, agua, cemento y aditivo, y se convierte en ladrillo ecológico, y del proceso se genera material particulado, agua evaporada y mezcla para ladrillo.

Figura 19. Diagrama de Sankey para ladrillo ecológico



Fuente: Elaboración propia con información de Asmincol

Se puede observar que, la empresa no cuenta con desperdicios en su proceso, dado que, al ser fabricado con desperdicios de otras industrias todo el material puede ser aprovechado en el proceso. Existen pérdidas de materiales como agua evaporada, material particulado y un porcentaje de mezcla que se pierde, sin embargo, se producen en el proceso de desterronado y zaranda por lo que, no representa como tal un desperdicio.

3.2.4 Conservación de fuentes hídricas

La empresa requiere de un total de 37 litros de agua para la fabricación de 1.000 unidades de ladrillo ecológico, si se tiene en cuenta que mensualmente producen 28.800 unidades, indica un consumo mensual de agua de 1.067,6 litros mensuales, equivalentes a 12.810,8 litros al año, lo que

se puede considera una alta demanda de agua. En este proceso se pueden plantear mejoras para poder mejorar en la línea de acción relacionada con la conservación de las fuentes hídricas en cuanto al consumo promedio de este recurso natural.

3.2.5 Reducción de emisiones

En cuanto a la línea de acción priorizada y relacionada con la reducción de emisiones, se puede ver que, la empresa produce material particulado en una proporción de 190,4 Kg por cada 1.000 Kg que procesa, lo cual es un aspecto a mejorar pues está contaminando el aire con estos materiales.

3.3 Hallazgos de los procesos productivos

De acuerdo con la información descrita en este capítulo se encontró que, las líneas de acción de fuentes no convencionales de energía, fuentes y flujos de energía, eficiencia en la producción y consumo de materiales y conservación de fuentes hídricas fueron las que se priorizaron en las empresas analizadas Ecomarmato y Asmincol, por lo que las mejoras se plantean en este marco de trabajo y líneas priorizadas.

En los procesos de producción de Ecomarmato y de acuerdo con la información proporcionada por la empresa todas las pérdidas son aprovechables, sin embargo, en el proceso de pirólisis se encuentra una pérdida del 35% en agua y en polvo de biomasa además de gases no controlados como CO y CO₂, por lo cual se evidencia una oportunidad de mejora de este proceso.

De forma similar en la empresa Asmincol se menciona que no se tiene desperdicios y que todo el material es aprovechado, sin embargo, en las máquinas desterronadora y zaranda se encuentran algunas pérdidas asociadas con materiales particulados que pueden contaminar el ambiente, lo cual también fue determinado como una oportunidad de mejora de los procesos de esta empresa, con un porcentaje mayor en el proceso de zaranda de un 14,8%.

En este sentido, tomando en consideración los procesos presentados para las empresas del sector minero-energético Ecomarmato y Asmincol, las cuales permiten el aprovechamiento de materiales que son subproductos o desperdicios de empresas agrícolas en el caso de Ecomarmato y de minería de canteras en el caso de Asmincol que se ubicaron en tres y cuatro líneas de acción priorizadas respectivamente analizando y aplicando el marco de trabajo de la normatividad descrito en el capítulo 2, se presentan los principales hallazgos que se obtuvieron del análisis de los procesos y de las pérdidas dentro de estos descritas y cuantificadas por medio del balance de masa y del diagrama de Sankey, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Hallazgos por Líneas de acción priorizadas

Línea de acción	Ecomarmato	Asmincol
Fuentes no convencionales de energía	La empresa realiza un importante aprovechamiento de residuos de procesos agrícolas -biomasa- los cuales actualmente son un problema ambiental por su emisión de gases de efecto invernadero, por lo que en esta línea de acción la empresa aporta en la transicionalidad hacia la economía circular	La empresa realiza un importante aprovechamiento de residuos de minas de canteras -estériles- los cuales también son un problema ambiental por su proporción de materiales contaminantes sin ningún uso, por lo que en esta línea de acción la empresa aporta en la transicionalidad hacia la economía circular
Fuentes y flujos de energía	Se producen pérdidas de vapor de agua y emisiones de gases CO y CO ₂ en el proceso de pirólisis que representan un 32% del proceso, lo cual puede mejorarse a través de tecnologías aplicables	Se producen pérdidas de un 20% de material particulado en el proceso de desterronado y zaranda los cual está actualmente contaminando el aire y puede ser mejorado
Reducción de emisiones	La empresa produce gases de efecto invernadero como el CO ₂ en su proceso de producción de carbón ecológico, especialmente en el proceso de pirólisis, lo cual puede convertirse en una oportunidad de mejora del proceso	La empresa produce material particulado en una proporción de 190,4 Kg por cada 1.000 Kg que procesa, lo cual es un aspecto a mejorar pues está contaminando el aire con estos materiales
Conservación de fuentes hídricas	No se requiere la adición de agua en el proceso, pues el agua que se produce está contenida en la biomasa vegetal que es la materia prima del proceso	La empresa requiere mensualmente produce 28.800 unidades, que indica un consumo mensual de agua de 1.067,6 litros mensuales, equivalentes a 12.810,8 litros al año

Fuente: Elaboración propia

Los hallazgos presentados permiten identificar dos oportunidades de mejora importante, en cuanto al proceso de pirólisis en la empresa Ecomarmato y en el proceso de desterronado y zaranda de la empresa Asmincol, dado que, en estos procesos se están presentando emisiones de gases contaminantes y material particulado que pueden ser mejorados para mejorar los procesos en las líneas de acción priorizadas, particularmente en las fuentes y flujos de energía.

4 Determinar la factibilidad de la incorporación de tecnologías disponibles

Este capítulo se presenta el tercer objetivo específico que tuvo como fin determinar la factibilidad para la incorporación de tecnologías disponibles y seleccionar las que más se adecuan en el sector minero energético para los municipios en la jurisdicción CAR, a fin de proponer alternativas para el mejoramiento de los procesos, evaluando su viabilidad con el objetivo de analizar aspectos técnicos, económicos y ambientales en concordancia con el marco regulatorio.

Inicialmente, se presenta una el marco normativo que existe en Colombia relacionado con los incentivos para la transicionalidad hacia una economía circular, que sirvan de base para el rediseño de los procesos del sector minero-energético en los municipios de la jurisdicción CAR en las pymes Ecomarmato y Asmincol. Luego, se realiza la identificación de alternativas de mejora para las dos empresas para realizar la descripción de la factibilidad de estas alternativas que incluye la selección de la más adecuada y su descripción en los aspectos técnicos, económicos y ambientales. Finalmente, se describe la estrategia que se debe llevar a cabo para la implementación de las mejoras.

4.1 Incentivos para la transicionalidad hacia una economía circular

En Colombia de acuerdo con el marco de transición a la economía circular existen una serie de incentivos para las empresas que complementan y describen la forma de implementar las normas y leyes descritas en el marco de trabajo del capítulo 2, los cuales se mencionan de manera general a continuación de acuerdo con (Universidad El Bosque, 2018):

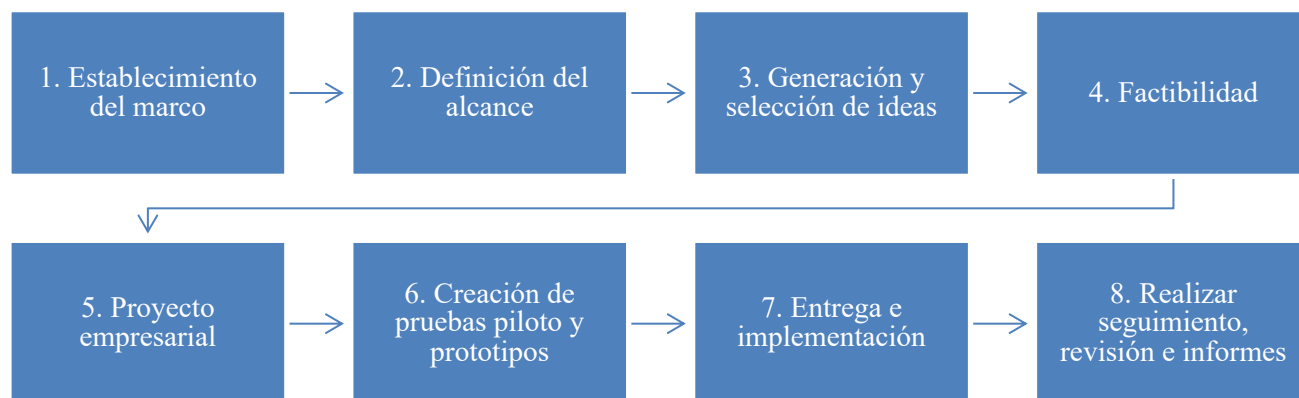
Sistemas de Gestión Ambiental: Son herramientas que ayudan a las organizaciones a mejorar su desempeño ambiental y a demostrar sus esfuerzos por implementar algunas de las prácticas que constituyen el eje central en torno al que gira la Economía Circular (Universidad El Bosque, 2018).

Huellas Ambientales: Se basan en una evaluación desde un enfoque de ciclo de vida, y por tanto reconocen la importancia de abordar los impactos ambientales de manera integrada a lo largo de toda la cadena de suministro del producto u organización (Universidad El Bosque, 2018).

Ecoetiqueta: Son sellos voluntarios que ayudan a identificar aquellos productos y servicios que han sido capaces de reducir su impacto sobre el medio ambiente a lo largo de todo su ciclo de vida. Por medio de las ecoetiquetas, se persigue ayudar a los consumidores a tomar decisiones mejor informadas y recompensar aquellos fabricantes (Universidad El Bosque, 2018).

Además, se tiene un proceso general de implementación de acuerdo con la GTC 314 de 2020, el cual se describe a continuación, este proceso será la base para el planteamiento de las alternativas de mejora de los procesos del sector minero-energético:

Figura 20. Proceso de implementación GTC 314 de 2020



Fuente: (Universidad El Bosque, 2018)

En primer lugar, se establece el marco de trabajo en el cual se determina cómo se va a aplicar la economía circular de acuerdo con la normatividad aplicable, para el caso de este trabajo de grado, este primer paso se realizó en el establecimiento del marco de trabajo del capítulo 2. El alcance se enfoca en el sector minero-energético y en particular en las empresas Ecomarmato y Asmincol y sus procesos de producción actuales de acuerdo con lo descrito en el capítulo 3.

Para la generación de ideas se usa la vigilancia e inteligencia tecnológica en donde se busca información actualizada acerca de los procesos de pirolisis, desterronado y zaranda en bases de datos y en Google Scholar para identificar las tecnologías que se están usando en otros países en estos procesos. Luego, se aplica el paso 4 en el cual se determina la factibilidad de aplicar estas tecnologías y la selección de las más adecuadas, este aspecto incluye los elementos técnicos, económicos y ambientales.

Los puntos 5 al 8 del proceso presentado en la guía 314 de 2020, corresponderían a la empresa en caso de que esté interesada en la implementación de las alternativas propuestas, lo cual no hace parte del alcance de este proyecto de grado. De acuerdo con lo mencionado, a continuación, se presenta la generación de ideas y el análisis de la factibilidad de alternativas de tecnologías disponibles para Ecomarmato y para Asmincol en cuanto a los procesos de pirolisis, desterronado y zaranda.

4.2 Generación y selección de ideas

Para la generación de ideas se utilizó la vigilancia e inteligencia tecnológica para identificar alternativas de tecnologías disponibles en el mundo en cuanto al proceso de pirolisis y el proceso de desterronado y zaranda, se realizaron búsquedas de información en bases de datos como Scopus y en Google Scholar. Se realizó la búsqueda de manera general y luego, se aplicaron filtros a la

búsqueda en relación con el tiempo de publicación, dado que, se espera encontrar las últimas tendencias tecnológicas en estos procesos, por lo que se limitó la búsqueda a los últimos 5 años en el periodo 2019-2023. Igualmente, se filtró la búsqueda a los documentos que fueran tipo: artículo o capítulos de libro y que se publicaron en las áreas de ingeniería, ciencias agropecuarias y química, además, por palabras clave en relación con el control de emisiones, encontrando los resultados generales que se muestran a continuación.

Tabla 10. Resultados de las búsquedas realizadas

Base de datos	Scopus		Google Scholar
Palabras clave	pyrolysis AND process AND gas AND control	clod breaking and sieve process	proceso de desterronado y zaranda
Total	1426	0	82
2019-2024	563		24
Tipo	465		
Área	414		
Control de emisión	54		
Open Access	14		

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en la base de datos Scopus, para el proceso de pirólisis se encontraron un total de 14 artículos -Ver resultados en el Anexo A-, para el proceso de desterronado y zaranda no se encontraron resultados, por lo que se realizó la búsqueda en Google Académico encontrando 24 resultados -Ver Anexo B-. Luego, se realizó una revisión detallada de los títulos y resúmenes de los 14 artículos del proceso de pirolisis y de los 24 documentos del proceso de desterronado y zaranda, encontrando que, solo 3 en cada caso están enfocados en presentar alternativas de mejora en estos procesos con tecnologías diseñadas específicamente para el control de emisiones de gases y de material particulado. A partir de estos resultados se identificaron las alternativas tecnológicas que se describen a continuación.

4.2.1 Identificación de alternativas Ecomarmato

En el proceso de pirolisis que es el más importante en la fabricación de carbón ecológico se identificaron tres alternativas de mejora del proceso, de acuerdo con la revisión de bibliografía realizada en este tema, estas son:

Aprovechamiento de gas de la pirolisis: esta alternativa permite el aprovechamiento del gas que se produce en la pirolisis como una fuente de energía eléctrica renovable, se trata de implementar un reactor de lecho fluidizado que puede contener el combustible, luego se realiza el proceso de enfriamiento y obtención de energía (Jadlovec, Cespiva, Copy, & Honus, 2022).

Ampliación de la planta con otras tecnologías de pirolisis: actualmente se han generado mejora y diseños de diferentes clases de hornos de pirolisis que disminuyen la emisión de gases efecto invernadero y mejoran la productividad, entre estos se encuentran: casamance, pozo de carbón vegetal mejorado, horno horizontal de carbón (FAO, 2019).

Nuevas tecnologías de conversión: uso de tecnología de conversión termoquímica para disminuir gases efecto invernadero, para mejorar las propiedades del carbón vegetal y utilizar residuos como biocombustible (Rahul, 2023).

4.2.2 Selección de las alternativas para Ecomarmato

Para determinar la factibilidad de las tecnologías alternativas en la empresa Ecomarmato, es necesario en primer lugar seleccionar la mejor alternativa para la empresa y luego, describirla para poder analizar los aspectos técnicos, económicos y ambientales asociados.

Para seleccionar las alternativas, de acuerdo con las acciones es necesario en primera instancia: evaluar la dificultad de la implantación, lo cual puede ser un factor clave a tener en cuenta, puesto que puede llegar a determinar la consecución, o no, del mismo. Se procederá a priorizarlas de menor a mayor grado de dificultad, de acuerdo con la siguiente escala:

1. Mucha
2. Bastante
3. Poca
4. Ninguna

Para las alternativas específicas, se tomaron en cuenta las tres alternativas de mejora del proceso de pirólisis que se identificaron para la empresa Ecomarmato, en su proceso con sus respectivos niveles de dificultad:

Tabla 11. Determinación del Nivel de Dificultad de las alternativas

ALTERNATIVA	NIVEL DE DIFICULTAD			
	MUCHA	BASTANTE	POCA	NINGUNA
Aprovechamiento de gas de la pirolisis.			X	
Ampliación de la planta con otras tecnologías de pirolisis.			X	
Nuevas tecnologías de conversión		X		

Fuente: Elaboración propia

La determinación del nivel de dificultad fue evaluada de acuerdo con la descripción técnica realizada por los autores mencionados en cada una de las alternativas. Posteriormente al

establecimiento del nivel de dificultad, corresponde determinar los plazos de implementación. De acuerdo con los datos de información secundaria utilizados que se obtuvieron de la aplicación de la vigilancia tecnológica por medio de las búsquedas de información en bases de datos y en Google Scholar, los plazos de implementación fueron los siguientes:

Tabla 12. Plazos de implementación de las alternativas

ACCIÓN DE MEJORA	PLAZOS DE IMPLEMENTACIÓN			
	LARGO	MEDIO	CORTO	INMEDIATO
Aprovechamiento de gas de la pirolisis.			X	
Ampliación de la planta con otras tecnologías de pirolisis.			X	
Nuevas tecnologías de conversión		X		

Fuente: Elaboración propia

Cuando se habla de plazo medio, se refiere a un espacio no mayor de 18 meses, mientras que cuando se trata de un espacio corto, corresponde a uno no mayor a 12 meses. Definida la dificultad y los plazos para la implementación se procede a establecer el impacto, el cual se define como el resultado de la actuación a implantar, medido a través del grado de mejora conseguido -un cambio radical tiene un impacto mucho mayor que pequeños cambios continuos-. La determinación del impacto se muestra a continuación:

Tabla 13. Determinación del Impacto de implementación de las alternativas

ACCIÓN DE MEJORA	IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN			
	NINGUNO	POCO	BASTANTE	MUCHO
Aprovechamiento de gas de la pirolisis.				X
Ampliación de la planta con otras tecnologías de pirolisis.			X	
Nuevas tecnologías de conversión			X	

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla anterior, si bien las acciones de mejora no poseen una cuantiosa dificultad en su implantación, el impacto se considera alto. De acuerdo con lo anterior, es posible determinar que, la alternativa de aprovechamiento de gas de la pirolisis es la más adecuada en cuanto a la dificultad, plazo e impacto de la implementación.

4.2.3 Identificación de alternativas Asmincol

Después de la revisión de la literatura relacionada con la fabricación de ladrillos ecológicos en el mundo y en Colombia donde se realizaron búsquedas de información en bases de datos y en Google Scholar y teniendo en cuenta que no se encontraron una cantidad de artículos suficientes, se incluyeron búsquedas de tesis de grado relacionadas con la fabricación de ladrillo ecológico, se

encontraron algunas alternativas que pueden mejorar el proceso en general, estas se describen a continuación:

Mejoras en el uso de agua: en la actualidad se han planteado estrategias para mejorar el uso del agua y que no se contaminen las fuentes hídricas, disminuyendo la cantidad de este recurso necesaria por ladrillo por medio de sistemas alternativos sostenibles (López & Guerrero, 2020).

Control de material particulado: se encontraron alternativas de máquinas de zaranda que permiten disminuir la emisión de material particulado al aire por medio de un sistema más hermético con el cual se evitan grandes emisiones de material particulado (Montoya, Graciano, & Hoyos, 2019).

Disminución de la emisión de gases: el proceso de fabricación de ladrillo ecológico emite gases que pueden contaminar la atmósfera, aunque su porcentaje es mucho menor a la fabricación tradicional de ladrillo, esto aún puede ser mejorado (López, Salamanca, Cuervo, & Quito, 2017).

4.2.4 Selección de las alternativas para Asmincol

Para determinar la factibilidad de las tecnologías alternativas en la empresa Asmincol, se usa los mismos pasos descritos, por lo cual inicialmente es necesario seleccionar la mejor alternativa para la empresa y luego, describirla para poder analizar los aspectos técnicos, económicos y ambientales asociados.

Para seleccionar las alternativas, de acuerdo con las acciones es necesario en primera instancia, al igual que se realizó con las alternativas de la empresa Ecomarmato: evaluar la dificultad de la implantación, lo cual puede ser un factor clave para tener en cuenta, puesto que puede llegar a determinar la consecución, o no, del mismo, como se muestra a continuación.

Tabla 14. Determinación del Nivel de Dificultad de las alternativas

ALTERNATIVA	NIVEL DE DIFICULTAD			
	MUCHA	BASTANTE	POCA	NINGUNA
Mejoras en el uso de agua			X	
Control de material particulado			X	
Disminución de la emisión de gases.		X		

Fuente: Elaboración propia

La determinación del nivel de dificultad fue realizada de acuerdo con la descripción técnica realizada por los autores mencionados en cada una de las alternativas. Posteriormente al establecimiento del nivel de dificultad, corresponde determinar los plazos de implementación. De acuerdo con los datos de información secundaria utilizados, los plazos de implementación fueron los siguientes:

Tabla 15. Plazos de implementación de las alternativas

ACCIÓN DE MEJORA	PLAZOS DE IMPLEMENTACIÓN			
	LARGO	MEDIO	CORTO	INMEDIATO
Mejoras en el uso de agua			X	
Control de material particulado			X	
Disminución de la emisión de gases.		X		

Fuente: Elaboración propia

Cuando se habla de plazo medio, se refiere a un espacio no mayor de 18 meses, mientras que cuando se trata de un espacio corto, corresponde a uno no mayor a 12 meses. Definida la dificultad y los plazos para la implementación se procede a establecer el impacto, el cual se define como el resultado de la actuación a implantar, medido a través del grado de mejora conseguido -un cambio radical tiene un impacto mucho mayor que pequeños cambios continuos-. La determinación del impacto se muestra a continuación:

Tabla 16. Determinación del Impacto de implementación de las alternativas

ACCIÓN DE MEJORA	IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN			
	NINGUNO	POCO	BASTANTE	MUCHO
Mejoras en el uso de agua			X	
Control de material particulado				X
Disminución de la emisión de gases.		X		

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla anterior, si bien las acciones de mejora no poseen una cuantiosa dificultad en su implantación, el impacto se considera alto. De acuerdo con lo anterior, es posible determinar que, la alternativa de Control de material particulado es la más adecuada para la mejora de los procesos de la empresa Asmincol.

4.3 Planteamiento de estrategias de mejora

Teniendo en cuenta las alternativas de mejora seleccionadas para las empresas Ecomarmato y Asmincol, que fueron identificadas mediante la vigilancia tecnológica por medio de búsquedas especializadas en bases de datos como Scopus y Google Académico, se presenta a continuación el planteamiento de las estrategias de mejora para cada una de las empresas en sus procesos de pirólisis y zaranda respectivamente.

Por otro lado tomando en consideración que, una estrategia es un plan integral diseñado para alcanzar objetivos específicos a largo plazo y que en el contexto de un proyecto, una estrategia es esencial para guiar la toma de decisiones y las acciones hacia metas predefinidas, la cual implica la identificación de recursos, la definición de pasos clave y la asignación de responsabilidades para lograr el éxito (Contreras, 2013), se realiza la definición de las estrategias para la mejora de los procesos en las empresas Ecomarmato y Asmincol con base en las alternativas seleccionadas:

aprovechamiento de gas de la pirolisis y control de material particulado. Para esta definición se incluyeron los siguientes elementos:

Objetivos: Define metas específicas y medibles que se desean lograr con la estrategia. Estos objetivos deben estar alineados con los hallazgos identificados en cada empresa.

Descripción de la alternativa de mejora: se describen los aspectos técnicos de cada alternativa, incluyendo los elementos innovadores que permiten la mitigación de los problemas o hallazgos del proceso.

Procesos ajustados: permite presentar los procesos de la empresa ajustados, así como los diagramas de balance de masa y de Sankey ajustados.

Aspectos ambientales y económicos: Determina los aspectos ambientales y económicos asociados con las estrategias de mejora propuestas.

Planificación: Establece un cronograma que indica los pasos a seguir y los plazos para cada fase de implementación de la estrategia.

4.3.1 Estrategias de mejora para la empresa Ecomarmato

De acuerdo con lo descrito anteriormente, se definen los objetivos, aspectos técnicos de la alternativa, procesos ajustados, aspectos ambientales y económicos y el cronograma de implementación.

Objetivos

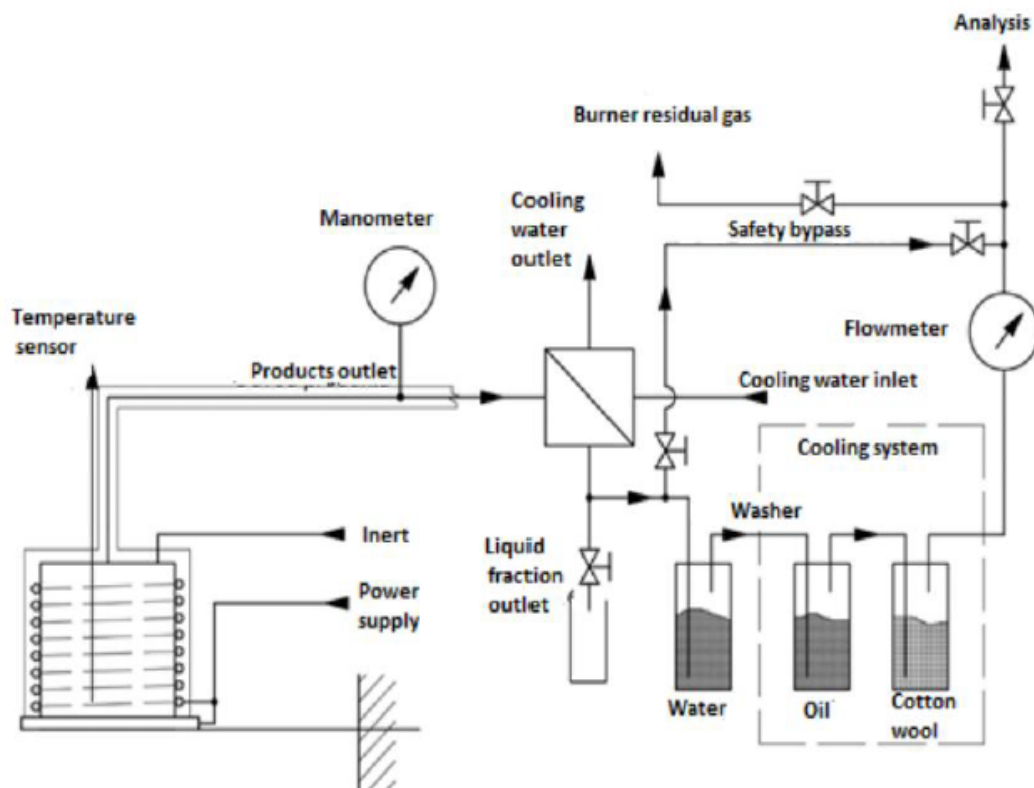
El objetivo de esta estrategia es lograr la reducción de emisiones de gases contaminantes como el CO y CO₂ producidos en el proceso de pirólisis en la fabricación de carbón ecológico en la empresa Ecomarmato, por medio de la implementación de un reactor de lecho fluidizado.

Descripción de la alternativa de mejora

Para la descripción de los aspectos técnicos de la alternativa seleccionada se toma en cuenta la información descrita por los autores consultados, donde describen que el proceso de combustión resultante es monitoreado por sensores de presión, medidores de flujo y termopares ubicados a lo largo de toda la longitud de la unidad de combustión. Para la evaluación cuantitativa y cualitativa de la composición de los gases de escape, se aplica un analizador que es capaz de detectar CO₂, CO, H₂O, NO, NO₂, N₂O, SO₂, NH₃, HCl, HF, CH₄, C₂H₆ y O₂ (Jadlovec, Cespiva, Copy, & Honus, 2022).

La novedad de este proceso radica en la determinación de la pérdida de masa debido a su combustión en una unidad experimental de fluidización para formar un gas energético. Se describe el porcentaje de pérdida de carbón, la producción de gas de combustión debido a la combustión de 1 kg de carbón en seis materias primas diferentes y el potencial energético del gas de combustión en términos de uso en el precalentamiento del agua de alimentación, evaporador o sobrecalentador de vapor (Jadlovec, Cespiva, Copy, & Honus, 2022), se ilustra el sistema a continuación:

Figura 21. Ilustración sistema de aprovechamiento de gas de la pirolisis



Fuente: (Jadlovec, Cespiva, Copy, & Honus, 2022)

La unidad de combustión experimental está situada como un reactor de lecho fluidizado estacionario. La entrada de combustible es proporcionada por dos transportadores de tornillo con una capacidad de transporte de hasta $3 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$. La controlabilidad de los transportadores está en el rango de 0-100%.

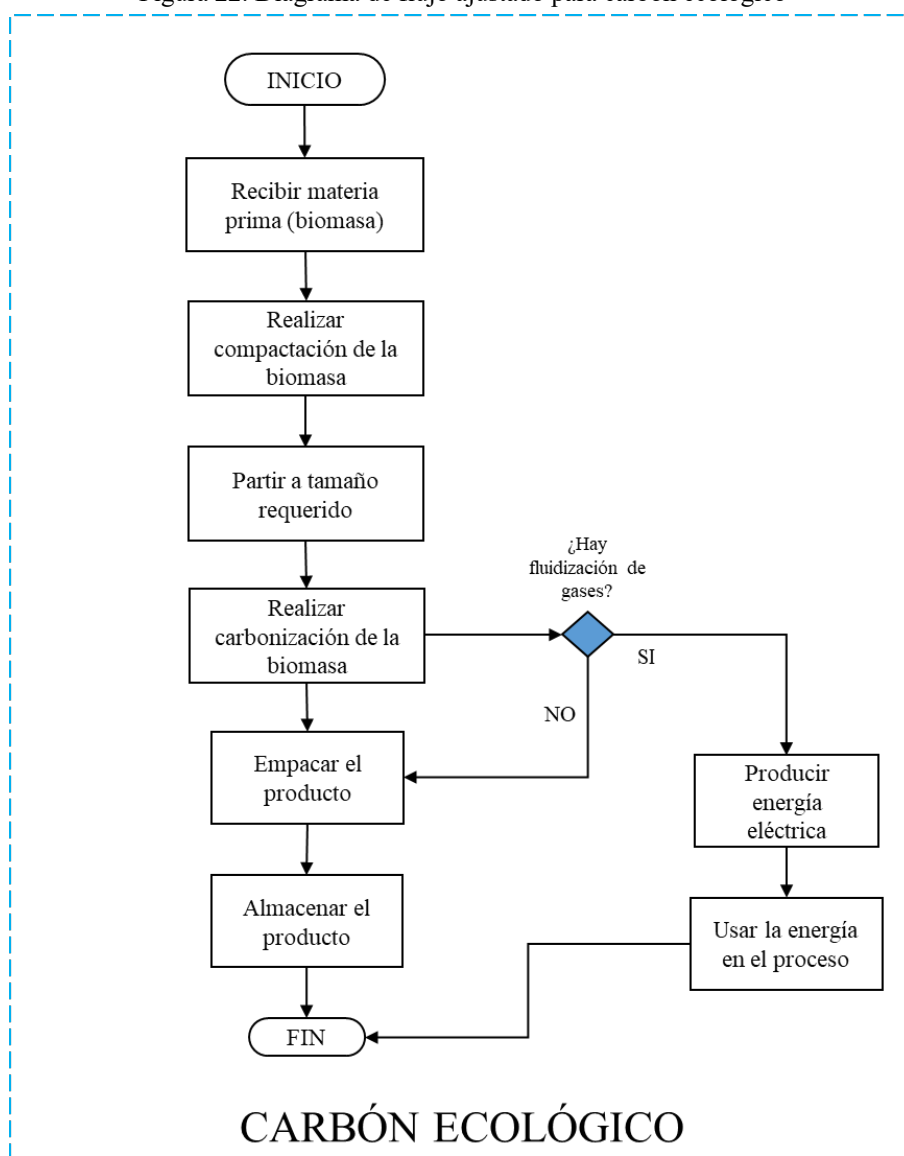
El aire de combustión se transporta mediante un soplador con una capacidad de $57 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, que también se puede ajustar entre 0 y 100 %. El soplador de aire va seguido de un precalentador de aire de combustión que puede funcionar en el rango de 0 a 500°C . Para monitorear la tasa de flujo de aire de combustión, un medidor de flujo de aire está ubicado detrás del precalentador de aire. Los calentadores de resistencia con una entrada de potencia total de $8,8 \text{ kW}$ garantizan que se alcance la temperatura requerida para la ignición del combustible. La unidad también está

equipada con una fuente de aire secundaria que se puede utilizar para la postcombustión de CO₂ o la división de aire primario/secundario. La depresión en todo el sistema se crea mediante un ventilador de humos con una potencia de 300 m³·h⁻¹.

Procesos ajustados

Con base en la descripción de la alternativa de mejora se realizó el ajuste a los procesos de la empresa, en cuanto a la fabricación de carbón ecológico, así como el planteamiento de los balances de masa y diagrama de Sankey ajustados, de acuerdo con esta propuesta, como se muestra a continuación, en la Figura 22.

Figura 22. Diagrama de flujo ajustado para carbón ecológico



Fuente: Elaboración propia con información de Ecomarmato (2023)

Se incluye en el proceso la fluidización de los gases del proceso de pirólisis que pueden ser convertidos en energía eléctrica la cual puede ser inicialmente, usada por la empresa, teniendo en cuenta que su capacidad no está siendo usada al 100%, y posteriormente, cuando la empresa aumente su producción, esta energía puede ser comercializada para aportar en la transicionalidad hacia la economía circular. Igualmente, se realizó el ajuste al balance de masa, teniendo en cuenta los cambios en el flujo de materiales del proceso de pirólisis.

$$\text{Entrada total} = 1.000 \text{ Kg de biomasa vegetal}$$

$$\begin{aligned} \text{Salida total} &= 100 \text{ Kg de agua} + 4.5 \text{ Kg de polvo de biomasa compactada} + 223.8 \text{ Kg agua} \\ &+ 30.1 \text{ Kg celulosa} = 358.4 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Balance de masa} = 1000 \text{ Kg} - 358.4 \text{ Kg} = 641.6 \text{ Kg carbón ecológico}$$

De acuerdo con lo anterior, en la figura 9 se muestra el diagrama de balance de masa para carbón vegetal, que inicia con los 1.000 Kg de biomasa, que se reciben en la empresa, donde se tienen las mismas pérdidas mencionadas en el balance de masa de las briquetas, dado que, es el mismo proceso.

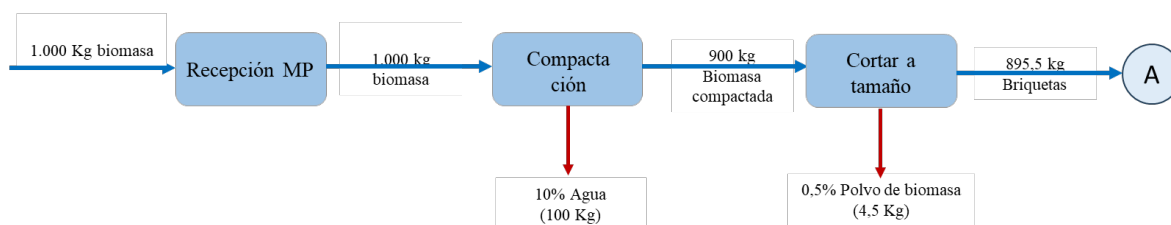
$$\text{Salida compactación} = 1.000 \text{ Kg biomasa} - 100 \text{ Kg agua} = 900 \text{ Kg biomasa compactada}$$

$$\text{Salida corte} = 900 \text{ Kg} - 4.5 \text{ Kg} = 895.5 \text{ Kg briquetas}$$

Este diagrama permite determinar las pérdidas en cada actividad siguiendo el esquema del diagrama de flujo el cual se presenta a continuación, donde no se observan cambios con respecto al proceso actual.

Figura 23. Diagrama de balance de masa ajustado carbón ecológico -parte 1-

CARBÓN ECOLÓGICO



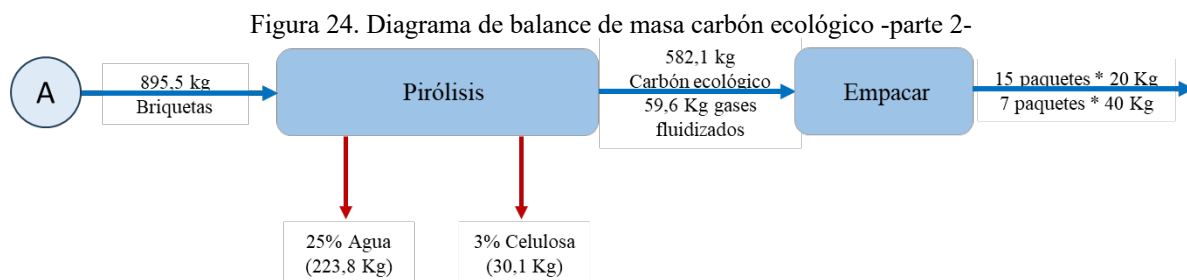
Fuente: Elaboración propia con información de Ecomarmato

Por otro lado, se tienen cambios en esta segunda parte del balance de masa, dado que, los gases ya no son considerados como pérdidas del proceso, sino como una salida que puede ser incluida de nuevo en el proceso, con base en estos datos se realizó el balance de masa que se muestra en la Figura 24.

$$\text{Salida pirólisis} = 895.5 \text{ Kg briquetas} + 0,716 = 641.6 \text{ Kg}$$

$$\text{Salida pirólisis} = 223.8 \text{ Kg agua} + 30.1 \text{ Kg celulosa} = 253.9 \text{ Kg}$$

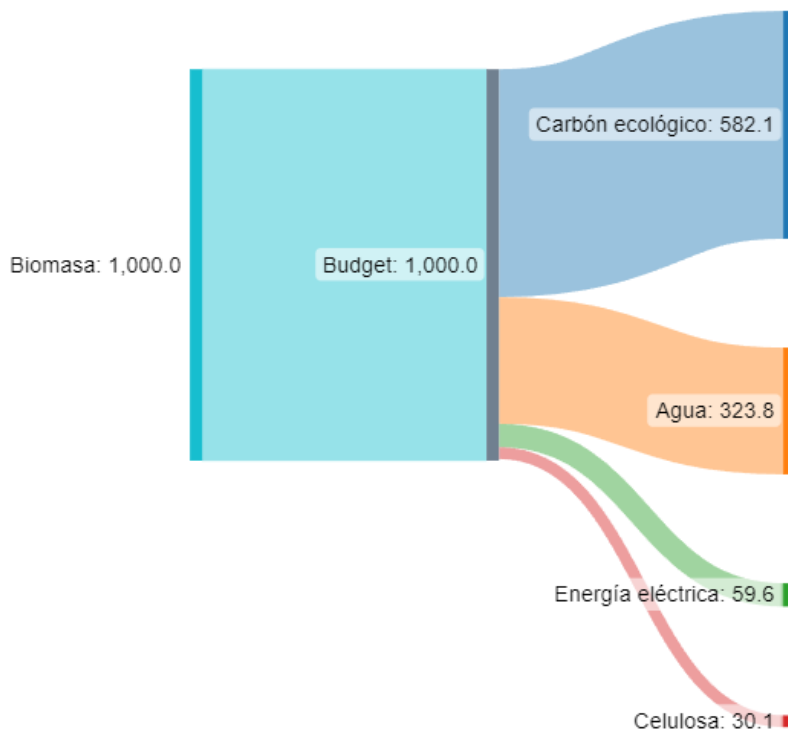
Se observa que, las pérdidas actuales de los gases ahora son salidas del proceso y no pérdidas, por eso se tienen dos salidas, una de carbón y otra de gases fluidizados.



Fuente: Elaboración propia con información de Ecomarmato

Para analizar los resultados obtenidos se presenta el diagrama de Sankey, el cual muestra el flujo de materiales de la empresa con los ajustes mencionados.

Figura 25. Diagrama de Sankey para carbón ecológico ajustado



Fuente: Elaboración propia con información de Ecomarmato

Se puede observar que, la empresa tendría dos salidas de este proceso, con el aprovechamiento de los gases que se producen en la pirólisis y sin realizar un cambio drástico en sus procesos.

Aspectos ambientales

Esta alternativa tiene un alto impacto ambiental en dos sentidos, el primero en disminuir los gases efecto invernadero que se producen en el proceso de pirólisis haciendo que la empresa sea totalmente sostenible en términos ambientales, no solo por su producto en sí mismos sino por el cuidado del medio ambiente y disminución de los efectos negativos que se puedan presentar en el proceso y el segundo, en cuanto a poder usar este gas como fuente de energía eléctrica no renovable que puede convertirse en otro producto ambientalmente sostenible para la empresa como una fuente de energía no convencional aprovechable dentro del proceso.

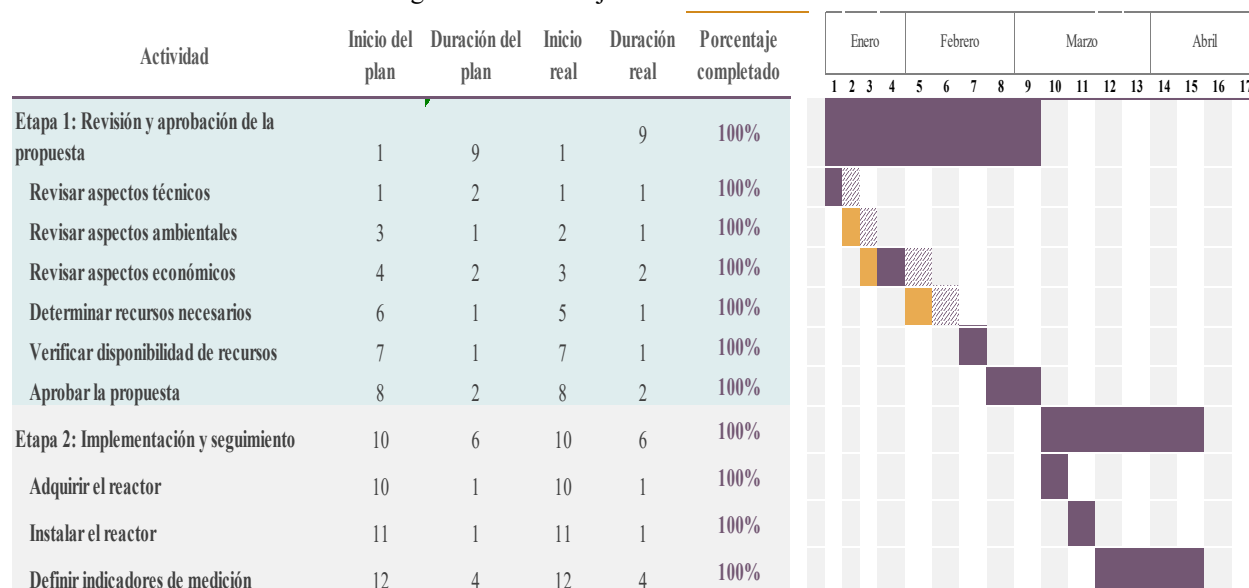
Aspectos económicos

Teniendo en cuenta los aspectos ambientales mencionados anteriormente, la empresa puede acceder a mayores beneficios asociados con la transicionalidad hacia la economía circular de acuerdo con el marco de trabajo que se describió en este documento. Además, al tener un nuevo producto que pueda comercializar dentro de su misión y su enfoque ambientalmente sostenible, esto representaría una mejora en los aspectos económicos para la empresa.

Planificación

Se presenta en la Figura 26 el cronograma que indica los pasos a seguir y los plazos para cada fase de implementación de la estrategia diseñada para mejorar el proceso de pirólisis de la empresa Ecomarmato.

Figura 26. Porcentaje de materiales adecuados



Fuente: Elaboración propia con información de Ecomarmato

4.3.2 Estrategias de mejora para la empresa Asmincol

Objetivos

El objetivo de esta estrategia es lograr la disminución de material particulado que se envía al ambiente durante los procesos de desterronado y zaranda en l fabricación de ladrillo ecológico en la empresa Asmincol por medio del cambio de la máquina de zaranda.

Descripción de la alternativa de mejora

Para la descripción de los aspectos técnicos de la alternativa seleccionada para el control del material particulado se toma en cuenta la información descrita por los autores consultados, donde describen que existen máquinas herméticas que evitan que se envíe material particulado al ambiente (Montoya, Graciano, & Hoyos, 2019), con lo cual la empresa tendría una mejora en su proceso de zaranda enfocado a mejorar en la transicionalidad hacia la economía circular. De acuerdo con lo anterior, se realizó el análisis de diferentes zarandas herméticas como se muestra a continuación:

Tabla 17. Comparativo de proveedores de máquina de zaranda hermética

Maquinaria	Descripción	Especificaciones técnicas	Proveedor	Costo
	Clasificadora de gran rendimiento por vibración. Carenado hermético para evitar salida de polvo.	Registro de inspección en la parte superior para control del tamizado. Se construye con 1, 2 y 3 tamices para realizar diferentes clasificaciones. Accionamiento por motorreductores de alta frecuencia con regulación.	Ros Conesa	\$6.520.000
	La Línea HCR tiene su mayor aplicación en el sector agrícola, ya que es una línea más simple y económica, permitiendo mayor versatilidad en diferentes aplicaciones.	Posee un eje longitudinal a lo largo del tambor de cribado, y una espira interna que permite el avance del flujo de granos hasta el extremo, por donde se descargan los cuerpos mayores a las perforaciones de la malla de cribado instalada.	Fabrimac	\$8.500.000

Fuente: Elaboración propia con información de la web

Se realizó la selección de la maquinaria teniendo en cuenta el criterio de capacidad de la máquina, y comparando la capacidad con el proceso actual de la empresa, encontrando que, la máquina fabricada por Fabrimac posee una capacidad muy alta, por lo que sería un recurso subvalorado en la empresa, por lo tanto, la máquina adecuada a las condiciones de la empresa es la que provee Ros Conesa que tiene un costo de \$6.500.000 y que está acorde con la capacidad actual de la empresa Asmincol.

Procesos ajustados

Con base en la descripción de la alternativa de mejora se realizó el ajuste a los procesos de la empresa, en cuanto a la fabricación de ladrillo ecológico, así como el planteamiento de los balances de masa y diagrama de Sankey ajustados, de acuerdo con esta propuesta, como se muestra a continuación, en la Figura 27 el balance de masa ajustado dado que, el proceso de fabricación sería el mismo.

$$\begin{aligned} \text{Entrada total} &= 1.000 \text{ Kg de materias primas} + 43,5 \text{ Kg agua} + 124,2 \text{ Kg cemento} + 11,7 \\ &\text{Kg aditivo} = 1.179,4 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Salida total} &= 50 \text{ Kg material particulado} + 16,9 \text{ Kg de mezcla} + 77,9 \text{ Kg agua evaporada} \\ &= 144,8 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Balance de masa} = 1.179,4 \text{ Kg} - 144,8 \text{ Kg} = 1.034,6 \text{ Kg ladrillo ecológico}$$

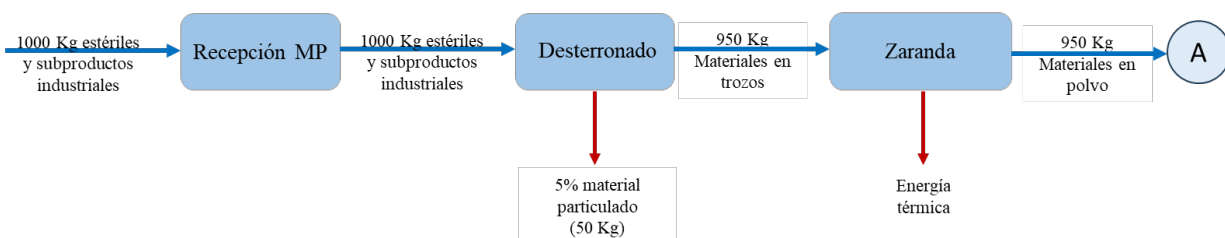
De acuerdo con lo anterior, en la figura 17 se muestra el diagrama de balance de masa para el ladrillo ecológico que inicia con la entrada de 1.000 Kg de materias primas -residuos de canteras y subproductos industriales-. Luego en el proceso de recepción de materias primas no se tienen pérdidas, pero si en el proceso de desterronado, donde hay pérdidas de un 5% en material particulado que se expulsa directamente de la máquina desterronadora. En este proceso también se tiene una pérdida de energía térmica debido a que la empresa cuenta con una zaranda vibratoria que genera que las partículas tengan fricción y en este proceso se genera esta pérdida.

$$\text{Salida desterronado} = 1.000 \text{ Kg} - 50 \text{ Kg} = 950 \text{ Kg materiales en trozos}$$

En el proceso de zaranda ya no se tienen pérdidas por material particulado dado que, al ser una máquina que trabaja herméticamente, no tiene salidas al exterior y este material particulado se adhiere nuevamente al material en polvo que se tamiza en este proceso, la pérdida de energía térmica si se mantiene dado que, el sistema de zaranda es vibratorio, Este diagrama permite determinar las pérdidas en cada actividad siguiendo el esquema del diagrama de flujo el cual se presenta a continuación.

Figura 27. Diagrama de balance de masa ajustado ladrillo ecológico -parte 1-

LADRILLO ECOLÓGICO



Fuente: Elaboración propia con información de Asmincol

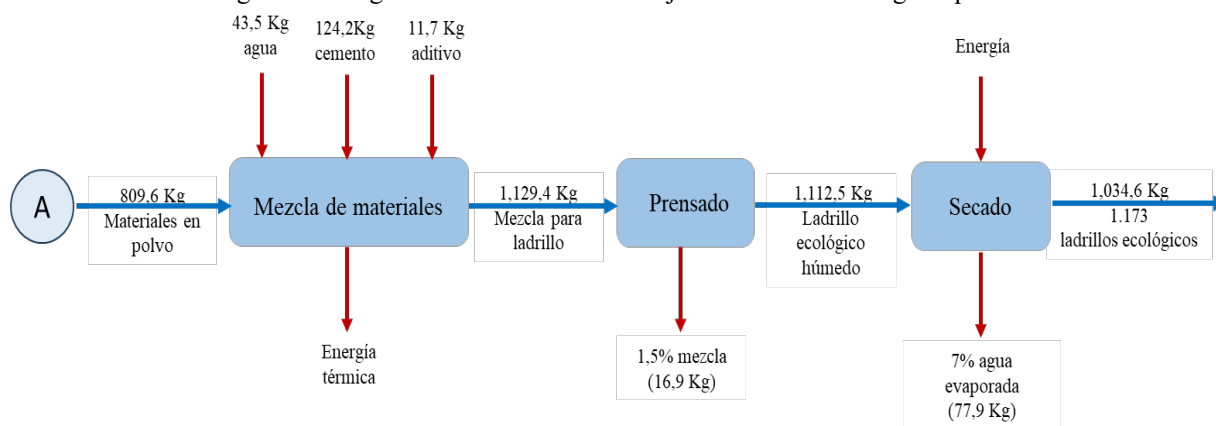
Por otro lado, se tienen ajustes en los valores de entadas y pérdidas en los demás procesos, dado que, al tener más material en polvo se requiere mayor cantidad de ingredientes para la mezcla y mayor cantidad de producción de ladrillo, con base en estos datos se realizó el balance de masa que se muestra en la Figura 28.

$$\begin{aligned} \text{Salida mezcla de materiales} &= 950 \text{ Kg} + 43,5 \text{ Kg agua} + 124,2 \text{ Kg cemento} + 11,7 \text{ Kg aditivo} \\ &= 1.129,4 \text{ Kg mezcla} \end{aligned}$$

$$\text{Salida prensado} = 1.129,4 \text{ Kg} - 16,9 \text{ Kg} = 1.112,5 \text{ Kg ladrillo ecológico húmedo}$$

$$\text{Salida secado} = 1.112,5 \text{ Kg} - 77,9 \text{ Kg} = 1.034,6 \text{ g ladrillo ecológico}$$

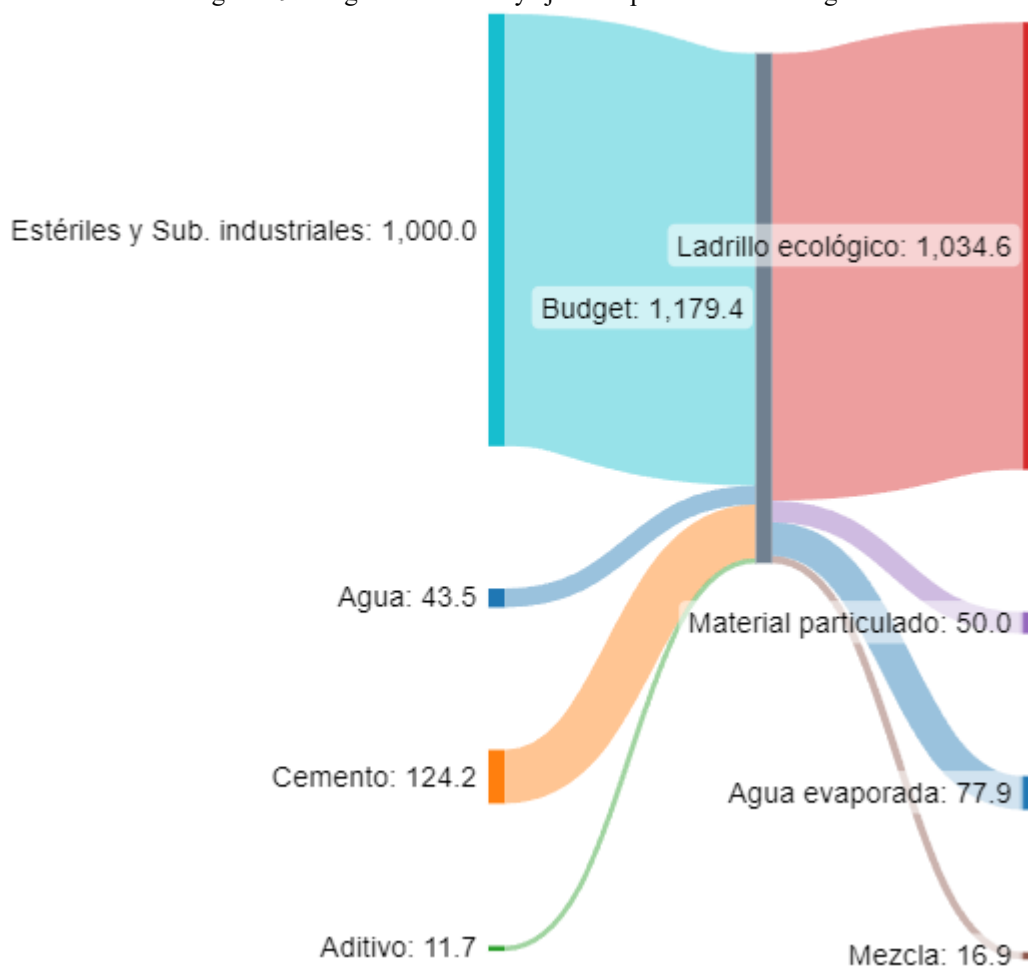
Figura 28. Diagrama de balance de masa ajustado ladrillo ecológico -parte 2-



Fuente: Elaboración propia con información de Asmincol

Para analizar los resultados obtenidos se presenta el diagrama de Sankey, el cual muestra el flujo de materiales de la empresa teniendo en cuenta que, al proceso entra la materia prima, agua, cemento y aditivo, y se convierte en ladrillo ecológico, y del proceso se genera material particulado, agua evaporada y mezcla para ladrillo.

Figura 29. Diagrama de Sankey ajustado para ladrillo ecológico



Fuente: Elaboración propia con información de Asmincol

Se puede observar que, la empresa podría aprovechar una mayor cantidad de sus materias primas al tener una menor emisión de material particulado en el proceso de zaranda.

Aspectos ambientales

Las mejoras ambientales que puede aportar esta alternativa a la empresa Asmincol son altas dado que, además de contar con un proceso sin pérdidas y de tipo ecológico, disminuiría la producción de material particulado, pudiendo ofrecer un mejor producto a sus clientes.

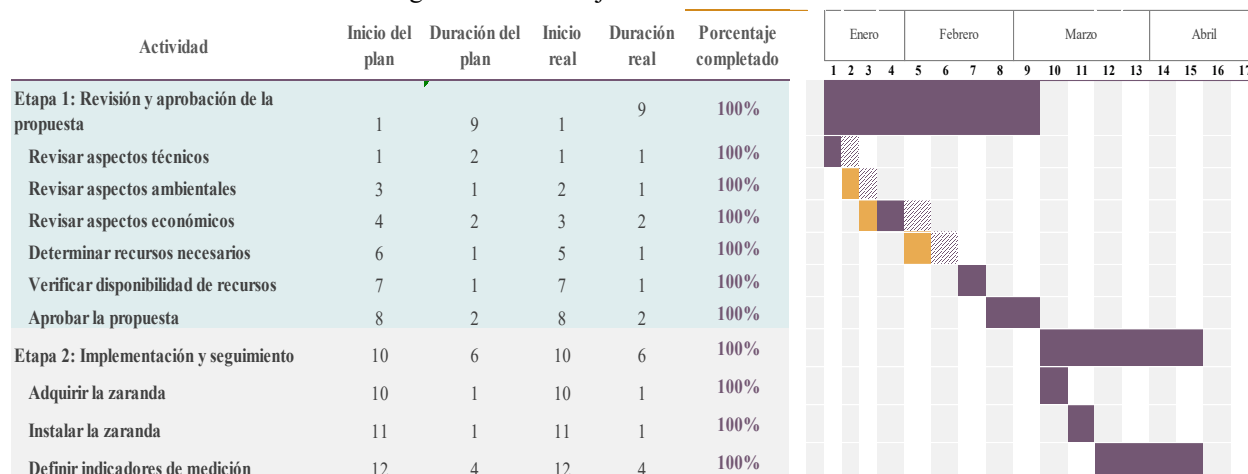
Aspectos económicos

Al tener una zaranda de tipo hermético la empresa podría tener un mejor aprovechamiento de sus materias primas y mejorar el flujo de materiales dentro del proceso, además, de poder contar con un proceso mucho más amigable con el medio ambiente al dejar de producir material particulado en el proceso de zaranda.

Planificación

Se presenta en la Figura 30 el cronograma que indica los pasos a seguir y los plazos para cada fase de implementación de la estrategia diseñada para mejorar el proceso de zaranda de la empresa Asmincol.

Figura 30. Porcentaje de materiales adecuados



Fuente: Elaboración propia con información de Asmincol

4.4 Conclusión del capítulo

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada para los procesos de las empresas Ecomarmato y Asmincol se plantearon propuestas para mejorar el proceso de pirolisis de forma que se aprovechen los gases que se producen para la producción de energías alternativas que le permiten a la empresa obtener mejoras ambientales y beneficios económicos, y para la disminución de emisión de material particulado en el proceso del ladrillo ecológico, de forma que el proceso se convierta en uno con mayor sostenibilidad ambiental y que se puedan mejorar los productos obteniendo mejores ingresos económicos y ampliar el portafolio en cuanto a la calidad de los diferentes productos que pueden ser fabricados.

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se logro el objetivo general, dado que, se diseñó una propuesta para la transicionalidad hacía la economía circular en empresas del sector Minero- Energético de la jurisdicción CAR Cundinamarca, de tal manera que se mejore el flujo de materiales y su aplicación directa en dos pymes del sector como lo son Ecomarmato y Asmincol, en donde se plantearon estrategias para mejorar los procesos de pirólisis y zaranda.

Se logró identificar las líneas de acción priorizadas y los mecanismos normativos para la empresa Asmincol ubicada en el municipios Sibaté y Ecomarmato en Cajicá, perteneciente a la jurisdicción de la CAR de Cundinamarca, quienes se relacionan con los objetivos de desarrollo sostenible según CONPES 3918, donde se establecieron las cinco líneas priorizadas como las categorías con mayores frecuencias: conservación de fuentes hídricas, fuentes no convencionales de energía, reducción de emisiones, eficiencia en la producción y consumo de materiales y fuentes y flujos de energía, las cuales fueron aplicadas al análisis de los procesos de las empresas.

Se logró caracterizar los procesos de producción en empresas del sector minero-energético en los municipios de la jurisdicción CAR, en relación con los incentivos que ofrece el marco normativo y regulatorio a nivel nacional establecido en la Estrategia Nacional de Economía Circular, por medio de diagramas de flujo, balance de masa y diagrama de Sankey que permitieron identificar que un 35% de las pérdidas del proceso de fabricación del carbón ecológico se tiene en el proceso de pirólisis y un 14,8% de material particulado en el proceso de zaranda en la fabricación de ladrillo ecológico.

Con base en el marco de trabajo analizado, se identificaron múltiples oportunidades para mejorar la eficiencia determinando la factibilidad para la incorporación de tecnologías disponibles y seleccionando las que más se adecuan en el sector minero energético para los municipios de la CAR y reducir el desperdicio en el ciclo de vida de los materiales en el sector, en donde por medio de la utilización de los gases del proceso de pirólisis de la disminución de emisión de gases y de la mejora de las máquinas de zaranda, se disminuyen los gases contaminantes emitidos en este proceso de pirólisis y de material particulado en el proceso de zaranda.

5.2 Recomendaciones

Fomentar la colaboración entre las empresas mineras y energéticas, las autoridades ambientales y los centros de investigación para desarrollar e implementar tecnologías y procesos innovadores que promuevan la circularidad de los materiales.

Establecer incentivos económicos y regulatorios para fomentar la adopción de prácticas circulares en el sector, como exenciones fiscales para empresas que implementen estrategias de economía circular y la promoción de estándares y certificaciones para productos y procesos circulares.

Promover la educación y sensibilización sobre la importancia de la economía circular en el sector minero-energético, tanto entre las empresas como en la sociedad en general, para generar conciencia sobre los beneficios ambientales, económicos y sociales de esta transición.

6 Referencias

- Agencia Nacional de Minería. (2021). *Decreto 1666*.
<https://www.anm.gov.co/?q=content/decreto-1666-de-2016>.
- Amaya, D. (2018). *Alternativas de tecnologías limpias para el reemplazo del mercurio en la minería aurífera*. Fundación Universidad De América Facultad De Educación Avanzada Y Continuada.
- Anguita, J., Repullo, R., & Campos, D. (2002). *La encuesta como técnica de investigación*. Escuela Nacional de Sanidad. ISCIII. Madrid. España.
- Antunéz, A., Díaz, A., & Castillo, N. (2021). *Desarrollo sostenible & economía circular. Un estudio desde la responsabilidad social empresarial*. Revista de Ciencias Jurídicas(154), 165-206. Obtenido de:
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/juridicas/article/view/45901/45806>.
- Arciniégas, C. A. (2012). *DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y FRACCIÓN RESPIRABLE PM10*. Revista Luna Azul, (34), 195-213.
- Artiles, V. S., & Rafoso, S. (1998). *Reingeniería de procesos: conceptos, enfoques y nuevas aplicaciones Ciencias de la Información [en línea] 2011, 42 (Septiembre-Diciembre)*. [Fecha de consulta: 4 de abril de 2017] Disponible en:<<http://www.red>.
- Asmincol. (2020). *Página web oficial de la empresa*. <https://asmincol.com/work/>.
- Bonilla, M., & López, A. (2016). Ejemplificación del proceso metodológico de la teoría fundamentada. *Cinta moebio* 57 .
- CAR. (2012). *Plan de Gestión Ambiental Regional PGAR 2012 - 2023*. Recuperado de: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac22faf27f5a.pdf>.
- CAR. (2020). *Reseña Histórica, misión y visión*. Disponible en: <https://www.car.gov.co/vercontenido/3>.
- Carrasco, E., & Tinoco, D. (2018). *Elaboración de ladrillos ecológicos a partir de arena de sílice y arcillas mixtas procedentes de la Compañía Minera Sierra Central S.A.C. Chacapalpa/Oroya – Yauli - Junín*. Universidad Nacional del Centro del Perú .
- Castro, P. (16 de 10 de 2022). Briquetas a base de biomasa vegetal . (I. M. Sánchez, Entrevistador)
- CDE. (2022). *Maximizar los áridos obtenidos de canteras*. <https://www.cdegroupp.com/es/aplicaciones/arenas-agregados/residuos-de-cantera>.

- Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2014). *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros*. México, D.F: Mc Graw Hill.
- Circle Economy. (2019). *The world is 9% circular our global engine is stuck in reverse*. <https://www.legacy.circularity-gap.world/>.
- Comisión Chilena del Cobre. (2021). *Identificación de oportunidades mediante la implementación de la Economía Circular en minería secundaria del cobre*. Dirección de Estudios y Políticas Públicas .
- Contreras, E. R. (2013). *El concepto de estrategia como fundamento de la planeación estratégica*. Pensamiento & Gestión, (35), 152-181.
- DANE. (2011). *Producto Interno Bruto Tercer trimestre de 2011 - Base 2005*. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bolet_PIB_IIItrim11.pdf.
- Diaz, D., & Quintero, E. (2020). *Identificación de alternativas de almacenamiento de relaves generados en la minería aurífera en Colombia*. Universidad de Antioquia Escuela Ambiental Facultad de Ingeniería Medellín, Colombia .
- DNP. (2015). *El uso eficiente de los recursos genera rentabilidad*. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Paginas/noticia2.aspx>.
- DNP. (2016). *Conpes 3918: Documento CONPES 3918: Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia*. Presidencia de la República.
- DNP. (2018). *Política de Crecimiento Verde* . Departamento Nacional de Planeación.
- Ecomarmato . (2020). *Página web oficial de la empresa*. <https://ecomarmato.com/>.
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Objetivos Universales Para Políticas De Economía Circular*. <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/ES-Objetivos-universales-de-poli%CC%81ticas-para-la-economi%CC%81a-circular.pdf>.
- Euskadi. (2012). *Análisis de flujo de materiales conceptos y definiciones*. https://opendata.euskadi.eus/contenidos/estadistica/flujo_materiales/es_fluj_mat/adjuntos/Conceptos%20y%20definiciones_2012_es.pdf.
- FAO. (2019). *Bioenergía y seguridad alimentaria*. FAO.
- Figuerola, J. (2015). *Elaboración de briquetas combustibles con base en mezclas entre biomasa y carbón*. Universidad Libre .
- Gallego, L. (2009). *Una evaluación de los procesos educativo-ambientales de Manizales*. Manizales: Revista Luna Azul.

- Gobernación de Cundinamarca. (2012). *Plan de Desarrollo “Cundinamarca calidad de vida 2012 – 2016*. Recuperado de: https://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/c2b466de-d3a7-4356-8971-e094ad221e74/Plan+de+desarrollo2012-2016.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-c2b466de-d3a7-4356-8971-e094ad221e74-nSm4CzT.
- Goñí, E., Sabogal, A., & Asmat, R. (2014). *Minería informal aurífera en Colombia*. Recuperado de: https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/368/Mineria%20informal%20aurifera%20en%20Colombia%20-%20Informe_linea_base_mineria_informal%20-%20pagina%20Fedesarrollo.pdf;sequence=3.
- Hammer, M. (1994). *Reengineering the corporation: A manifesto for business revolution*. . New York: Harper Business. .
- Harrington, H. J. (2000). *Mejoramiento de los Procesos de la Empresa*. Ekon.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: MG Hill, Cuarta edición.
- ICONTEC. (2015). *Norma ISO 9001:2015. Aseguramiento de la calidad* . Bogotá, D.C.
- INCP. (2017). *Las pymes son la verdadera locomotora económica colombiana*. <https://incp.org.co/las-pymes-la-verdadera-locomotora-economica-colombiana/>.
- Instituto Humbolt. (2019). *Diagnóstico de la información ambiental y social respecto a la actividad minera y la extracción ilícita de minerales en el país*. Recuperado de: <http://www.humboldt.org.co/images/documentos/2-diagnostico-actividad-minera-y-explotacin-ilicita-expertos.pdf>.
- Jadlovec, M., Cespiva, J., Copy, E., & Honus, S. (2022). Eliminación de residuos de pirolisis por incineración. *La ciudad sostenible*.
- Lardent, A. R., Gómez, M. A., & Loro, A. (2010). *Técnicas de Organización, Sistemas y Métodos* .
- López, J., & Guerrero, C. (2020). *Elaboracion de bloques ecologicos implementando sistemas de produccion alternativos, para la construccion de viviendas sostenibles y sustentables*. Universidad Santo Tomas.
- López, N., Salamanca, M., Cuervo, D., & Quito, A. (2017). *Elaboración ladrillos ecológicos usando lodos generados del proceso de lavado de arenas silíceas*. Universidad Piloto De Colombia.

- Manganelli, M. R., & Klein, M. (2004). *Como Hacer Reingenieria : guia indispensable paso a paso*. Bogotá, Colombia: GRUPO EDITORIAL NORMA.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio Industria y Turismo.
- Ministerio de Medio Ambiente . (2021). *Ley 99 de 1993*. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf>.
- Ministerio de Medio Ambiente Chile. (2018). *Experiencia Chilena Cuenta Ambiental Flujos de Materiales de la Economía ODS 8 y 12* . Unidad de Indicadores y Cuentas Ambientales .
- Ministerio de Minas y Energía. (2016). *Plan de acción de mitigación del sector energético* . Recuperado de: <http://www.mapsprogramme.org/wp-content/uploads/4-2PAS-Energia-Elctrica.pdf>.
- MinMinas. (2019). *Colombia sobre tecnologías*. https://www.mercuryconvention.org/sites/default/files/documents/submission_from_government/Colombia-sobre-tecnologias.pdf.
- Montoya, L., Graciano, O., & Hoyos, S. (2019). *Diseño sistema de alimentación de arena de moldeo para el laboratorio de Fundición De La Institución Universitaria Pascual Bravo* . Institución Universitaria Pascual Bravo .
- Ospina, J. (19 de 03 de 2023). Asmincol. (I. M. Sáncchz, Entrevistador)
- Pinheiro, P. (2017). *La producción del carbón vegetal*. Energía - Investigaciones en América del Sur (pp.69-88) Publisher: Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur, Ediuns.
- Rahul, N. (2023). *Biochar synthesis from mineral and ash-rich waste biomass, part 2: characterization of biochar and co-pyrolysis mechanism*. Sustainable Environment Research.
- Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria Investigaciones en Ingeniería, 15*, 85-95.
- Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2018). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. *Jorunal of Industrial Ecology*.
- Spataru, C. (2019). *Transitioning Island Nations Into Sustainable Energy Hubs: Emerging Research and Opportunities*. Scopus.

- Stone, M. (2022). *Minería: ¿pueden las nuevas tecnologías hacer que sea más limpia?*
<https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/05/mineria-pueden-las-nuevas-tecnologias-hacer-que-sea-mas-limpia>.
- Sucozhañay, G., & Vidal, I. (2019). *Análisis del flujo de materiales y evaluación del impacto ambiental de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Caso de estudio: cantón Cuenca*. Universidad De Cuenca.
- Universidad El Bosque. (2018). *Definición de un marco integrador para la implementación de la economía circular en las empresas colombianas de acuerdo con los diferentes enfoques disponibles y sus herramientas de trabajo*.
- Universidad Politécnica de Cataluña. (2013). *Análisis del Ciclo de Vida*.
https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250504/2013/Analisis%20del%20Ciclo%20de%20Vida.pdf.
- UPME. (2017). *Plan Nacional De Desarrollo Minero Con Horizonte A 2025*.
https://www1.upme.gov.co/simco/PlaneacionSector/Documents/PNDM_Dic2017.pdf.
- Zamora, G., & Hinojosa, O. (2019). Economía circular en minería - caso de estudio: producción minera de Concentrados de Pb-Ag-Zn en Bolivia. *Revista de Medio Ambiente y Minería*.

☐ 4	Artículo • Acceso abierto Reacciones químicas heterogéneas: una piedra angular en la reducción de emisiones de contaminantes locales y gases de efecto invernadero	Lott, P.,Deutschmann, O.	Actas del Instituto de Combustión , 39 (3), págs. 3183–3215	2023	7
Mostrar resumen Ver en el editor Documentos relacionados					
☐ 5	Documento de conferencia • Acceso abierto ELIMINACIÓN DE RESIDUOS DE PIRÓLISIS MEDIANTE INCINERACIÓN	Jadlovec, M.,Čespiva, J., Výtisk, J.,Honus, S., Ochodek, T.	Transacciones WIT sobre ecología y medio ambiente , 260 (2022), págs. 273–280	2022	0
Mostrar resumen Ver en el editor Documentos relacionados					
☐ 6	Evaluación del ciclo de vida del potencial de calentamiento global de las tecnologías de reciclaje de materias primas: estudio de caso de gasificación y pirólisis de residuos en un modelo de inventario integrado para el tratamiento de residuos y la producción de productos químicos en Alemania	Keller, F.,Voss, R.L., Lee, RP.,Meyer, B.	Recursos, Conservación y Reciclaje , 179, 106106	2022	17
Mostrar resumen Ver en el editor Documentos relacionados					
☐ 7	Artículo • Acceso abierto Efectos del agua sobre la pirólisis de piridina: un estudio de dinámica molecular del campo de fuerza reactivo	Bai, Z.,Jiang, XZ,Luo, K.H.	Energía , 238, 121798	2022	18
Mostrar resumen Ver en el editor Documentos relacionados					
☐ 8	Artículo • Acceso abierto Evaluación tecnoeconómica y comparación de diferentes vías de reciclaje de plástico: un estudio de caso alemán	Volk, R.,Stallkamp, C., Steins, J.J., ...Stapf, D., Schultmann, F.	Revista de Ecología Industrial , 25 (5), págs. 1318-1337	2021	51
Mostrar resumen Ver en el editor Documentos relacionados					
☐ 9	Artículo • Acceso abierto Un análisis basado en simulación del rendimiento de la energía solar térmica para aplicaciones de pirólisis.	Lameh, M.,Abbas, A., Azizi, F.,Zeaiter, J.	Revista internacional de investigación energética , 45 (10), págs. 15022-15035	2021	5
Mostrar resumen Ver en el editor Documentos relacionados					

☐ 10	Artículo • Acceso abierto Sistema de procesamiento de respiradores de desechos para la protección de la salud pública y la mitigación del cambio climático bajo la pandemia de COVID-19: diseño de procesos novedosos y perspectivas energéticas, ambientales y tecnoeconómicas	Zhao, X.,usted, f.	Energía Aplicada , 2021 283, 116129	20
Mostrar resumen Ver en el editor Documentos relacionados				
☐ 11	Artículo • Acceso abierto Óptima integración de un sistema de poligeneración basado en biomasa en una planta de producción de hierro para emisiones negativas de carbono	Ubando, AT,Chen, W.-H., Bronceado, RR,Naqvi, SR	Revista internacional de investigación energética , 44 (12), págs. 9350–9366	20
Mostrar resumen Ver en el editor Documentos relacionados				
☐ 12	Artículo • Acceso abierto Mecanismo de degradación de la resistencia del coque de hierro preparado con una mezcla de carbón y Fe_2O_3	Yin, C.,Qiu, S.,Zhang, S., ...Xu, J.,Wen, I.	Revista de pirólisis analítica y aplicada , 150, 104897	53
Mostrar resumen Ver en el editor Documentos relacionados				
☐ 13	Artículo • Acceso abierto Perspectiva del ciclo de vida de la producción de bioaceite y biocarbón a partir de biomasa de madera dura; ¿Cuál es la mezcla óptima y qué hacer con ella?	Lu, recursos humanos, El Hanandeh, A.	Revista de Producción Más Limpia , 212, págs. 173–189	35
Mostrar resumen Ver en el editor Documentos relacionados				
☐ 14	Artículo • Acceso abierto Evaluación de vías de implementación para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en una planta industrial: un estudio de caso para una refinería de petróleo compleja	Berghout, N.,Merman, H., Van den Broek, M., Faaij, A.	Energía aplicada , 2019 236, págs. 354–378	44
Mostrar resumen Ver en el editor Documentos relacionados				

 Mostrar [20 resultados](#)

Anexo B. Resultados de la búsqueda del proceso de desterronado y zaranda

consulta avanzada 

Buscar dentro 

Article title, Abstract, Keywords

Buscar documentos *

clod AND breaking AND sieve AND process 

+ Agregar campo de búsqueda
Reiniciar
Buscar 

Documentos
Beta
Patentes
Documentos secundarios
Datos de la investigación ↗



No documents matching your keywords were found

- Make sure your keywords are spelled correctly
- Try different keywords
- Try more general keywords
- Try removing your most recent keyword




Académico

proceso de desterronado y zaranda



Artículos

Página 2 de aproximadamente 24 resultados (0,05 s)

Cualquier momento

Desde 2023

Desde 2022

Desde 2019

Intervalo específico...

Ordenar por relevancia

Ordenar por fecha

Cualquier idioma

Buscar solo páginas en español

Diseño y construcción de una máquina cosechadora de papas, 2019.

WF Gutiérrez Aldude, J Aquino Condezo - 2020 - repositorio.unheval.edu.pe

... de las actividades más caras y laboriosas del **proceso** de cosecha en las zonas rurales del Perú... el tiempo de cosecha en relación con el **proceso** manual; además, el campesino puede ...

☆ Guardar  Citar Citado por 1 Artículos relacionados Las 2 versiones 

Medición del impacto ambiental de bloques de suelo-cemento, bloques cerámicos y bloques de concreto por el método de análisis de ciclo de vida

JA Duque Sierra - repositorio.unal.edu.co

... Preparación de la mezcla: El primer paso es tamizar la tierra usando una **zaranda** de esta manera las partículas de tierra quedan más finas, el siguiente **proceso** es mezclar la tierra y ...

☆ Guardar  Citar Artículos relacionados Las 2 versiones 