



Oportunidades de transformación hacia la economía circular en el manejo de los residuos sólidos en el sector de los Hidrocarburos, en las etapas de exploración y explotación, enmarcado en el licenciamiento ambiental otorgado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA.

Diego Alejandro Ciabato Jiménez

Trabajo de grado de maestría presentado para optar al título de Magíster en Sostenibilidad

Directora

Claudia Lorena Garcia

Ingeniera Química Magíster (MSc) Innovation and Technology Management

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Maestría en Sostenibilidad

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

El contenido de este documento no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad.

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad y apoyarme en alcanzar mis logros y metas. De igual forma, dedico este trabajo a Mary Elena quien fue un pilar de fortaleza, colaboración y paciencia en este viaje académico.

Agradecimientos

Expreso mi agradecimiento a mi directora de tesis, la ingeniera Claudia Lorena Garcia por su guía, dirección y enriquecimiento de esta investigación.

Así mismo, extiendo mi agradecimiento a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA por permitirme y facilitar mi camino académico.

Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
1. Justificación.....	13
2. Marco Referencial.....	14
2.1 Marco Conceptual	14
2.1.1 Economía Circular.....	14
2.1.2 Sector de los hidrocarburos (etapas de exploración y explotación)	17
2.1.3 Rol de la ANLA en los procesos de licenciamiento ambiental en el sector de los hidrocarburos.	22
3. Estado del Arte	27
3.1 Principios de economía circular a nivel gubernamental y legislativo a nivel internacional y nacional.	27
3.2 Adopción de los principios de la economía circular en el sector empresarial de los hidrocarburos.....	32
4. Objetivos	37
4.1 Objetivo general	37
4.2 Objetivos específicos.....	37
5. Metodología	38
5.1 Fuentes de Datos	38
5.2 Estrategias Metodológicas.....	39
5.3 Análisis y Propuestas	39
6. Resultados	40
6.1. Objetivo 1. Tipos y principales características de los residuos sólidos generados en el sector de hidrocarburos para la etapa de exploración y explotación.....	40

6.1.1 Residuos sólidos generados en el sector de hidrocarburos para la etapa de exploración y explotación.....	40
6.1.1.1 Gestión de residuos sólidos en la etapa de exploración	41
6.1.1.2 Gestión de residuos sólidos en la etapa de explotación	44
6.1.2 Análisis de información primaria.....	49
6.2 Objetivo 2. Lineamientos de la economía circular aplicables desde su potencialidad a la gestión de los residuos sólidos en el sector de hidrocarburos y su correlación en el licenciamiento ambiental colombiano.....	53
6.2.1 Principios de economía circular aplicados al sector hidrocarburos	54
6.2.2 Aplicación de los lineamientos de economía circular a los residuos del sector hidrocarburos	55
6.2.3 Aplicación del Diagrama de Economía Circular al sector hidrocarburos	57
6.2.4 Potencialidad de la de la Autoridad Nacional en la economía circularidad de los residuos sólidos.....	60
6.3 Objetivo 3. indicadores de gestión para fomentar la adopción de la economía circular en el licenciamiento ambiental del sector de hidrocarburos en la gestión de los residuos sólidos	69
6.3.1 Propuestas de indicadores clave para la economía circular en la gestión de residuos sólidos	69
7. Conclusiones	74
Referencias	76

Lista de tablas

Tabla 1	Etapas y actividades en la exploración de los hidrocarburos	18
Tabla 2	Etapas y actividades en la explotación de los hidrocarburos	20
Tabla 3	Segregación de residuos sólidos.....	21
Tabla 4	Proyectos de exploración de hidrocarburos	40
Tabla 5	Proyectos de explotación de hidrocarburos.....	41
Tabla 6	Manejo de residuos sólidos del área de perforación exploratoria Sirirí.....	42
Tabla 7	Manejo de residuos sólidos del área de perforación exploratoria VIM-8.....	43
Tabla 8	Manejo de residuos sólidos del área de perforación exploratoria Basari.....	44
Tabla 9	Manejo de residuos sólidos del campo de producción Yaguará.....	45
Tabla 10	Manejo de residuos sólidos del Campo Purificación.....	46
Tabla 11	Manejo del bloque de explotación Llanos 58.....	47
Tabla 12	Manejo de residuos sólidos en la etapa de exploración.....	49
Tabla 13	Manejo de residuos sólidos en la etapa de explotación.....	51
Tabla 14	Lineamientos de circularidad por tipo de residuos.....	55
Tabla 15	Potencialidad de la de la Autoridad Nacional Ambiental en la economía circularidad de los residuos sólidos en la industria de los hidrocarburos	62

Lista de figuras

Figura 1 El diagrama del sistema de economía circular	16
Figura 2 Representatividad del sector hidrocarburos en el proceso de licenciamiento en Colombia	22
Figura 3 Porcentaje de residuos generados en el Campo Sirirí.....	42
Figura 4 Volúmenes de residuos solidos.....	43
Figura 5 Porcentaje de residuos sólidos en la etapa exploratoria.....	50
Figura 6 Porcentaje de residuos sólidos en la etapa exploratoria.....	50
Figura 7 Porcentaje de residuos sólidos en la etapa de explotación	51
Figura 8 Porcentaje de residuos sólidos sin incluir los residuos contaminados en la etapa de explotación	52

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Tasa de reciclaje de residuos sólidos	69
Ecuación 2 Índice de aprovechamiento de residuos.....	70
Ecuación 3 Reducción de huella de carbono en la gestión de residuos	70
Ecuación 4 Porcentaje de residuos orgánicos aprovechados.....	71
Ecuación 5 Reducción de residuos enviados a disposición final	71
Ecuación 6 Porcentaje de residuos peligrosos gestionados en procesos de circularidad	71
Ecuación 7 Tasa de circularidad de productos	72
Ecuación 8 Valor generado por la reutilización de residuos	72
Ecuación 9 Tasa de reducción en la Generación de residuos (TRGR) en la fuente	73

Resumen

Este proyecto propone la integración de la economía circular como eje transversal en la gestión de residuos sólidos del sector hidrocarburos, en el marco del licenciamiento ambiental otorgado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en Colombia. Se identifica el potencial actual del sector para fortalecer prácticas de economía circular ya existentes mediante trazabilidad de información y un manejo más eficiente y transparente de los residuos generados en las etapas de exploración y explotación.

A través del análisis desarrollado, se identificaron los principales tipos y características de los residuos sólidos del sector, destacando oportunidades de aprovechamiento. Además, se proponen indicadores que permitan medir avances en la gestión de la economía circular, facilitando la toma de decisiones basadas en datos centralizados y contribuyendo a la eficiencia en la gestión de recursos.

El proyecto concluye que la ANLA, desde su capacidad reguladora y fuerza vinculante, tiene la oportunidad de consolidar estas iniciativas mediante la incorporación de estos lineamientos mínimos en los términos de referencia y exigencias del licenciamiento ambiental, promoviendo una transición sostenible en el sector hidrocarburos.

Palabras clave: economía circular, licenciamiento ambiental, hidrocarburos, sostenibilidad, trazabilidad, residuos sólidos.

Abstract

This project proposes integrating the circular economy as a central approach in solid waste management within the hydrocarbons sector, under the environmental licensing framework granted by the Colombian National Environmental Licensing Authority (ANLA). It identifies the sector's current potential to strengthen existing circular economy practices through improved information traceability and a more efficient, transparent waste management during the exploration and exploitation stages.

The analysis conducted highlighted the main types and characteristics of solid waste in the sector, emphasizing opportunities for resource recovery. In addition, indicators are proposed to track progress in circular economy management, enabling data-driven decision-making and enhancing resource management efficiency.

The project concludes that the ANLA, with its regulatory capacity and binding authority, has the opportunity to consolidate these initiatives by incorporating these minimum guidelines into the terms of reference and requirements of environmental licensing, thus promoting a sustainable transition in the hydrocarbons sector.

Keywords: circular economy, environmental licensing, hydrocarbons, sustainability, traceability, solid waste.

Introducción

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) de Colombia es la encargada de que los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental cumplan con la normativa ambiental, de tal manera que contribuyan al desarrollo sostenible ambiental del País. (Artículo 1.1.2.2 Decreto 1076 de 2015). A su vez, la licencia ambiental, es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra o actividad (en adelante POA), que de acuerdo con la ley y los reglamentos, pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje; la cual sujeta al beneficiario de esta, al cumplimiento de los requisitos, términos, condiciones y obligaciones que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada (Artículo Tercero del Decreto 2041 de 2014).

Conforme con lo anterior, se infiere que el Estado interviene entre la sociedad, como titular del medio ambiente sano y las organizaciones empresariales multinacionales o transnacionales, mediante la regulación medio ambiental concretada en la licencia ambiental, para que de este modo se especifique en la práctica el desarrollo humano sostenible, como un concepto de origen internacional que ha exigido a los Estados la implementación de decisiones legislativas para cumplir con la obligación internacional de conservación del medio ambiente sano para el bien de la humanidad, y, de esta manera, transigir la economía de mercado con el planeta (Cárdenas, Carlos 2012).

Así las cosas, mediante el artículo 2.2.2.3.2.2 del Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible 1076 del 26 de mayo de 2015 estableció que, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) tiene la competencia para evaluar y hacer seguimiento de las licencias ambiental en el sector hidrocarburos durante las etapas de exploración y explotación del recurso. La licencia ambiental se otorga por la vida útil del proyecto, obra o actividad y cobijará las fases de construcción, montaje, operación, mantenimiento, desmantelamiento, restauración final, abandono y/o terminación.

Igualmente, los planes de manejo ambiental autorizados por las licencias ambientales y las obligaciones asumidas en el documento resolutivo, se incluyen medidas, acciones y obligaciones relacionadas con el manejo, tratamiento y disposición de los residuos sólidos en las actividades autorizadas. Sin embargo, son encaminadas hacia un modelo lineal, donde el titular de la licencia ambiental solo relaciona la entrega de residuos sólidos a gestores externos autorizados para su tratamiento y disposición, sin involucrar alternativas para la circularidad de los residuos u oportunidades de aprovechamiento en su proceso.

De otro lado, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, presentó la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC), siendo esta, una apuesta del gobierno nacional que nos invita a repensar nuestro modelo de desarrollo, en línea con la propuesta del Plan Nacional de Desarrollo “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad” (Estrategia Nacional de Economía Circular, 2019). La Estrategia nacional de economía circular presenta nuevos elementos para fortalecer el modelo de desarrollo económico, ambiental y social del país, a partir de la lógica de “producir conservando y conservar produciendo” (Estrategia Nacional de Economía Circular, cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. 2019). La consigna de “producir conservando y conservar produciendo” nos impone un reto como sociedad, pues es un cambio de paradigma que nos permitirá migrar hacia un enfoque de eficiencia en el uso de los recursos, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas y el uso circular de los materiales, el agua y la energía. (Estrategia Nacional de Economía Circular, 2019).

La incorporación de la economía circular permitiría proyectar un enfoque que no solo tiene el potencial de transformar la gestión de residuos sólidos en el sector de los hidrocarburos, sino que también podría abrir las puertas a un cambio en la concepción de las licencias ambientales en su evaluación, seguimiento y control. Este enfoque proyecta extender los ciclos de vida de los productos existentes y a crear nuevos ciclos de vida a partir de lo que anteriormente se consideraba una economía línea (VOLTA, 2020).

1. Justificación

El presente trabajo de investigación se desarrolla a partir del interés de aportar lineamientos de la economía circular en el proceso del licenciamiento ambiental aplicado al sector de los hidrocarburos en las etapas de exploración y explotación otorgados por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA. Este sector genera una significativa cantidad de residuos sólidos; por ejemplo, los proyectos analizados en este estudio en las etapas de exploración y explotación reportan una generación conjunta de aproximadamente 6'412.420,78 kg de residuos sólidos al año, destacando la necesidad de una gestión más eficiente y sostenible de estos materiales. Sin embargo, hasta la fecha, las licencias ambientales emitidas por la ANLA apenas rozan la superficie de conceptos y fundamentos de la economía circular, limitándose a ser un trámite de cumplimiento alineados con una economía lineal en la gestión de los residuos sólidos.

Por tanto, es relevante profundizar en las oportunidades de aplicar los lineamientos de la economía circular en la gestión de residuos sólidos del sector de Hidrocarburos licenciados que contemple su manejo y reincorporación, promoviendo la transformación mediante prácticas innovadoras y sostenibles, sin perder de vista el cumplimiento normativo.

En este sentido, se identifican lineamientos ya establecidos y ejecutados por empresas del sector en el ámbito nacional y regional, con el objetivo de contrastarlos y valorar su potencial transformador en la gestión de residuos sólidos dentro del marco del licenciamiento ambiental.

Finalmente, como aporte adicional de esta investigación, se plantean indicadores de gestión basados en prácticas de economía circular ya existentes, adaptándolos al contexto del sector de hidrocarburos en las etapas de exploración y explotación. Esto establece una integración efectiva de principios sostenibles en el proceso de licenciamiento ambiental, promoviendo una gestión de residuos más responsable y circular. Así mismo, con este proyecto de grado, se busca proveer insumos para la implementación de lineamientos concretos y medibles de economía circular para el licenciamiento ambiental en el sector de los hidrocarburos.

2. Marco Referencial

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 *Economía Circular.*

El modelo económico lineal, basado en el paradigma de "tomar-hacer-desechar", se caracteriza por la extracción intensiva de materias primas y su transformación en productos que, al final de su vida útil, suelen convertirse en residuos no reciclados (Lacy, P., Long, J. y Spindler, 2020). Este sistema, altamente extractivo, tiene consecuencias ambientales significativas como la pérdida de biodiversidad, el sobreconsumo de recursos naturales, y la emisión de gases de efecto invernadero, siendo un contribuyente directo al cambio climático (Kowal & Poulter, 2023).

El término "economía circular" se introduce, por primera vez, en el modelo económico desarrollado por David W. Pearce y R. Kerry Turner, basándose en el principio de funcionamiento de la naturaleza, en donde todo es un insumo para todo lo demás (Vasileios, Katja, & Arno, 2017). El concepto es acuñado por los economistas ambientales Pearce y Turner, en el segundo capítulo - La economía circular -de su libro *Economía de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente* (Economics of Natural Resources and The Environment), cuya primera edición es de 1990. Pearce y Turner explican la transición del sistema económico tradicional abierto al sistema económico circular, en el que las interacciones entre la economía y el ambiente deben ser analizadas de forma holística: los sistemas ya sean físicos, biológicos, sociales, económicos, mentales lingüísticos y sus propiedades deben ser analizados en su conjunto y no solo a través de las partes que los componen. Se identifican tres funciones económicas del ambiente: provisión de recursos, soporte del sistema de vida y sumidero de residuos y emisiones. Proponen que, al igual que otras funciones económicas, estas tres funciones básicas deben tener un precio (Pearce & Turner, 1990, págs. 29-40).

Lovins y Howken en el año 1999 plantean dentro del capitalismo natural que “la economía se basa en la producción de bienes y servicios previamente transformados los cuales provienen de una fuente de recursos no renovables” iniciando debates sobre la importancia de aplicar la sostenibilidad dentro de los negocios (Hug, Arenas, y Fosse, 2010 en Castañeda, 2020). Desde esa perspectiva se empieza a desarrollar el concepto “economía circular y sostenible” lo que ha

revolucionado el comportamiento del individuo al momento de no solo consumir un bien o servicio, sino se le otorga una transformación al momento de terminar su uso (García, 2018 en Castañeda, 2020).

El objetivo de la economía circular es desvincular el crecimiento del consumo de recursos escasos o perjudiciales. En un sistema circular, los productos se mantienen en uso productivo durante el mayor tiempo posible y, al final de su uso, se reincorporan al sistema. La economía circular es una transformación sistémica y un mecanismo para la protección y restauración del medio ambiente, incluyendo la tierra, la biodiversidad, los océanos y el clima. Estos beneficios se pueden proporcionar en todas las etapas de la cadena de valor, ya sea mediante la incorporación de criterios circulares en el diseño para usar los materiales de manera más eficiente o recuperando y reciclando recursos al final de la vida útil. (Kowal & Poulter, 2023).

La economía circular es un enfoque económico y de desarrollo que busca optimizar el uso de recursos y minimizar los residuos mediante sistemas que fomenten la reutilización, la regeneración, el reciclaje, entre otros, de materiales y productos. En lugar de un modelo lineal de extracción, producción y eliminación de residuos, la economía circular propone un ciclo continuo donde los recursos se mantienen en uso durante el mayor tiempo posible, reduciendo así el desperdicio y la dependencia de recursos naturales finitos. Esto implica repensar los diseños de productos, mejorar la eficiencia en el uso de recursos, promover la práctica de los sistemas y fomentar la colaboración entre diferentes sectores y actores para cerrar los ciclos de materiales. La economía circular no solo es beneficiosa para el planeta, sino que presenta una oportunidad comercial sustancial, con un valor estimado en juego de 4.5 billones de dólares para 2030. (Lacy, P., Long, J. and Spindler, 2020).

De igual forma, adoptar la circularidad ofrece múltiples beneficios para las organizaciones, en los que, si incluyen la realización de valor financiero, agilidad y resiliencia de la cadena de suministro, e impacto ambiental positivo, hay notables ahorros de eficiencia que vienen con la transición a una economía circular con un estimado de 1 billón de dólares que podrían ser ahorrados en materiales para 2025, según la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONU DI). Además, los consumidores han expresado una clara preferencia

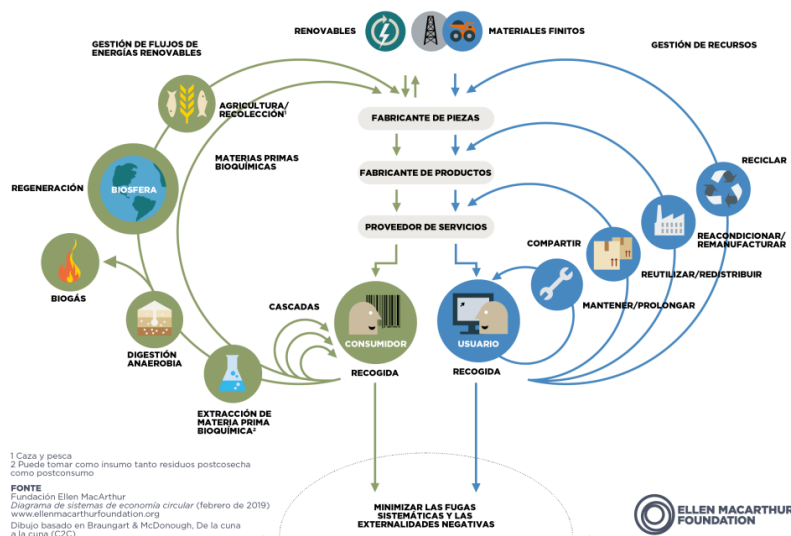
por la circularidad, con un 40% considerando fuertemente los atributos impulsados por valores en su toma de decisiones. (Kowal & Poulter, 2023).

La economía circular se basa en tres principios, todos impulsados por el diseño: Eliminar los residuos y la contaminación, circular los productos y materiales (en su valor más alto) y regenerar la naturaleza. Se respalda en una transición hacia energías y materiales renovables. Una economía circular desvincula la actividad económica del consumo de recursos finitos. Es un sistema resiliente, bueno para las empresas, las personas y el medio ambiente (Fundación Ellen MacArthur).

La Economía Circular como sistema busca regenerar los recursos, de los que somos dependientes para nuestro desarrollo como humanidad, en equilibrio con (y desacoplamiento de los impactos sobre) los ecosistemas. Tal como se observa en la Figura 1, el diagrama de la Mariposa (EMF, 2014) nos permite visualizar cómo los recursos de origen biológico y técnico deben ser reincorporados a nuevos ciclos económicos, evitando que se pierda el valor que se ha añadido a lo largo de su ciclo de vida. En otras palabras, “el ciclo del valor” (curso economía circular, maestría en sostenibilidad - UPB, 2023).

Figura 1

El diagrama del sistema de economía circular



Nota: Fundación Ellen MacArthur

La circularidad ayudaría significativamente a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Modificar los métodos de diseño, producción y consumo permitiría la eliminación de hasta 9.300 millones de toneladas de CO₂ para 2050, equivalente a casi la mitad de las emisiones producidas por la manufactura de bienes. (Ellen MacArthur Foundation 2019), esta reducción se compara con la eliminación total de las emisiones actuales de todo el transporte mundial. Además, Kirchherr et al. (2018) señalan que, en la Unión Europea, la principal barrera para la transición hacia la economía circular es de naturaleza cultural, exacerbada por la falta de interés y conciencia de los consumidores, así como por una cultura empresarial inconstante. El nuevo Plan de Acción para la Economía Circular, presentado por la Comisión Europea como parte fundamental del Pacto Verde Europeo, resalta la importancia de acciones dirigidas al diseño sostenible de los productos y el empoderamiento de los consumidores (Comisión Europea, 2020).

Convertirse en un negocio circular implica transformar las cadenas de valor completas y crear un sistema en el que se elimine todo tipo de desperdicio, en la medida de lo posible. También significa hacer opciones sostenibles disponibles para los consumidores e impulsar su motivación para adquirirlas. La culminación de los esfuerzos empresariales ayudará al mundo a avanzar hacia ser netamente positivo, es decir, devolver más al medio ambiente, la sociedad y la economía global de lo que se extrae, y asegurar la restauración de los ecosistemas naturales y los resultados de sostenibilidad ambiental (Kowal & Poulter, 2023)

2.1.2 Sector de los hidrocarburos (etapas de exploración y explotación)

En primer lugar, los hidrocarburos son recursos naturales que se encuentran en forma líquida o gaseosa bajo la superficie terrestre. Cuando están en estado líquido, se denominan petróleo, y en estado gaseoso, gas natural. Estos compuestos se forman por la descomposición y transformación de restos orgánicos (animales y plantas) que han permanecido enterrados a grandes profundidades durante millones de años.

El petróleo y el gas natural se encuentran enterrados a profundidades que varían entre unos pocos metros hasta casi 6000 metros. El hidrocarburo queda prisionero en las profundidades al no poder desplazarse entre rocas impermeables o por fallas estructurales, formándose así trampas naturales. La única manera de saber si hay petróleo en un sitio es mediante la perforación

exploratoria con el fin de detectar los lugares (trampas) en donde se encuentra el petróleo. Para lo anterior, se realiza la perforación de pozos a profundidades desde los 2.000 a 25.000 pies, cuya finalidad es llegar hasta la capa de roca donde posiblemente se almacenaron los hidrocarburos (petróleo y gas). En resumen, las etapas y actividades en la exploración de los hidrocarburos se muestran a continuación:

Tabla 1
Etapas y actividades en la exploración de los hidrocarburos

Etapa del Proyecto	Subetapa	Actividades	Generación de residuos		
			SI	NO	
Etapa Constructiva	Etapa preoperativa	Socialización y participación comunitaria		X	
	Actividades comunes	Localización y replanteo	X		
		Instalación y operación de frentes de obra temporales	X		
		Operación de maquinaria y equipos	X		
		Desmonte y descapote	X		
		Movimiento de tierras (Excavaciones, Cortes y Rellenos)	X		
		Obras de geotecnia y estabilización de taludes	X		
		Cuneteado, nivelación y compactación del terreno	X		
	Adecuación de la locación	Construcción y/o adecuación del sistema de escorrentía	X		
		Construcción y/o adecuación de estructuras en concreto y cimentaciones	X		
	Sistemas eléctricos	Conexión eléctrica (Instalación de postes, tendido de cableado, conexiones a equipos)	X		
		Montaje e instalación de facilidades de producción y sistema eléctrico (transformador y subestación eléctrica)	X		
		Apertura de zanja	X		
	Líneas de flujo	Acopio, tendido de tubería	X		
		Soldadura, sandblasting y pruebas radiográficas de tubería	X		
		Instalación de tubería y accesorios	X		
		Instalación estructuras de soporte (marcos H)	X		
		Pruebas Hidrostáticas	X		
	Etapa operativa	Operación de pozo	Instalación y operación de campamentos	X	

Etapa del Proyecto	Subetapa	Actividades	Generación de residuos		
			SI	NO	
	Operación sistema eléctrico	Trabajos en pozo (perforación, producción, workover)	X		
		Operación de sistema de suministro de energía eléctrica	X		
		Autogeneración eléctrica a partir de gas	X		
	Mantenimiento	Mantenimiento de vías y obras de drenaje	X		
		Mantenimiento del sistema de suministro eléctrico	X		
		Mantenimiento de facilidades de producción	X		
		Mantenimiento de líneas de flujo (trabajos en tubería)	X		
	Etapa post-operativa	Desmantelamiento, abandono y recuperación ambiental	Mantenimiento de cobertura vegetal (rocería)	X	
			Desmantelamiento de infraestructura, líneas de flujo, facilidades y plataformas, incluye demolición	X	
			Cierre y abandono de pozos		X
Limpieza de áreas abandonadas			X		
Restauración paisajística de áreas afectadas y revegetalización				X	
		Cierre del plan de gestión social		X	

Nota: Ajustado por el autor.

La etapa de explotación comienza a partir de los resultados positivos obtenidos en la fase de exploración, aprovechando la infraestructura existente y ampliándola mediante la conversión de pozos exploratorios a pozos de explotación, además de la adecuación de facilidades de producción para optimizar la extracción de crudo y/o gas de los yacimientos asignados. Este proceso incluye la extracción del fluido de producción, su tratamiento químico con productos como rompedores de emulsión, antiespumantes e inhibidores de parafinas, y su posterior conducción a un sistema de separación compuesto por separadores trifásicos (crudo, agua y gas), tratadores electrostáticos y un Gun Barrel, con el objetivo de obtener un crudo con calidad comercial. Para iniciar esta etapa es indispensable tramitar una nueva licencia ambiental, autorizando las actividades requeridas en esta fase. Las etapas y actividades en la explotación de los hidrocarburos se muestran a continuación:

Tabla 2*Etapas y actividades en la explotación de los hidrocarburos*

Etapa del Proyecto	Subetapa	Actividades	Generación de residuos		
			SI	NO	
ETAPA PREOPERATIVA		Socialización y participación comunitaria		X	
	Adecuación y/o mantenimiento de vías existentes	Mantenimiento vía.	X		
	Adecuación de locaciones	Ampliación de locaciones	X		
	Construcción, operación y/o mantenimiento de líneas de flujos	Proyectos específicos	X		
ETAPA OPERATIVA	Operación de pozo	Instalación y operación de campamentos	X		
		Perforación de nuevos pozos productores	X		
		Pruebas de producción.			
			Trabajos en pozo (perforación, producción, workover)	X	
	Operación de facilidades de producción		Funcionamiento de la Tea	X	
			Operación de las facilidades y sistemas de separación de fluidos	X	
	Operación sistema eléctrico		Operación de sistema de suministro de energía eléctrica	X	
			Autogeneración eléctrica a partir de gas	X	
	Mantenimiento		Mantenimiento de vías y obras de drenaje	X	
			Mantenimiento del sistema de suministro eléctrico	X	
		Mantenimiento de facilidades de producción	X		
		Mantenimiento de líneas de flujo (trabajos en tubería)	X		
		Mantenimiento de cobertura vegetal (rocería)	X		
ETAPA POST-OPERATIVA	Desmantelamiento, abandono y recuperación ambiental	Desmantelamiento de infraestructura, líneas de flujo, facilidades y plataformas, incluye demolición	X		
		Cierre y abandono de pozos		X	
		Limpieza de áreas abandonadas	X		
		Restauración paisajística de áreas afectadas y revegetalización		X	
		Cierre del plan de gestión social		X	

Nota: Ajustado por el autor.

Entre las etapas de exploración y explotación se observan actividades similares, diferenciándose principalmente en la operación de las facilidades de producción, la ampliación de

locaciones y la perforación de pozos adicionales, según los resultados positivos obtenidos en las trampas donde se encuentra el hidrocarburo. En ambas etapas, la generación de residuos es comparable, variando únicamente en la cantidad producida, y se clasifica en tres categorías principales: residuos ordinarios, que incluyen aquellos generados por el personal durante las diferentes fases del proyecto; residuos industriales, relacionados con las actividades constructivas y los materiales sobrantes; y residuos peligrosos, que comprenden los químicos o materiales residuales derivados de las pruebas y manipulación de productos químicos durante las etapas de construcción, operación y desmantelamiento.

Estos residuos deben ser almacenados de acuerdo con su posibilidad de aprovechamiento por gestores externos o dispuestos de manera especial cuando su naturaleza lo requiera. Es importante señalar que, actualmente, los titulares de licencias ambientales están obligados a gestionar los residuos sólidos conforme a las disposiciones establecidas en el artículo 4 de la Resolución 2184 de 2019, vigente desde el 1 de enero de 2021, la cual establece la unificación de los códigos de colores para la clasificación de residuos en todas las áreas, como se detalla a continuación:

Tabla 3
Segregación de residuos sólidos.

Color caneca - bolsa	Tipo de residuos
Verde	Residuos orgánicos aprovechables (Incluye restos de comida cruda como cáscaras de fruta, verdura, pan restos de poda etc.)
Negro	Residuos No aprovechables (Incluye: papel higiénico, paños húmedos, servilletas, cartones contaminados con comida, papel encerado, EPPs para prevención del COVID etc.)
Gris	Residuos Aprovechables (incluye: Plástico, vidrio, metales, cartón, papel)
Rojo	Residuos de atención medica Residuos Impregnados de Hidrocarburos

Nota: Ajustado por el autor.

Se resalta que, respecto a la representatividad del sector de hidrocarburos en el proceso de licenciamiento en Colombia, cabe destacar que este sector registra el mayor número de licencias ambientales, cubriendo una parte significativa del territorio nacional. Las principales áreas de

operación se concentran en las regiones Andina, Orinoquía y Caribe, como se ilustra en la siguiente figura:

Figura 2

Representatividad del sector hidrocarburos en el proceso de licenciamiento en Colombia



Nota: Geovisor AGIL, ANLA. Consultado el 11/11/2024.

Por tanto, se resalta el paradigma en la minimización de los residuos sólidos en el sector de los hidrocarburos, dado la extensión, cobertura y representatividad de este tipo de proyectos en el país, donde su generación está ligada en una economía circular desde la perspectiva de su seguimiento y control ante las entidades ambientales.

2.1.3 Rol de la ANLA en los procesos de licenciamiento ambiental en el sector de los hidrocarburos.

Inicialmente, es preciso señalar que, en Colombia, mediante la Ley 99 de 1993, se creó el Ministerio del Medio Ambiente y se reorganizó el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Esto dio lugar a la creación del Sistema Nacional Ambiental (SINA), que comprende un conjunto de orientaciones, normas,

actividades, recursos, programas e instituciones que facilitan la implementación de los principios generales ambientales.

De acuerdo con lo anterior, el sector ambiental en Colombia está estructurado en tres niveles: central, descentralizado y organismos autónomos. Dentro del sector central se encuentra el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, así como unidades administrativas especiales sin personería jurídica, entre las cuales se incluye la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

La estructura del Sistema Nacional Ambiental (SINA) está diseñada para garantizar la sostenibilidad en las políticas y acciones ambientales. En el sector central, destacan el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la ANLA, que gestiona el licenciamiento y seguimiento ambiental y Parques Nacionales Naturales de Colombia, que protege ecosistemas estratégicos. El sector descentralizado incluye entidades como el IDEAM, que genera información técnica, e institutos de investigación como INVEMAR y el Instituto Humboldt, especializados en biodiversidad. Las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs), como organismos autónomos, implementan las políticas ambientales a nivel territorial. Esta organización asegura la coordinación desde lo nacional hasta lo local para enfrentar los retos ambientales. A continuación, se presenta un diagrama que ilustra la estructura del sector ambiental en el país

En línea con lo anterior, mediante el Decreto 3573 del 27 de septiembre de 2011, se creó la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), encargada de garantizar que los proyectos, obras o actividades sujetos a licenciamiento, permisos o trámites ambientales cumplan con la normativa ambiental vigente, contribuyendo de esta forma al desarrollo sostenible del país.

Dentro de las competencias establecidas en el Decreto 1076 de 2015 (Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente), la ANLA tiene la facultad de otorgar o negar, de manera privativa, licencias ambientales para sectores estratégicos, como el sector hidrocarburos. Entre las actividades del sector hidrocarburos que requieren licenciamiento ambiental, se incluyen:

- Los proyectos de perforación exploratoria por fuera de campos de producción de hidrocarburos existentes, de acuerdo con el área de interés que declare el peticionario;

- La explotación de hidrocarburos que incluye, la perforación de los pozos de cualquier tipo, la construcción de instalaciones propias de la actividad, las obras complementarias incluidas el transporte interno de fluidos del campo por ductos, el almacenamiento interno, vías internas y demás infraestructuras asociada y conexas.

Es importante señalar que, conforme con el Decreto 2041 de 2014, se definió la licencia ambiental como una autorización otorgada por la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra o actividad que, de acuerdo con la ley y los reglamentos, pueda producir un deterioro grave de los recursos naturales renovables o del medio ambiente, o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje. Dicha licencia sujeta al beneficiario al cumplimiento de los requisitos, términos, condiciones y obligaciones establecidas, en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada.

De igual forma, la ANLA realiza el control y seguimiento de las licencias ambientales otorgadas con el objetivo de corroborar que los proyectos (en este caso, del sector hidrocarburos) cumplan con las obligaciones contenidas en sus licencias respectivas y con las medidas de manejo ambiental planteadas en el Plan de Manejo Ambiental (PMA) específico de cada proyecto.

Por otro lado, la ANLA ha establecido los criterios mínimos que deben ser presentados por los solicitantes de licencias ambientales, de acuerdo con la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales (MGPEA) y los Términos de Referencia (TdR) expedidos para cada actividad. El cual para este caso de estudio se encuentran:

- M-M-INA-01 Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental para los proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos establecidos por la Resolución 0421 del 20 de marzo de 2014.
- HI-TER-1-03 Términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para los proyectos de explotación de hidrocarburos establecidos por la Resolución 1543 del 6 de agosto de 2010.

Con relación a la etapa de exploración de hidrocarburos en cuento a los criterios mínimos a presentar por parte de los solicitantes se establece:

“Con base en las características del proyecto se debe presentar la siguiente información:

- *Clasificación de los residuos sólidos (aprovechables, especiales, de construcción y demolición, ordinarios, etc de acuerdo con lo establecido en el Decreto 2981 de 2013) y residuos peligrosos.*
- *Estimación de los volúmenes de residuos sólidos y peligrosos a generarse en desarrollo del proyecto.*
- *Propuesta de manejo de cada tipo de residuo: almacenamiento, transporte interno y externo, aprovechamiento (reutilización, reciclaje, incineración con fines de generación de energía, compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos) y tratamiento.*
- *Alternativas de disposición final seleccionadas e infraestructura asociada cuando el manejo no lo haga un tercero.*

Para el manejo de los residuos sólidos la empresa deberá considerar el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (en adelante PGIRS) del municipio, la Resolución 541 del 14 de diciembre de 1994 “por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación” y las demás normas vigentes sobre la materia.

El manejo de residuos peligrosos debe realizarse basado en lo establecido en la Ley 1252 de 2008 y el Decreto 4741 de 2005 “por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral”, o aquel que lo adicione, modifique o sustituya.

Para el manejo de residuos por parte del usuario se deben identificar los impactos previsibles y plantear las correspondientes medidas de manejo. Las instalaciones respectivas se deben presentar en mapas a escala de 1:5.000 o mayor tal que permita la lectura adecuada de la información.”

De igual forma, con relación a la etapa de explotación de hidrocarburos en cuento a los criterios mínimos a presentar por parte de los solicitantes se establece:

“Con base en la caracterización del área de influencia, para la autorización del manejo integral de los residuos sólidos se debe presentar la siguiente información:

- *Clasificación de los residuos domésticos, industriales y especiales.*
- *Estimar los volúmenes de residuos sólidos a generarse*
- *Identificación de Impactos ambientales previsibles.*
- *Alternativas de tratamiento, manejo, transporte y disposición final e infraestructura asociada.*

Cuando la empresa genere residuos post-consumo para los cuales exista reglamentación vigente, deberá presentar la gestión de los mismos.

Cuando se requiera realizar el manejo, transporte y disposición de materiales sobrantes de excavación, para las alternativas de disposición propuestas se debe incluir como mínimo lo siguiente:

- *Localización georreferenciada y planos topográficos con planimetría y altimetría.*
- *Relación de los volúmenes de material a disponer en cada uno de los sitios identificados, indicando su procedencia.*
- *Análisis de la capacidad portante del sitio con respecto al volumen a disponer.*
- *Diseños y obras tipo de la disposición que garanticen su estabilidad en planos a escala 1:2000 o mayores.*
- *Ubicación de las vías de acceso al sitio, diseño y medidas de manejo ambiental para su construcción y operación.*
- *Propuesta de adecuación final del relleno y programa de revegetalización (diseño paisajístico)”*

Como se observa con la información referida, los criterios empleados por la ANLA no promueven de manera tácita el uso circular de los residuos sólidos ni la extensión de la vida útil de los materiales en los procesos de exploración y explotación de hidrocarburos.

3. Estado del Arte

3.1 Principios de economía circular a nivel gubernamental y legislativo a nivel internacional y nacional.

Cuando se trata de los desafíos asociados con la circularidad, tal vez la falta de políticas se destaque como el principal factor que puede hacer o deshacer el nuevo movimiento. Al igual que el petróleo y el gas, los componentes del sector solar, como el plomo, siguen siendo imposibles de reciclar. Idealmente, estos materiales difíciles de eliminar podrían rescatarse mediante la economía circular, donde los materiales residuales podrían convertirse nuevamente en algo útil. (Cholteeva, 2021)

Desde el ámbito internacional, en el continente asiático, Japón introdujo el concepto de Sociedad del Ciclo Sólido de Materiales a principios de la década de 2000 con su Ley básica para el establecimiento de una Sociedad Circular, siendo uno de los primeros países en adoptar los principios de la economía circular. En china sobre el año 2008 se promulga La Ley de Promoción de la Economía Circular y es una de las primeras legislaciones sobre economía circular del mundo. Su objetivo es mejorar las tasas de utilización de los recursos de forma ambientalmente sostenible, centrándose en la reducción, la reutilización y el reciclaje, principalmente, en un contexto industrial, esta ley obliga a las empresas a reducir el consumo de recursos y la producción de residuos, en gran parte aprovechando las sinergias entre ellos.

De igual forma, en países europeos como Países Bajos se ha trazado un rumbo hacia una economía circular con su Programa de Gobierno “Para una economía circular”. El objetivo del plan es desarrollar una economía circular en el país para el año 2050. Entre sus objetivos intermedios se destaca una reducción del 50% en el uso de materias primas primarias (minerales, fósiles y metales) para el 2030. Se enfoca en áreas clave como la biomasa y los alimentos, los plásticos, la industria manufacturera, el sector de la construcción y los bienes de consumo. Asimismo, en Ámsterdam, se ha llevado a cabo un análisis, llamado City Circle Scan, estudio que identifica áreas en las que se pueden aplicar modelos de negocios circulares y destaca estrategias para lograr la implementación de estas soluciones sostenibles incluyendo una hoja de ruta y una agenda de acción que trazan el camino hacia una economía circular en la ciudad y la región.

Finlandia presenta una política nacional integral denominada El Mapa de Plásticos para Finlandia 2.0, que busca un avance significativo hacia la economía circular de los plásticos para el año 2030. Este plan se compone de una serie de acciones que tienen como objetivos reducir la contaminación ambiental y otros daños causados por los plásticos, evitar el consumo innecesario, promover la reutilización y mejorar el reciclaje de los productos plásticos, así como sustituir el plástico virgen fabricado a partir de materias primas fósiles por plásticos reciclados o materiales renovables producidos de manera sostenible abarcando un espectro amplio de acciones con el fin de transformar el ciclo de vida de los plásticos.

Según Kirchherr et al. (2018) señalan que, en la Unión Europea, la principal barrera para la transición hacia la economía circular es de naturaleza cultural, exacerbada por la falta de interés y conciencia de los consumidores, así como por una cultura empresarial inconstante. El nuevo Plan de Acción para la Economía Circular, presentado por la Comisión Europea como parte fundamental del Pacto Verde Europeo, resalta la importancia de acciones dirigidas al diseño sostenible de los productos y el empoderamiento de los consumidores (Comisión Europea, 2020).

Incentivar y acelerar la escala de nuevas soluciones circulares; se pueden utilizar los fondos públicos para habilitar y acelerar la escala de soluciones comerciales circulares. Los gastos gubernamentales en países OCDE aportaron entre 25% y 57% del PIB en el 2015. Además, se podrían incluir criterios de intensidad de CO₂ y economía circular en licitaciones de contratos públicos, lo que incentivaría la innovación de mercado en la economía circular, así como investigación de respaldo, desarrollo de capacidad, demostraciones y proyectos en etapa inicial. Por ejemplo, la ciudad de Toronto ha establecido un plan y marco de implementación de adquisición de economía circular, que ejecuta un piloto inicial de tres años antes de proporcionar las recomendaciones en el 2021. También vale la pena observar que los criterios de la política europea de contratación pública ecológica incluyeron componentes de economía circular. (Ellen MacArthur, 2019)

Establecer regulaciones habilitadoras Las regulaciones pueden promover la reutilización de recursos y la reducción de residuos. Los estándares existentes deben enmendarse para facilitar soluciones de bajas emisiones, por ejemplo, establecer un máximo de contenido de cemento en el

concreto. Cuotas y estándares para la intensidad de CO₂, reusabilidad, reciclabilidad y capacidad de reparación de productos y materiales pueden permitir la escala de materiales y productos secundarios, mientras se obtiene un impacto positivo en la durabilidad de algunos productos. Por ejemplo, como parte de su inminente ley de economía circular, Francia está trabajando en un índice de capacidad de reparación y busca prohibir la destrucción de bienes no vendidos. (Ellen MacArthur, 2019)

Desde una perspectiva del continente países como Chile ha destacado mundialmente al sumarse a la visión de la Nueva Economía del Plástico, liderada por la Ellen MacArthur Foundation. Este movimiento, del cual Chile fue el tercer país en adherirse luego del Reino Unido y Francia, se enfoca en facilitar el intercambio de información entre naciones para implementar compromisos adquiridos por grandes empresas en conjunto con el Gobierno, propiciando la transición hacia una economía circular del plástico. Esta iniciativa ha impulsado la definición de una hoja de ruta nacional en Chile para el uso responsable de plásticos en la industria, estableciendo pautas para todos los actores involucrados en la cadena de valor del plástico.

Otro ejemplo, es México el cual desarrolla actualmente una serie de políticas y regulaciones tanto a nivel nacional como local que apuntan hacia la reducción de residuos y la promoción de una economía más circular. De igual forma, iniciativas como el Plan de Acción para una Economía Circular en la Ciudad de México buscan alcanzar el objetivo de cero residuos a través de estrategias que incluyen la reducción del embalaje, regulaciones para disminuir los productos de un solo uso, hasta una gestión apropiada de residuos con énfasis en una infraestructura mejorada, la creación de cooperativas y microempresas para el manejo de desechos, campañas educativas y la reducción de emisiones hasta en un 73%. Así mismo, normativas recientes, como el Decreto de la Ley de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático y Desarrollo Sustentable de la Ciudad de México, destacan la economía circular como un enfoque fundamental dentro de la política estatal, subrayando la importancia de este enfoque en la mitigación del cambio climático. Escenario que se complementan con normativas específicas a nivel estatal

La medición de la economía circular es una fuente de oportunidades para las empresas, como por ejemplo el poder conocer el valor que las iniciativas circulares están generando a la organización; la integración progresiva de la circularidad en todo el modelo empresarial en base a

datos de impacto; la gestión de los riesgos asociados al modelo lineal existente, o el impulso de una gestión responsable que dé lugar a una triple cuenta de resultados (económica, social y ambiental) (Vilariño, 2019). En el contexto de la economía circular es fundamental identificar el rol que desarrollarían los formuladores de políticas para incentivar, movilizar y acelerar la transición hacia una economía circular con emisiones neta cero.

Al planificar las renovaciones y reemplazo de la infraestructura, se presenta la oportunidad de considerar diseños bajos en carbono, eficientes energéticamente, modulares, reparables y adaptables, duraderos o robustos, y fabricados con materiales secundarios. Una exhaustiva base de datos de activos en el gobierno local, como la desarrollada por la ciudad de Winnipeg, puede ayudar a brindar un panorama más claro del porcentaje y tipo de activos de la ciudad que son subutilizados, tienen bajo rendimiento y se están deteriorando debido al mal mantenimiento, diseño o final de vida útil. Junto con indicadores de rendimiento de la economía circular y registros del material, este tipo de conocimiento puede conllevar a un mejor uso y mantenimiento de los activos. (Ellen MacArthur, 2019).

En Colombia se han establecido lineamientos y normas para promover la sostenibilidad, como la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, Política Nacional de Educación Ambiental, la Estrategia Nacional de Economía Circular, el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, entre otros. Estas normas buscan garantizar el uso sostenible de los recursos naturales, promover el desarrollo económico sostenible, mejorar la calidad de vida de la población y asegurar la protección de los derechos humanos y la diversidad cultural, todas estas normas y lineamientos orientan la adopción y aplicación de la sostenibilidad en Colombia, con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible y justo para todas las personas y comunidades. En línea con lo anterior, inicialmente la Estrategia Nacional de Economía Circular publicada en 2019, que busca reducir la generación de residuos, fomentar la reutilización y el reciclaje de materiales a través de líneas para la Transición como lo son, Modelos de Negocio, Cadenas de Valor y Suministro Sostenible, Ciudades Sostenibles, Parques Industriales Ecoeficientes, Responsabilidad Extendida del Productor, Consumo Sostenible y Comunicación y Cultura ciudadana

De igual forma, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), dentro de la responsabilidad extendida del productor – REP, se encuentra la gestión de residuos posconsumo,

la cual se puede definir como un instrumento que obliga a los fabricantes e importadores de ciertos productos de consumo masivo, a organizar, desarrollar y financiar la gestión integral de los residuos derivados de sus productos, una vez el consumidor final los desecha o descarta.

Desde la perspectiva en el manejo de los residuos sólidos, a nivel de gobernanza, Colombia ha adoptado normatividad para la gestión en su manejo, tratamiento y disposición como es el Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005 emitido por el actual MADS, el cual tiene como objeto prevenir la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regular el manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente. No obstante, es pertinente señalar que su momento de emisión no se establecieron obligaciones relacionadas con los principios de la economía circular.

Posteriormente, se emitió el Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un Solo Uso en Colombia, siendo esta una estrategia destinada a combatir la contaminación por plásticos, con el objetivo de minimizar sus impactos negativos en los ecosistemas para 2030. Este plan se centra en acciones clave como la sustitución gradual de plásticos de un solo uso por alternativas sostenibles, mejora en la gestión de residuos, fomento de productos reutilizables, y la regulación en el uso de plásticos, especialmente en áreas sensibles como los Parques Nacionales. Además, incorpora iniciativas transversales como investigación, ecodiseño, y programas educativos, junto con la implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) para asegurar una gestión responsable de los residuos.

Con lo anterior, Colombia por medio del congreso emitió la Ley 2232 de 2022 el cual establece medidas para la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso en Colombia que generan una fuerte contaminación en los ecosistemas y daños irremediables a la biodiversidad. Su fundamento consiste en proteger los derechos fundamentales a la vida, la salud y un ambiente sano. Con esto se promueve la sustitución gradual de estos plásticos por alternativas sostenibles y se fomenta su cierre de ciclos. Esta legislación busca que el 100% de los plásticos de un solo uso puestos en el mercado sean reutilizables, reciclables o compostables. Además, se promueve el uso de materiales reciclados en productos plásticos.

De igual forma, Colombia contempló el programa Basura Cero establecido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio el cual tiene como objetivo principal eliminar el enterramiento de residuos y promover un modelo de gestión integral y sostenible. A través de este programa, se busca articular esfuerzos entre el gobierno nacional, las entidades territoriales, las empresas de servicios públicos y la sociedad civil, con un enfoque en la inclusión de la población recicladora y sus organizaciones, promoviendo su integración socioeconómica. El programa también define los aspectos regulatorios y de supervisión necesarios para avanzar en la iniciativa, impulsando el desarrollo de parques tecnológicos y ambientales para el tratamiento y valorización de residuos. Además, se prioriza la conservación del medio ambiente, la mitigación del cambio climático y la implementación de soluciones que fomenten la economía circular, contribuyendo al cierre definitivo de los botaderos a cielo abierto y celdas transitorias. Esto está alineado con las políticas de sostenibilidad y economía circular del país, las cuales buscan transformar los residuos en recursos, cerrando ciclos y promoviendo el uso eficiente de los materiales.

El seguimiento ambiental, encabezada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), es la encargada de garantizar que los proyectos, obras o actividades (POA) sujetos a licenciamiento cumplan con la normativa para contribuir al desarrollo sostenible del país (Decreto 1076 de 2015). La licencia ambiental, como autorización otorgada por la autoridad competente, impone requisitos, condiciones y obligaciones para mitigar los impactos ambientales (Decreto 2041 de 2014). Esta intervención entre la sociedad y las entidades empresariales establece la necesidad de conservar el medio ambiente en armonía con el desarrollo humano sostenible (Cárdenas, 2012). En ese sentido, la industria de los hidrocarburos ha visto una gran oportunidad en adoptar este modelo, principalmente a través del manejo de lodos, la reducción en el consumo de materiales, la valorización y el aprovechamiento de residuos, el uso eficiente y la protección del recurso hídrico, y el acceso a energía menos contaminante; y en la parte baja de la cadena, a través de la reutilización continua de los aceites usados. (Lloreda, 2019).

3.2 Adopción de los principios de la economía circular en el sector empresarial de los hidrocarburos.

Ahora bien, con respecto a los avances en el sector de hidrocarburos con respecto a la economía circular, según la Asociación Colombiana del Petróleo y Gas (2023), las empresas del

sector de hidrocarburos están comprometidas con la descarbonización de sus operaciones y han adoptado estrategias de economía circular en la operación de sus campos para optimizar el uso de los recursos, entre los cuales están Ecopetrol, Frontera Energy, GeoPark, Hocol, Parex Resources, y Terpel, los cuales están adoptando estrategias de economía circular para optimizar el uso de recursos y gestionar de manera más sostenible los residuos.

Un ejemplo por mencionar es el proyecto SAARA (Sistema de Aprovechamiento de Agua para Reúso Agrícola) de Frontera Energy donde se emplean grandes volúmenes de agua para su reutilización en agricultura no alimentaria además con el fin de aumentar el porcentaje de aprovechamiento de los residuos que genera en sus actividades, la operadora creó dotación sostenible para disponer de manera adecuada de los elementos de protección personal (EPP) que ya no están en uso, tales como jeans, camisas, overoles, botas de seguridad, arneses, camisetas y cascos. Esto les ha generado mejores eficiencias y ahorros, lo que les ha permitido reducir la contaminación que hace unos años generaban por este frente; de igual forma, la iniciativa de Ecopetrol que integra la economía circular como un habilitador transversal para sus metas de sostenibilidad, en el campo Ocelote, en Puerto Gaitán (Meta) el 99,3 por ciento del material plástico generado se reincorpora a la cadena productiva, gracias a la colaboración con la empresa Verde Cristal. Esta compañía, capacitada y equipada por Hocol, recopila y compacta el material plástico para su posterior paletización y comercialización en la ciudad de Villavicencio y los esfuerzos de GeoPark para transformar residuos orgánicos en abono mejorando la eficiencia operativa, reduciendo los residuos en cumplimiento de objetivos de sostenibilidad y descarbonización.

El modelo de Economía Circular del Grupo Ecopetrol, siendo la principal compañía petrolera del país, se enmarca en la promoción de un consumo y producción más sostenibles (alineados con el Objetivo de Desarrollo Sostenible - ODS 12), enfocándose en regenerar sistemas naturales, mantener los productos y materiales en uso, y minimizar el consumo de recursos y la generación de residuos y emisiones de CO₂, contribuyendo así a reducir los impactos ambientales y sociales negativos. Este enfoque se entiende como un facilitador clave para alcanzar las metas de la compañía en términos de transición energética, logro de cero emisiones netas de carbono, reducción de la huella hídrica y cierre de ciclos de materiales y residuos, generando oportunidades para el crecimiento, la innovación y la creación de empleo. Los pilares del modelo incluyen el fomento de una cultura de economía circular mediante una gestión efectiva del cambio y

comunicación, la mejora en la eficacia del uso de recursos, emisiones y manejo de residuos, el apoyo a la conservación del capital natural y social en las áreas operativas, el rediseño de productos, procesos y servicios para incorporar principios circulares, y la evaluación del nivel de circularidad de la organización frente a estándares nacionales e internacionales. Estos componentes trabajan de manera integrada dentro de la estrategia de sostenibilidad de Ecopetrol para avanzar hacia la implementación y desarrollo de iniciativas circulares.

Conforme con lo anterior, es evidente que el sector de hidrocarburos está adoptando principios de economía circular para mejorar la gestión de residuos en sus operaciones. En las refinerías de petróleo, los residuos como aceites usados, plásticos y metales, que tradicionalmente eran desechos, ahora se están reutilizando o transformando en nuevos productos. Estos procesos incluyen el reciclaje de plásticos no reciclables y la conversión de residuos en productos químicos renovables a través de tecnologías avanzadas como el pirólisis. De igual forma, la iniciativa descrita en “FasterCapital” muestra cómo las refinerías están implementando la economía circular al convertir las sobras de los procesos de refinación en recursos valiosos. Al reciclar y reutilizar estos materiales, se contribuye a la sostenibilidad del sector y se optimizan los recursos, cerrando el ciclo de materiales y reduciendo los impactos ambientales. Esta transición no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también promueve la descarbonización de la industria.

Ecopetrol ha implementado una hoja de ruta para la transición hacia la economía circular, enfocándose en el cierre del ciclo de materiales y residuos. Esta estrategia incluye metas de reducción y aprovechamiento de residuos, así como la certificación del sistema de gestión "Basura Cero", que permite mejorar las métricas de circularidad. De igual forma, ha implementado una línea de negocio enfocada en la producción de asfalto ecológico, contribuyendo a la sostenibilidad y al reciclaje de plásticos y llantas en Colombia. En colaboración con MPI, una empresa especializada en asfaltos, han utilizado más de 7 millones de bolsas plásticas para pavimentar vías en ciudades como Bogotá, Medellín, Bucaramanga y en el Meta. Este asfalto modificado, que incorpora plástico reciclado, ofrece mayor durabilidad y resistencia en comparación con el asfalto convencional. Además, en mayo de 2023, exportaron 350 toneladas de este asfalto a Centroamérica, ampliando su impacto ambiental positivo. Este proyecto ha sido reconocido en la categoría de Innovación en los Premios Portafolio, destacando su contribución a la reducción de residuos plásticos y al apoyo a los recicladores del país.

Como parte de los procesos de economía circular, Smurfit Kappa Colombia ha desarrollado importantes iniciativas para la gestión sostenible de residuos, particularmente en el reciclaje de papel y cartón. La empresa se ha consolidado como el mayor reciclador de estos materiales en el país, recolectando más de 200,000 toneladas anuales. Un ejemplo destacado es su colaboración con empresas del sector de hidrocarburos, como Ecopetrol, para reciclar residuos generados en sus operaciones, contribuyendo a la reducción de residuos y la optimización de recursos. Además de su labor en reciclaje, Smurfit Kappa Colombia es el principal reforestador privado del país, con un patrimonio forestal de 67.373 hectáreas, de las cuales 42.673 son plantaciones comerciales de pino y eucalipto certificadas por el “FSC®” por su manejo forestal responsable.

Otro ejemplo es Hocol S.A. empresa de los hidrocarburos donde han implementado un Plan Estratégico de Economía Circular para optimizar el consumo de recursos y minimizar la generación de residuos en sus operaciones. En 2022, la compañía logró reducir a 69,9 gramos la cantidad de residuos generados por cada barril equivalente de petróleo (BOE). Además, valorizó y comercializó 733,58 toneladas de materiales, generando empleo y bienestar en las comunidades locales. En el campo Ocelote, en Puerto Gaitán (Meta), el 99,3% del material plástico generado se reincorpora a la cadena productiva, gracias a la colaboración con la empresa Verde Cristal. Esta compañía, capacitada y equipada por Hocol, recopila y compacta el material plástico para su posterior paletización y comercialización en la ciudad de Villavicencio.

De igual forma, otra compañía del sector de los hidrocarburos como GeoPark ha implementado un Plan Estratégico de Economía Circular para optimizar la gestión de residuos sólidos en sus operaciones. En 2022, la compañía transformó 102,6 toneladas de residuos orgánicos generados en los campamentos de Llanos 34 en abono, utilizado para la restauración de áreas desprovistas de vegetación. Además, en el campo Platanillo, recogieron 704 m³ de aguas lluvias para su uso en actividades domésticas y riego de vías, contribuyendo a la reducción de la captación externa de agua. Estas iniciativas son parte de su estrategia para reducir residuos, maximizar el aprovechamiento de recursos y promover prácticas sostenibles en sus operaciones.

Con relación a los lodos de perforación se ha ido avanzando hacia una economía circular. Empresas como Repsol han implementado técnicas innovadoras para transformar estos residuos en

recursos valiosos. En el campo Caipipendi de Bolivia, Repsol aplica la desorción térmica de lodos de perforación, un proceso que calienta los recortes de perforación a temperaturas entre 95 y 500 °C. Este método permite la evaporación y condensación del agua y los hidrocarburos, resultando en la obtención de combustible y agua reutilizables, y dejando un material sólido seco con menor contenido de hidrocarburos. Desde 2016, esta técnica ha tratado 21.500 toneladas de residuos, recuperando 2.360 m³ de diésel para reutilizar en las operaciones

Repsol ha implementado el proyecto “Ecoáridos”, en el que transforma los residuos generados en sus operaciones de perforación, como los lodos y recortes de perforación, en áridos reciclados. Este proceso contribuye a reducir el volumen de residuos enviados a disposición final, permitiendo la reutilización de materiales en la construcción de infraestructuras. Mediante esta iniciativa, la empresa optimiza el uso de recursos y fomenta la economía circular dentro de sus operaciones. En el ámbito de la economía circular, TotalEnergies ha invertido significativamente en tecnologías de reciclaje avanzado, como el reciclaje químico de plásticos. En Francia, la empresa está desarrollando proyectos en su complejo de Grandpuits, donde se está construyendo una planta para convertir residuos plásticos no reciclables en productos químicos renovables, contribuyendo así a la reducción de residuos y la valorización de materiales. Además, TotalEnergies colabora con empresas como Plastic Energy y Honeywell para avanzar en el reciclaje de plásticos, promoviendo la reutilización de materiales y el cierre de ciclos en sus procesos industriales.

En Colombia, se encuentra el Proyecto "Ruta Costera" de ISA Vías la cual aplica principios de economía circular en la construcción y mantenimiento de carreteras, incorporando asfalto modificado con plástico reciclado. En colaboración con Ecopetrol, Esenttia y MPI, se utilizan 11 millones de bolsas plásticas recicladas en el mantenimiento de la vía Cartagena-Barranquilla y Circunvalar de la Prosperidad, reduciendo en un 10% la huella de carbono en comparación con métodos tradicionales. Este enfoque mejora la durabilidad y resistencia del asfalto, incrementando su vida útil en un 25% y reduciendo la necesidad de reparaciones frecuentes. Además, contribuye a la transición energética al utilizar residuos plásticos, apoya la protección del medio ambiente y genera empleo para comunidades recicladoras. El proyecto fomenta la integración de la economía circular en la infraestructura vial, promoviendo un ciclo sostenible de materiales que beneficia tanto al medio ambiente como al desarrollo socioeconómico.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Establecer lineamientos de transformación hacia la economía circular en el manejo de los residuos sólidos en el sector de los hidrocarburos, en las etapas de exploración y explotación, enmarcado en el licenciamiento ambiental otorgado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA.

4.2 Objetivos específicos

- Identificar tipos y principales características de los residuos sólidos generados en el sector de hidrocarburos para la etapa de exploración y explotación comprendiendo oportunidades de integrar principios de economía circular.
- Definir lineamientos de la economía circular aplicables desde su potencialidad a la gestión de los residuos sólidos en el sector de hidrocarburos.
- Plantear indicadores de gestión para fomentar la adopción de la economía circular en el sector de hidrocarburos en la gestión de los residuos sólidos en las etapas de exploración y explotación.

5. Metodología

Se empleó un enfoque mixto, integrando elementos de investigación descriptiva y exploratoria, con el propósito de abordar de manera integral los retos y oportunidades de la economía circular en el manejo de residuos sólidos del sector hidrocarburos. La fase descriptiva se enfocó en identificar y definir:

- Contexto y alcance de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales en el marco del sector de los hidrocarburos.
- Definición y descripción de las etapas de exploración y explotación de los hidrocarburos.
- Tipos y características de los residuos generados en las etapas de exploración y explotación, utilizando información proveniente del Sistema de Información de Licencias Ambientales (SILA) y otras fuentes relevantes. Se seleccionaron tres casos de estudio de proyectos en la etapa de exploración y tres casos de estudio en la etapa de explotación, verificando un Informe de Cumplimiento Ambiental (ICA).
- Registros documentales de implementación de economía circular de empresas del sector de los hidrocarburos descritos por tipo y características de los residuos sólidos.
- Verificación de la potencialidad de implementar lineamientos de economía circular a partir de la gestión de los residuos sólidos en el sector de los hidrocarburos.
- Búsqueda y análisis de indicadores de gestión para fomentar la adopción de la economía circular en el sector de hidrocarburos en la gestión de los residuos sólidos

Para desarrollar la metodología planteada se tomaron los siguientes aspectos:

5.1 Fuentes de Datos

La investigación se basará en:

- **Documentación:** Se revisarán marcos normativos, informes de sostenibilidad, estudios previos y literatura científica relacionada con la economía circular, la gestión de residuos sólidos y el sector de hidrocarburos.

- **Publicaciones y Reportes del Sector de Hidrocarburos:** Se analizarán publicaciones específicas del sector, reportes de sostenibilidad de empresas de hidrocarburos e Informes de Cumplimiento Ambiental del licenciamiento ambiental por la ANLA.
- **Literatura sobre Gestión de Residuos:** Incluyendo estudios sobre tipos de residuos generados en el sector de hidrocarburos y prácticas actuales de manejo y disposición.
- **Estudios de Caso:** Se integraron casos específicos de aprovechamiento exitoso de residuos sólidos en el sector, los cuales sirvieron como referencia para desarrollar lineamientos adaptados a la realidad colombiana.

5.2 Estrategias Metodológicas

- **Revisión Literaria:** Se llevará a cabo una revisión de la literatura existente para comprender el estado del arte de la economía circular aplicada a la gestión de residuos sólidos, con un enfoque particular en el sector de hidrocarburos.
- **Análisis Documental:** Mediante el análisis de documentos seleccionados, se identificarán lineamientos y prácticas de economía circular aplicables al sector de hidrocarburos, así como los desafíos y oportunidades inherentes a su implementación.
- **Síntesis de Información:** La información recopilada se sintetizará para desarrollar un marco conceptual que integre los lineamientos de economía aplicables a la gestión de residuos sólidos en el sector de hidrocarburos.
- **Propuesta de Indicadores de Gestión:** Basándose en el análisis previo, se generará una base de indicadores de gestión que permitan medir y promover la implementación de prácticas de economía circular en el manejo de residuos sólidos.

5.3 Análisis y Propuestas

Análisis de Prácticas Actuales: Se evaluaron las prácticas predominantes en la gestión de residuos sólidos, identificando brechas y oportunidades para incorporar principios de economía circular en el marco normativo actual.

Desarrollo de Propuestas: Basándose en el análisis realizado, se elaborarán propuestas para la implementación efectiva de la economía circular en la gestión de residuos sólidos en el sector de hidrocarburos.

6. Resultados

6.1. Objetivo 1. Tipos y principales características de los residuos sólidos generados en el sector de hidrocarburos para la etapa de exploración y explotación

6.1.1 Residuos sólidos generados en el sector de hidrocarburos para la etapa de exploración y explotación

Para el presente análisis, se toman datos primarios aleatorios obtenidos de los Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA) presentado a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), seleccionando tres (3) proyectos correspondientes a la etapa de exploración y tres (3) proyectos de la etapa de explotación. El objetivo de esta selección es verificar los tipos de residuos generados en la industria de los hidrocarburos y analizar las cantidades producidas en cada caso. Es de señalar, que la información es de acceso pública, previa solicitud a través del centro de orientación de la ANLA. En el caso de los proyectos de exploración, se incluyen los siguientes:

Tabla 4
Proyectos de exploración de hidrocarburos

Nombre del proyecto	Descripción	Informe de Cumplimiento Ambiental
Área de perforación exploratoria Siriri	El proyecto contemplo la perforación de un solo pozo en el año 2016, dado los resultados negativos, no efectuó más actividades. Ubicado en el municipio de Orito Putumayo.	Radicado en ANLA 2019076220-1-000 del 5 de junio de 2019 – ICA 1.
Área de perforación exploratoria VIM-8	Actividades de perforación de máximo 18 pozos exploratorios a una profundidad de hasta 10.000 pies, con sus respectivas pruebas cortas y extensas de producción. Se localiza en el departamento de Córdoba, en los municipios de Planeta Rica, Pueblo Nuevo, Buena Vista y La Apartada	Radicado en ANLA 20236200299822 del 30 de junio de 2023 – ICA 5.
Área de Perforación Exploratoria Basari	El proyecto Área de Perforación Exploratoria Basari se encuentra ubicado al interior del Bloque RC-7, en el departamento del Atlántico en jurisdicción del corregimiento Hibácharo y la cabecera municipal de Piojó, en el municipio de Piojó. El proyecto contempla 2 pozos exploratorios.	Radicado en ANLA 2022107981-1-000 del 31 de mayo de 2022

Nota: Elaboración propia.

Es pertinente señalar que los proyectos de exploración de hidrocarburos en el país han disminuido dado que no han tenido resultados positivos o por lo contrario sus licencias ambientales fueron modificadas para ser de producción. De otro lado, los proyectos de explotación se seleccionaron los siguientes:

Tabla 5
Proyectos de explotación de hidrocarburos.

Nombre del proyecto	Descripción	Informe de Cumplimiento Ambiental
Campo de producción Yaguará	El Campo de Producción Yaguará se localiza en el departamento del Huila, en el municipio de Yaguará. El Campo realiza las actividades asociadas a la producción y desarrollo del Campo (workover, well testing, servicios a pozos, completamiento, pruebas de producción, construcciones y adecuaciones, mantenimientos, obras civiles, desmantelamientos, abandonos, obras metalmecánicas, transporte terrestre, transporte por ductos, programas de compensación, operación y mantenimiento). El Campo tiene 55 localizaciones y 97 pozos (productores y de inyección)	Radicado en ANLA 20246201175952 del 10 de octubre de 2024- ICA 13
Campo Purificación	El proyecto se encuentra ubicado en los municipios de Purificación y Saldaña en el Departamento de Tolima, este campo está conformado por tres estaciones: WPF (Well Production Facilities), PPF (Permanent Production Facilities) y la Estación Saldaña Oleoducto Alto Magdalena (OAM). De igual forma, con respecto a pozos perforados, el Campo Purificación lo conforman 11 pozo de los cuales solo tres se encuentran en producción.	Radicado en ANLA 20236200054242 del 28 de abril de 2023 - ICA 16
Bloque de explotación Llanos 58	El proyecto se localiza en el departamento del Meta, municipio de Puerto López. El proyecto contempla facilidades de producción, once locaciones y 49 pozos (productores, inyectoros y en abandono).	Radicado en ANLA 20246200824432 del 22 de julio de 2024 – ICA 14

Nota: Elaboración propia.

6.1.1.1 Gestión de residuos sólidos en la etapa de exploración. El ICA No. 1 del área de perforación exploratoria Sirirí presenta información del manejo de los residuos sólidos durante la

etapa de perforación de un solo pozo exploratorio incluyendo obras civiles, donde se encuentran los resultados presentados en la tabla 6 y figura 1.

Tabla 6

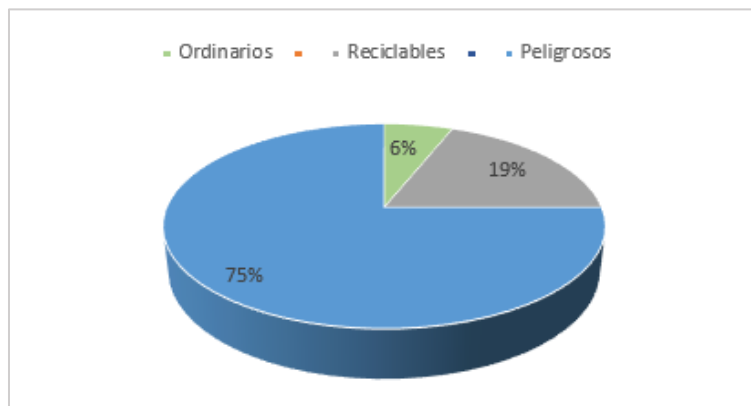
Manejo de residuos sólidos del área de perforación exploratoria Sirirí.

Ordinarios	Contaminados	Reciclables	Otros	Dispuestos (Kg) 2017
x				2580
	x			34203
		x		6599
		x		178
		x		2000
Cortes de perforación				1.371,7 m3

Nota: Radicado en ANLA 2019076220-1-000 del 5 de junio de 2019

Figura 3

Porcentaje de residuos generados en el Campo Sirirí



Nota: Radicado en ANLA 2019076220-1-000 del 5 de junio de 2019

De acuerdo con la gráfica anterior, la mayor cantidad de residuos generados en el año reportado corresponde a los contaminados con un valor de 34.203 kg, seguido por los reciclables con un valor de 8.777 kg y los residuos que generados en un menor volumen fueron los ordinarios con un valor de 2.580 kg, recolectados en el pozo Sirirí. En cada tipo de residuos la empresa generadora de los residuos entrego a un gestor externo para su disposición, los residuos recímbales son entregados a gestores externos encargados de su aprovechamiento.

Para el área de perforación exploratoria VIM-8, se toma la información del ICA No. 5, donde el periodo reportado consistió en la construcción de dos plataformas de perforación, la perforación de dos pozos y prueba de producción. A continuación, se relaciona, la cantidad de residuos sólidos generados en el proyecto mencionado:

Tabla 7

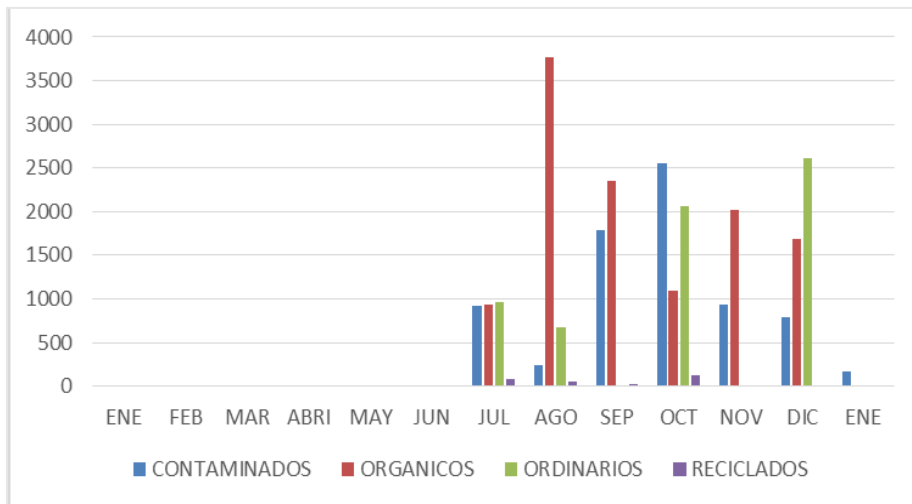
Manejo de residuos sólidos del área de perforación exploratoria VIM-8.

Mes	Construcción				Perforación				Producción				Abandono			
	Reciclables	Contaminado	Ordinarios	Orgánicos	Reciclables	Contaminado	Ordinarios	Orgánicos	Reciclables	Contaminado	Ordinarios	Orgánicos	Reciclables	Contaminado	Ordinarios	Orgánicos
Totales	428	924	1.644	0	254	6.070	4.672	11.854	205	586	0	0	479	1.104	2.028	0

Nota: Radicado en ANLA 20236200299822 del 30 de junio de 2023

Figura 4

Volúmenes de residuos solidos



Nota: Radicado en ANLA 20236200299822 del 30 de junio de 2023

La representatividad es variable por mes debido a la diversidad de las actividades, donde es representativo el dato de residuos orgánicos, ya que las actividades de casino permanecieron durante toda la actividad para todas las actividades del bloque, seguido se encuentran los residuos contaminados y ordinarios. En cada tipo de residuos la empresa generadora de los residuos entrego

a un gestor externo para su disposición, no se realizaron actividades de aprovechamiento o circulación de los residuos.

Finalmente, el área de perforación exploratoria Basari se toma información del ICA No. 2 el cual corresponde al año 2021, donde el titular de la licencia realizó la perforación de un solo pozo. A continuación, se relaciona, la cantidad de residuos sólidos generados en el proyecto mencionado:

Tabla 8

Manejo de residuos sólidos del área de perforación exploratoria Basari

Parámetros	Unidad de medición	Valor
Ordinarios obras civiles	Kg	510
Contaminados con Hidrocarburos, Obras Civiles	Kg	620
Orgánico fase perforación y completamiento	Kg	3332
Ordinario perforación y completamiento	Kg	6779
Reciclables perforación y completamiento	Kg	169
EPP contaminados perforación y completamiento	Kg	19
Luminarias (Kg)	Kg	10
Geomembrana (Kg)	Kg	127
Trapos contaminados (Kg)	Kg	2433
Biosanitarios	Kg	150
Otros	Kg	1653

Nota: Radicado en ANLA 2022107981-1-000 del 31 de mayo de 2022

En el presente ejemplo, se evidencia una discriminación más específica en relación con los residuos sólidos, destacándose los residuos ordinarios como la categoría predominante, seguidos por los residuos orgánicos. Es importante mencionar que la totalidad de los residuos generados fueron entregados a un gestor externo para su disposición final, sin que se llevaran a cabo actividades de aprovechamiento o estrategias relacionadas con la economía circular para su gestión.

6.1.1.2 Gestión de residuos sólidos en la etapa de explotación. Inicialmente, el campo de producción Yaguará se seleccionó el periodo reportado en el ICA 13 el cual corresponde al año

2023, donde el titular de la licencia realizó la operación del campo sin actividades de perforación adicionales. A continuación, se relacionan los tipos y cantidades de residuos sólidos generados en el año mencionado:

Tabla 9

Manejo de residuos sólidos del campo de producción Yaguará.

Domésticos	Industriales	Hospitalarios	Otros	Dispuesto Kg
Madera				53
Ordinarios				5157
Orgánicos				213
Papel cartón				96,3
plástico				55
Vidrio				78
	Borras			9969,6
	Tierra contaminada			1183
Ordinarios				44,5
			Tambor metálico	289
Cartón				2
Cartón				19
			Colillas de soldadura	20,2
	Contaminados			1982,68
		Cortopunzantes		8
	EPP contaminados			1,5
			Escombros	250
	Filtros contaminados			15
Madera				188
Ordinarios				394
Orgánicos				1
Plástico				158,8
	Tarros de pintura			38
Madera				53
Residuos (ordinarios)	inertes			5353
Orgánicos				213
	Elementos impregnados de HC			1692
	Filtros contaminados			23
Papel carton				103

Domésticos	Industriales	Hospitalarios	Otros	Dispuesto Kg
Plástico				55
Residuos vegetal				1419
Vidrio				78
	Lodos aceitosos			26876
	Suelo contaminado			5474
RCD				341120

Nota: Radicado en ANLA 20246201175952 del 10 de octubre de 2024

En el reporte de los residuos sólidos domésticos, se evidencia la generación y disposición de 696.145,6 kg, clasificados en ordinarios, orgánicos, reciclables y RCD (residuos de construcción y demolición). Se observa que la mayor cantidad de residuos corresponde a los residuos industriales, seguidos por los residuos domésticos. Cabe destacar que ECOPETROL S.A. mantiene vinculaciones comerciales con empresas que aprovechan la chatarra para ser utilizada en otros procesos industriales. Los demás residuos son entregados a gestores externos para su disposición final.

Para el proyecto Campo Purificación se relaciona el ICA No.16 el cual corresponde al año 2022, donde se presenta información de la operación del campo de producción sin perforación de pozos adicionales. A continuación, se relacionan los tipos y cantidades de residuos sólidos generados en el año mencionado:

Tabla 10
Manejo de residuos sólidos del Campo Purificación.

Clasificación de residuos	TOTAL (Kg)
Ordinarios (Kg)	7127
Reciclables (Kg)	451
Peligrosos (Kg)	8
Contaminados Kg)	1608
Tierra contaminada	774
Ordinarios (Kg) - contratista	28,9
Reciclables (Kg) - contratista	19,5
Contaminados (Kg) – contratista	2,7
TOTAL (kg)	10019,1

Nota: Radicado en ANLA 20236200054242 del 28 de abril de 2023

Conforme a lo anterior, se evidencia que, para el proyecto seleccionado, la mayor generación de residuos está compuesta por residuos ordinarios, seguidos por residuos contaminados. Es importante señalar que el proyecto entrega los residuos reciclables a empresas recuperadoras para su aprovechamiento. En cuanto a la disposición de residuos como borras, lodos aceitosos, parafinas y otros residuos similares generados durante las limpiezas de la línea de conducción y en las locaciones, el campo cuenta con un lecho de secado. En estos lechos, el crudo recuperado es reutilizado, mientras que los sólidos decantados son entregados a gestores externos para su disposición final.

Finalmente, el bloque de explotación Llanos 58, se tomó en cuenta el ICA No. 14 el cual corresponde al año 2023, donde se relacionó información de obras civiles, operación del campo de producción y actividades de desmantelamiento y abandono.

Tabla 11
Manejo del bloque de explotación Llanos 58.

Domésticos	Tipo de residuos			Fuente de generación	Cantidades/Kilogramos
	Industriales	Hospitalarios	Otros		Dispuestos
X (Orgánicos)					6360
	X (Envases de Productos Químicos)				660
	X (Fluidos Aceitosos / Flocs)				2172.5 Bbls
X (Reciclables)					1500
	X (Plástico de Baja Densidad)			Producción	70
X (Madera)					110
	X (Partes recuperadas de filtros de aire)				39
	X (Partes impregnadas de filtros de aire)				16

	Tipo de residuos			Fuente de generación	Cantidades/Kilogramos
	Domésticos	Industriales	Hospitalarios		Otros
X (Residuos No Aprovechables)					23
		X (Baterías)			60
				X (Llantas Usadas)	3050
		X (Tierra Contaminada)			13410
X (Reciclables)					80
X (No Reciclables)					366
		X (Aceites Usados)		Servicio a pozos / abandono mecánico	25 Gal
		X (Tierra Impregnada)			120
		X (Trapos, guantes, estopas)			926
		X (Bolsas Cemento, EPP, Recipientes de Pintura)		Obras civiles	244,3
X (Res. Aprovechables)					192

Nota: Radicado en ANLA 20246200824432 del 22 de julio de 2024

La distribución porcentual de los residuos generados durante las actividades de producción en el Bloque Llanos 58 está dominada por la generación de tierra o sedimentos impregnados con hidrocarburos, debido principalmente al mantenimiento de tanques y equipos involucrados en el procesamiento de fluidos de producción, lo que incrementa significativamente la generación de este tipo de residuo. Los residuos orgánicos también tienen una representación notable, atribuida a las actividades operacionales del casino del proyecto.

En cuanto a otros tipos de residuos, se destaca que las llantas usadas representan un 11% de los residuos generados, ya que fueron entregadas para su aprovechamiento. Por otro lado, los residuos como canecas metálicas o plásticas de alta densidad, utilizadas para el tratamiento de

fluidos de producción, fueron reincorporadas en procesos productivos a través de un gestor externo, siendo recuperadas para su utilización en procesos industriales.

6.1.2 *Análisis de información primaria*

Con relación a la etapa exploratoria, se evidencia que para los proyectos seleccionados los periodos reportados contaron con la perforación de pozos exploratorios, por lo que la cantidad de residuos sólidos da representatividad frente a la etapa seleccionada. De igual forma, se observa que no hay estandarización de la información con relación a la categorización de residuos, no obstante, existe la posibilidad de cuantificar la cantidad de residuos sólidos obteniendo los siguientes resultados:

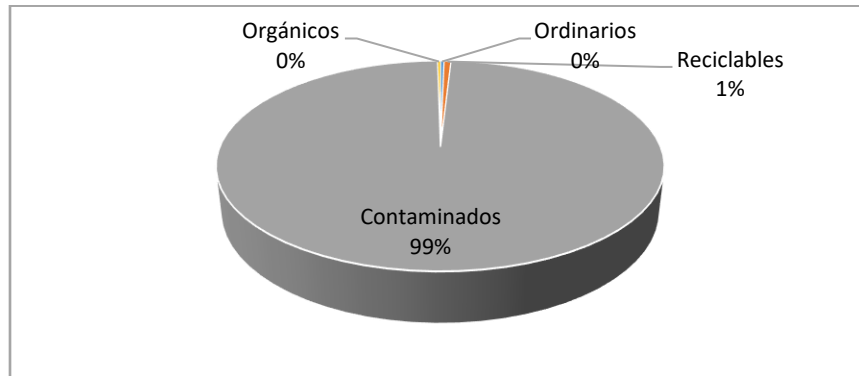
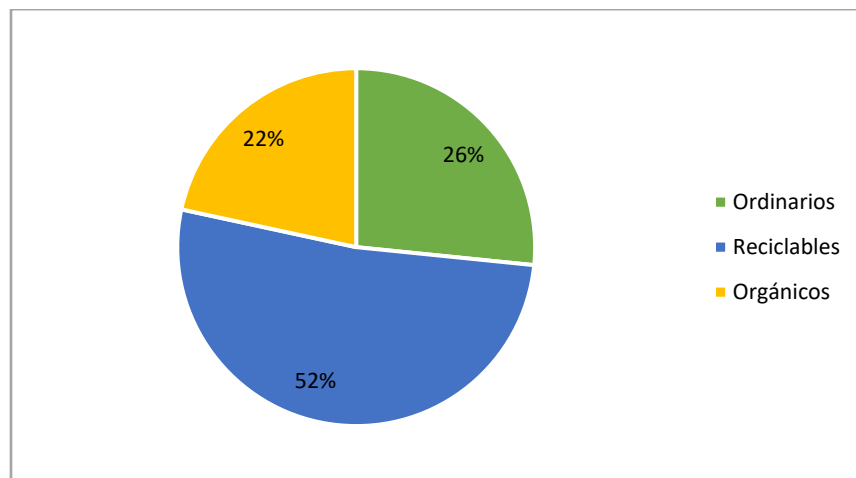
Tabla 12

Manejo de residuos sólidos en la etapa de exploración.

ETAPA EXPLORATORIA				
Tipo de residuo	Área de perforación exploratoria Sirirí (kg)	Área de perforación exploratoria VIM-8 (kg)	Área de Perforación Exploratoria Basari (kg)	Total (kg)
Ordinarios	2580	8344	7439	18363
Reciclables	34203	1366	169	35738
Contaminados	34203	5868098	5012	5907313
Orgánicos	0	11584	3332	14916

Nota: Elaboración propia

Conforme a lo anterior, se evidencia que, en la etapa exploratoria, la mayor cantidad de residuos generados corresponde a residuos contaminados, asociados principalmente a las actividades de perforación, incluyendo los lodos de perforación. No obstante, al excluir los residuos contaminados o peligrosos del análisis, se observa que los residuos reciclables representan un porcentaje significativo en esta etapa, lo que destaca un alto potencial para su aprovechamiento mediante estrategias de economía circular, tal como se muestra en las figuras 5 y 6.

Figura 5*Porcentaje de residuos sólidos en la etapa exploratoria**Nota: Elaboración propia.***Figura 6***Porcentaje de residuos sólidos en la etapa exploratoria**Nota: Elaboración propia.*

Es importante señalar que la etapa de exploración tiende a ser de corta duración. Según los proyectos analizados, se estima que las actividades correspondientes, como las obras civiles y la perforación, se llevan a cabo en un período aproximado de dos meses. Debido a este tiempo limitado, los titulares de las licencias ambientales no suelen considerar la posibilidad de implementar estrategias de circulación de los residuos sólidos. En su lugar, se enfocan en realizar la separación y la disposición final de los residuos a través de un gestor externo.

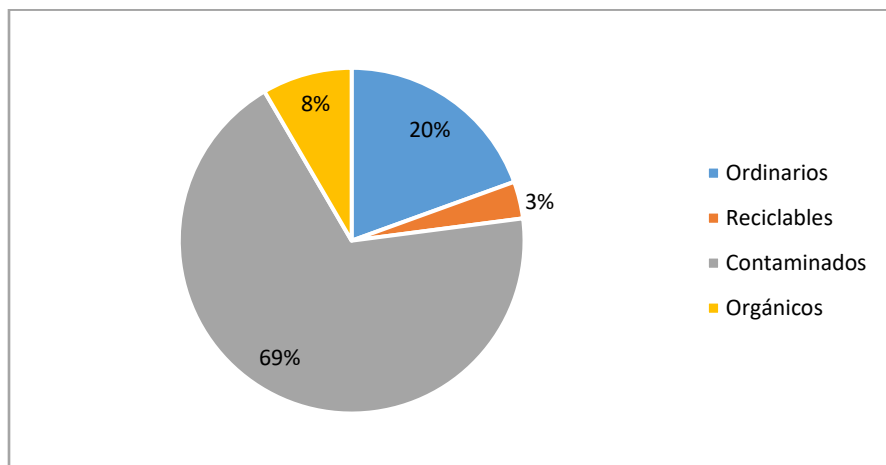
Ahora bien, con respecto a la etapa de explotación, los proyectos seleccionados contemplaron la operación de un campo de producción sin incluir la perforación de pozos adicionales durante los periodos analizados, siendo estos períodos compatibles entre sí. Cabe destacar que solo uno de los proyectos reportó el manejo de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) dentro del registro de residuos sólidos gestionados. A continuación, se presenta la distribución total de los residuos sólidos por tipo y cantidad:

Tabla 13
Manejo de residuos sólidos en la etapa de explotación.

Tipo de residuo	ETAPA EXPLOTACIÓN			Total
	Campo de producción Yaguará (kg)	Campo Purificación (kg)	Bloque de explotación Llanos 58 (kg)	
Ordinarios	10948,5	7155,9	389	18493,4
Reciclables	939,1	470,5	1882	3291,6
Contaminados	47262,78	2384,7	15545,3	65192,78
Orgánicos	1633	0	6360	7993
RCD	341120	0	0	341120

Nota: Elaboración propia.

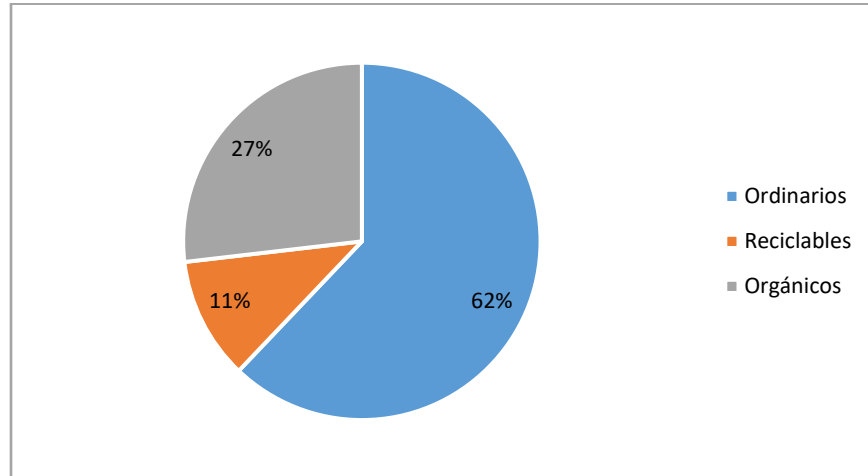
Figura 7
Porcentaje de residuos sólidos en la etapa de explotación



Nota: Elaboración propia.

Figura 8

Porcentaje de residuos sólidos sin incluir los residuos contaminados en la etapa de explotación



Nota: Elaboración propia.

Como se observa en las figuras presentadas, en la etapa de explotación, el mayor porcentaje de residuos sólidos corresponde a los residuos contaminados, generados principalmente por la operación de las facilidades de producción, donde se producen lodos y otros residuos relacionados con actividades de mantenimiento. En segundo lugar, se encuentran los residuos ordinarios, asociados a la permanencia de áreas administrativas y al personal involucrado en las operaciones. Es importante destacar que, dado que los proyectos de producción son permanentes, los titulares de las licencias ambientales han optado por incorporar, dentro de su gestión de residuos sólidos, estrategias comerciales con gestores externos para el aprovechamiento de los residuos industriales, considerando la generación continua de este tipo de residuos.

Es importante mencionar que las licencias ambientales otorgadas para las etapas de exploración y explotación en los proyectos seleccionados incluyen, dentro de sus lineamientos mínimos, un enfoque basado en una economía lineal. En este contexto, los titulares de dichas licencias reportan en los Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA) aspectos relacionados con:

- Cantidad de residuos sólidos por tipo.
- Manifiestos de entrega de residuos a gestores externos.
- Certificados de disposición final de residuos sólidos.
- Licencia ambiental de los gestores externos.

No obstante, no se incluye información ni se establecen obligaciones específicas relacionadas con la posibilidad de que los residuos sean reutilizados, reciclados o regenerados con el objetivo de maximizar su valor a lo largo del tiempo, más allá de lo estipulado en la normatividad ambiental, como en el caso de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Esto ocurre a pesar de que los titulares de las licencias ambientales han comenzado a implementar alternativas de aprovechamiento para los residuos sólidos generados en sus proyectos.

Adicionalmente, es de resaltar la generación de residuos contaminados para las dos etapas analizadas, esto teniendo en cuenta que se generan estopas, cortes de perforación, epp contaminados, entre otros, durante la perforación de pozos y en los mantenimientos de estos. En algunos casos se segrega los residuos contaminados por tipo, no obstante, en la mayoría de los casos, se realiza una sumatoria total, dando porcentajes altos como se muestran en las gráficas mostradas. De igual forma, con este tipo de residuos no se realiza ningún tipo de reducción en fuente ni aprovechamiento al final de su ciclo.

6.2 Objetivo 2. Lineamientos de la economía circular aplicables desde su potencialidad a la gestión de los residuos sólidos en el sector de hidrocarburos y su correlación en el licenciamiento ambiental colombiano.

La economía circular aplicada al sector de hidrocarburos ofrece una oportunidad única para transformar la forma en que se gestionan los residuos generados durante las actividades de exploración y producción de hidrocarburos. En lugar de tratar los residuos como desechos que se eliminan al final de su ciclo de vida, como se viene estableciendo en las licencias ambientales, la economía circular promueve la idea de que estos materiales deben ser reutilizados, reciclados o regenerados para maximizar su valor a lo largo del tiempo. Esto no solo ayuda a reducir la cantidad de residuos que se generan, sino que también permite optimizar el uso de recursos, mejorar la eficiencia operativa y reducir el impacto ambiental de la industria.

Para que esta transformación sea efectiva, es necesario que la ANLA adopten principios fundamentales de la economía circular para realizar su seguimiento y control a las empresas de los hidrocarburos. Estos lineamientos guiarán la implementación de prácticas que no solo se centren en el reciclaje o la reutilización de materiales, sino también en la creación de un sistema

donde los productos y recursos sean utilizados de manera continua, minimizando el desperdicio y generando valor. Es de señalar, que ya las empresas del sector de los hidrocarburos, por medio de sus objetivos de gestión ambiental, se encuentran implementando alternativas de economía circular en sus residuos generados, no obstante, desde el seguimiento por parte del estado, no se verifica la información más allá de entregar soportes de entrega a los gestores.

Para el desarrollo del presente análisis, inicialmente se debe comprender los principios clave de la economía circular aplicables al sector hidrocarburos, los cuales constituyen la base para la adopción de estrategias que fomenten la sostenibilidad en la gestión de residuos sólidos.

6.2.1 Principios de economía circular aplicados al sector hidrocarburos

Los principios de la economía circular (Fundación Ellen MacArthur) deben ser aplicados con un enfoque sistémico que permita maximizar el valor de los recursos y minimizar los residuos generados. Este enfoque no solo está centrado en la eficiencia operativa, sino que también considera la sostenibilidad a largo plazo de los ecosistemas y las comunidades. Para ello, el sector de hidrocarburos debe integrar las siguientes prácticas dentro de sus operaciones de exploración y explotación:

- Reducción de residuos: Fomentar la prevención de residuos a través de la eficiencia en el uso de recursos y la mejora de los procesos de producción.
- Reutilización y reciclaje: Implementar sistemas para reciclar materiales como plásticos, aceites y metales, transformándolos en nuevos productos de valor.
- Valorización de residuos: Aprovechar los residuos como materias primas para nuevas aplicaciones, mediante tecnologías como el pirólisis y la desorción térmica.
- Desarrollo de soluciones innovadoras: Adoptar tecnologías avanzadas para mejorar la reciclabilidad y la reutilización de materiales, como el reciclaje químico de plásticos y la mejora en la gestión de lodos de perforación.
- Colaboración y gobernanza: Establecer alianzas con actores clave, como las autoridades gubernamentales y organizaciones recicladoras, para apoyar la adopción de la economía circular y facilitar la integración de las comunidades locales.

6.2.2 Aplicación de los lineamientos de economía circular a los residuos del sector hidrocarburos

La implementación de los lineamientos de economía circular debe ser un proceso progresivo que implique no solo la transformación de residuos peligrosos como los lodos de perforación y recortes de perforación, sino también de residuos no peligrosos como los plásticos, metales, cartón y papel, y residuos orgánicos. A través de tecnologías innovadoras y la colaboración entre empresas, gobiernos y comunidades, se busca crear un ciclo cerrado de materiales que no solo minimice la cantidad de residuos, sino que transforme estos materiales en recursos que puedan ser utilizados nuevamente en el mismo sector o en otros sectores.

En línea con lo anterior, en la actualidad las empresas se encuentran realizando alternativas para el proveimiento de los residuos generados en el sector de hidrocarburos, tal como se muestra a continuación, donde se especifica su categoría (aprovechable o no aprovechable) y los lineamientos aplicados en su gestión, basados en las mejores prácticas y experiencias de empresas del sector de los hidrocarburos:

Tabla 14
Lineamientos de circularidad por tipo de residuos

Categoría	Categoría (Resolución 2184 de 2019)	Tipo de Residuos	Aprovechamiento	Lineamientos de Circularidad
Ordinarios	No aprovechables	Plásticos (no reciclables)	Reciclaje químico, conversión en productos renovables	Implementación de reciclaje químico mediante la pirólisis para transformar plásticos no reciclables en productos químicos renovables.
	Aprovechables	Plásticos reciclables	Reciclaje, reutilización en productos de asfalto	Uso de plásticos reciclados para crear productos como asfalto ecológico, lo que mejora la resistencia y durabilidad del material.
Reciclables	Aprovechables	Cartón y papel	Reciclaje en procesos de embalaje	Reciclaje de cartón y papel para su reutilización en procesos industriales, como el embalaje de productos.
	Aprovechables	Vidrio	Reciclaje para producir nuevos productos	Reciclaje de vidrio para producir nuevos productos de vidrio o materiales de construcción, reduciendo la necesidad de extraer nuevos recursos.

Categoría	Categoría (Resolución 2184 de 2019)	Tipo de Residuos	Aprovechamiento	Lineamientos de Circularidad
Orgánicos	Aprovechables	Residuos orgánicos	Conversión en abono orgánico	Transformación de residuos orgánicos en compost o abono para restauración de áreas verdes, mejorando la calidad del suelo y promoviendo la sostenibilidad ambiental.
	Aprovechables	Residuos orgánicos (Alimentos)	Conversión en abono orgánico	Transformación de residuos orgánicos en compost o abono para restauración de áreas verdes, mejorando la calidad del suelo y promoviendo la sostenibilidad ambiental.
Contaminados	Peligrosos	Aceites usados	Reutilización en operaciones industriales	Recuperación de aceites usados para su reutilización en operaciones de perforación o como combustible.
	Peligrosos	Lodos de perforación	Desorción térmica, transformación en materiales reutilizables	Uso de técnicas como la desorción térmica para convertir lodos en materiales reutilizables (agua y combustible), minimizando residuos y recuperando materiales para su reutilización.
	Peligrosos	Cortes de perforación	Reciclaje en áridos	Aplicar técnicas de pirólisis o desorción térmica para recuperar hidrocarburos y agua en los lodos de perforación, reduciendo así los impactos ambientales y aumentando la eficiencia operativa. Reciclaje de cortes de perforación en materiales como áridos reciclados para su reutilización en la construcción de infraestructuras.
Industriales	Aprovechables	Metales	Reciclaje en la industria	Reciclaje de metales en nuevas industrias y su reutilización en equipos, maquinaria y otras aplicaciones dentro y fuera del sector energético.
	No aprovechables	Llantas	Reciclaje en productos de asfalto	Reciclaje de llantas para producir asfalto ecológico, integrando plástico reciclado y llantas para mejorar la durabilidad y resistencia de las infraestructuras viales.

Categoría	Categoría (Resolución 2184 de 2019)	Tipo de Residuos	Aprovechamiento	Lineamientos de Circularidad
Residuos de Construcción y Demolición (RCD)	No aprovechables / Aprovechables	Concreto, metal, madera y plásticos	Reciclaje y reutilización de materiales como concreto, metal, madera y plásticos en nuevas construcciones o infraestructuras.	Reciclaje y reutilización: Uso de materiales reciclados como agregados para nuevos proyectos de infraestructura. Valorización de residuos: Reutilización de materiales para reducir la necesidad de materiales vírgenes.
Residuos Electrónicos	No aprovechables	Metales y plásticos	Reciclaje de metales y plásticos	Reciclaje de dispositivos electrónicos para recuperar metales valiosos y plásticos que pueden ser reutilizados en otros productos

Nota: Elaboración propia.

6.2.3 Aplicación del Diagrama de Economía Circular al sector hidrocarburos

El diagrama de mariposa de economía circular, tal como lo describe la Fundación Ellen MacArthur, se está adaptado al sector de hidrocarburos para garantizar un ciclo de vida más eficiente y sostenible en los materiales generados durante las actividades de exploración y explotación de petróleo y gas.

A continuación, se detalla cómo los diferentes elementos del diagrama pueden aplicarse o se está aplicando al sector hidrocarburos y que tiene la potencialidad de ser verificados por la Autoridad Nacional Ambiental:

a. Ciclo técnico

Este ciclo se centra en el flujo de materiales "técnicos", que son aquellos productos y recursos no biodegradables. En el sector de hidrocarburos, esto se traduce en los siguientes componentes:

- Fabricación de piezas y productos:

Ejemplo: Los materiales utilizados en las plataformas de perforación, maquinaria pesada, equipos de perforación, y sistemas de bombeo, son piezas clave que, al final de su vida útil, pueden ser recondicionadas o recicladas. Un enfoque circular implicaría diseñar estos equipos de forma modular, de modo que puedan ser desensamblados fácilmente al final de su ciclo de vida para ser reutilizados, reciclados o remanufacturados.

Aplicación: Implementar una estrategia de mantenimiento y prolongación de la vida útil de los equipos, lo que reduciría la necesidad de fabricar nuevos productos. Además, fomentar el reciclaje de metales y componentes electrónicos de equipos obsoletos.

- Reacondicionamiento/remanufactura:

Ejemplo: En lugar de desechar equipos o maquinaria al final de su ciclo de vida, estos pueden ser reacondicionados y vendidos de nuevo. Por ejemplo, los motores de perforación que ya no son útiles en su forma original pueden ser reacondicionados para su reutilización en otras áreas de la producción.

Aplicación: Promover alianzas con empresas especializadas en reacondicionamiento para garantizar la durabilidad y el uso continuo de los equipos, minimizando la extracción de nuevos recursos.

- Reciclaje:

Ejemplo: Los plásticos no reciclables, los metales y otros materiales que se generan en las operaciones de perforación y explotación pueden ser reciclados mediante tecnologías avanzadas, como la pirólisis o el reciclaje químico, para producir productos útiles como nuevos materiales para la construcción de infraestructuras o incluso productos petroquímicos renovables.

Aplicación: Implementar una red de reciclaje robusta para la recolección y tratamiento de residuos industriales. Esto incluiría la identificación y clasificación adecuada de residuos para asegurar que se reciclen y reutilicen de manera eficiente.

b. Ciclo Biológico:

El ciclo biológico se refiere a los materiales biodegradables que pueden ser reintegrados al entorno sin generar impactos negativos. Este ciclo no solo promueve la regeneración de la biosfera, sino que también contribuye a la sostenibilidad a largo plazo al reducir el impacto ambiental de las actividades industriales. En el sector de hidrocarburos, este ciclo se aplica de las siguientes maneras:

- Residuos orgánicos (incluyendo alimentos y restos biodegradables):

Ejemplo: En los campamentos y las instalaciones asociadas con las operaciones de perforación y explotación, se generan residuos orgánicos como restos de comida y residuos de poda, que pueden ser transformados en abono orgánico a través de compostaje.

Aplicación: Implementar procesos de compostaje para convertir estos residuos en abono utilizado para la restauración de tierras afectadas o la mejora de la calidad del suelo en áreas cercanas a los campamentos e incluso a ser utilizados en la restauración de áreas en la etapa de desmantelamiento. Este abono puede ser utilizado en la rehabilitación de áreas afectadas por las actividades extractivas, contribuyendo a la restauración paisajística y la recuperación de ecosistemas, especialmente en áreas desprovistas de vegetación debido a la intervención humana.

- Regeneración de la biosfera:

Ejemplo: Los residuos orgánicos generados por las actividades extractivas, como restos de alimentos y ciertos tipos de lodos de perforación tratados, pueden ser utilizados en la regeneración de la biosfera. El proceso de restauración de ecosistemas en áreas afectadas por la actividad de perforación puede beneficiarse de los residuos biodegradables.

Aplicación: La restauración y rehabilitación de terrenos afectados por las actividades extractivas puede ser una forma efectiva de reintegrar los residuos orgánicos de vuelta al ciclo de la naturaleza. Este enfoque permite cerrar el ciclo biológico, reduciendo el impacto ambiental de las actividades extractivas y promoviendo la regeneración de la tierra y los ecosistemas dañados.

- Residuos orgánicos - Biogás:

Ejemplo: A través de procesos como la digestión anaeróbica, algunos residuos orgánicos generados en el proceso de perforación o en los campamentos pueden ser transformados en biogás, una fuente de energía renovable.

Aplicación: Los residuos orgánicos generados en los campamentos pueden ser tratados para producir biogás que se utilice como fuente de energía renovable. Este biogás puede abastecer las propias operaciones de extracción, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y contribuyendo a la sostenibilidad energética de las actividades extractivas.

c. Integración del Ciclo Técnico y Biológico:

El verdadero potencial del modelo de economía circular en el sector hidrocarburos radica en la integración efectiva de los ciclos biológico y técnico. Esta integración permite maximizar la reutilización de los materiales y minimizar los impactos negativos asociados con la gestión de residuos.

- Cascadas de Materiales:

Ejemplo: Los productos generados a partir de los residuos reciclados, como plásticos transformados en asfalto ecológico o metales reciclados utilizados en la construcción de infraestructuras, pueden entrar en cascadas de materiales, donde un producto reciclado alimenta a otro proceso industrial o sector.

Aplicación: Fomentar un sistema de cascadas de materiales dentro de las actividades extractivas que permita que los productos reciclados generados a partir de los residuos de hidrocarburos (como el reciclaje de plásticos y metales) se reutilicen en diversas industrias, como la construcción, manufactura, o infraestructuras viales. De esta forma, se optimiza el uso de recursos y se extiende la vida útil de los materiales.

6.2.4 Potencialidad de la de la Autoridad Nacional en la economía circularidad de los residuos sólidos.

Al verificar que el sector de los hidrocarburos se encuentra aplicando los lineamientos de la economía circular en la gestión de los residuos sólidos y que hay un potencial real de aumentar su

implementación, es de resaltar que hay la posibilidad de que la Autoridad Nacional Ambiental articule lineamientos y criterios de seguimiento de economía circular en las licencias ambientales de las etapas de exploración y explotación. Sin embargo, con el fin de dar un criterio asertivo, a continuación, se relaciona por categoría de residuos sólidos las ventajas y desventajas de aplicar lineamientos de economía circular en los procesos de licenciamiento, teniendo en cuenta la representatividad de los residuos generados conforme con el análisis presentado en el numeral 7.1 y el análisis de potencialidad relacionado anteriormente.

Tabla 15

Potencialidad de la de la Autoridad Nacional Ambiental en la economía circularidad de los residuos sólidos en la industria de los hidrocarburos

Categoría	Categoría (Resolución 2184 de 2019)	Tipo de Residuos	Etapa Hidrocarburos		Lineamientos de		Potencialidad	
			Explora.	Explota.	Reducción en la Fuente	Ventajas	Desventajas	
Ordinarios	No aprovechables	Incluye plásticos no reciclables, papel higiénico, toallas de mano, paños húmedos, servilletas, papeles y cartones contaminados con comida, papeles metalizados, papeles encerados, elementos de protección	X	X	Sustituir plásticos no reciclables y papeles metalizados por materiales biodegradables o compostables. Implementar protocolos para evitar la contaminación de papeles y cartones con comida. Optimizar el uso de productos desechables mediante alternativas reutilizables. Digitalizar procesos administrativos para reducir el consumo de papel. Establecer acuerdos con proveedores para minimizar empaques no reciclables.	Este tipo de residuos tienen una gran generación en el sector debido al personal involucrados en las dos etapas. Dentro de la investigación realizada se observa implementación de reciclaje químico mediante pirólisis para transformar plásticos no reciclables en productos químicos renovables. Aunque su implementación en Colombia es limitada, representa una oportunidad para explorar nuevas tecnologías y aplicaciones. Por tanto, la ANLA puede dar un seguimiento y brindar esta alternativa para su seguimiento.	Dentro de la investigación no se encontró información que incluya lineamientos de circularidad a residuos no aprovechables o ordinarios aparte de plásticos no reciclables en el sector de los hidrocarburos. Por lo cual su representatividad es menor. De igual forma, poder contar con empresas que procesen este tipo de materiales dificulta su aprovechamiento. Además, la pirólisis, aunque promueve el reciclaje químico, enfrenta limitaciones en Colombia debido a su falta de escalabilidad y su aplicación restringida a ciertos tipos de plásticos (PE, PP, PS), lo que reduce su viabilidad para una gestión integral de residuos no reciclables."	

Categoría	Categoría (Resolución 2184 de 2019)	Tipo de Residuos	Etapa Hidrocarburos		Lineamientos de Reducción en la Fuente	Potencialidad	
			Explora.	Explota.		Ventajas	Desventajas
Reciclables	Aprovechables Domésticos	Papel, Cartón, Plástico, Vidrio	X	X	<p>Fomentar la reutilización de envases de plástico y vidrio en las operaciones internas.</p> <p>Implementar programas de sensibilización para optimizar el uso de papel y cartón, promoviendo la impresión responsable y la reutilización de materiales.</p> <p>Establecer acuerdos con proveedores para priorizar el uso de empaques reciclables y reducir su volumen.</p> <p>Promover la separación en la fuente mediante campañas internas que faciliten la clasificación de residuos reciclables desde su generación.</p> <p>Incorporar procesos de digitalización para minimizar el uso de papel en tareas administrativas y operativas.</p>	<p>En especial para la etapa de explotación, la generación de este tipo de residuos es representativo. Tal como se señaló en la tabla 14, son varias las industrias que han implementado alternativas de reutilizar los residuos dentro de su proceso o emplear gestores externos para ser utilizado en otros procesos industriales. Para la ANLA dentro de su gestión de control y seguimiento, podrá realizar con facilidad la verificación de lineamientos de circularidad para este tipo de residuos y pueden ser enmarcados en obligaciones dentro de las licencias ambientales.</p>	<p>Requiere la implementación de infraestructura especializada para el reciclaje de estos materiales en áreas apartadas del país. Es de recordar, tal como se observa en la figura 2, que las licencias ambientales del sector de hidrocarburos se desarrollan a lo largo del país, incluyendo en zonas rurales y muy apartadas, por tanto, las empresas pueden llegar a tener la dificultad de encontrar gestores externos.</p> <p>De igual forma, para la etapa exploratoria al ser su desarrollo en tiempos cortos, pueda ser que la circularidad de los residuos no sea sustancial, por tanto, aplicaría más para la etapa de explotación.</p>

Categoría	Categoría (Resolución 2184 de 2019)	Tipo de Residuos	Etapa Hidrocarburos		Lineamientos de Reducción en la Fuente	Potencialidad	
			Explora.	Explota.		Ventajas	Desventajas
	Aprovechables Industriales	Madera, Llantas, Chatarra	X	X	<p>Diseñar procesos para maximizar la reutilización de madera en estructuras temporales, embalajes y plataformas.</p> <p>Mantenimiento preventivo para extender la vida útil de maquinaria y equipos, reduciendo la generación de chatarra.</p> <p>Establecer acuerdos con proveedores para recuperar llantas usadas y destinarlas a procesos de reciclaje o producción de asfaltos ecológicos.</p> <p>Fomentar el uso de madera certificada y sostenible en actividades operativas, minimizando el impacto ambiental de su adquisición.</p> <p>Promover la clasificación inmediata de estos materiales en sitio para facilitar su aprovechamiento y reducir la pérdida de valor.</p>	<p>En la industria de los hidrocarburos se está implementado el reciclaje de metales en nuevas industrias y su reutilización en equipos, maquinaria y otras aplicaciones dentro y fuera del sector energético, de igual forma, el reciclaje de llantas para producir asfalto ecológico, integrando plástico reciclado y llantas para mejorar la durabilidad y resistencia de las infraestructuras viales. Por lo anterior, la ANLA puede incluir dentro de las obligaciones de la licencia el seguimiento de este tipo de residuos.</p>	<p>Si bien, hay empresas del sector hidrocarburos empleando circularidad en este tipo de residuos, es pertinente mencionar que la generación de este tipo no es de gran representatividad tal como se analizó en el numeral 6.1.3. por tanto, no todas las empresas estarán interesadas en el manejo y aprovechamiento de este tipo de residuos.</p>

Categoría	Categoría (Resolución 2184 de 2019)	Tipo de Residuos	Etapa Hidrocarburos		Lineamientos de	Potencialidad	
			Explora.	Explota.	Reducción en la Fuente	Ventajas	Desventajas
Orgánicos	Aprovechable	Incluye restos de comida cruda como cáscaras de frutas y verduras, pan, restos de café, residuos de poda y corte de arboles	X	X	<p>Implementar prácticas de compostaje in situ para transformar restos de comida y poda en abono orgánico.</p> <p>Separación en la fuente, garantizando que los residuos orgánicos no se mezclen con otros materiales.</p> <p>Promover acuerdos con proveedores para reducir la cantidad de embalajes orgánicos desechables y priorizar el uso de materiales compostables.</p> <p>Fomentar el aprovechamiento de residuos orgánicos en actividades de restauración ecológica, como en la recuperación de suelos degradados.</p> <p>Capacitar al personal para optimizar la gestión de residuos orgánicos mediante</p>	<p>Se observó en el análisis presentado en el numeral 6.1.3, que este tipo de residuos son representativos en las dos etapas verificadas, por tanto, hay un potencial alto en términos de circularidad. Es de señalar que empresas de los hidrocarburos están empleando los residuos orgánicos en sus actividades o empleados en la restauración de áreas intervenidas. Conforme con lo anterior, hay un alto potencial en que se incluyan obligaciones específicas en las licencias ambientales en el seguimiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos.</p>	<p>La cantidad de residuos orgánicos tiene una mayor aplicabilidad en la etapa de explotación o producción de hidrocarburos, toda vez que las actividades tiene un mayor tiempo de duración, por lo tanto, hay mayor posibilidad de verificar la eficacia y eficiencia de la circulación de los residuos orgánicos dentro de la actividad.</p>

Categoría	Categoría (Resolución 2184 de 2019)	Tipo de Residuos	Etapa Hidrocarburos		Lineamientos de Reducción en la Fuente	Potencialidad	
			Explora.	Explota.		Ventajas	Desventajas
					técnicas de aprovechamiento sostenible.		
Contaminados	No aprovechables	Telas y papeles impregnados con hidrocarburos, elementos de protección personal impregnados con hidrocarburos	X	X	<p>Uso de materiales reutilizables o de bajo impacto ambiental en procesos propensos a la impregnación con hidrocarburos.</p> <p>Implementar protocolos para la contención y manejo adecuado de derrames que eviten la contaminación de materiales secundarios.</p> <p>Capacitar al personal en mejores prácticas para el manejo y reducción de residuos contaminados desde la operación.</p>	No se encontró ventajas que permitan la potencialidad de realizar una economía circular en este tipo de residuos.	
		Lodos y cortes de perforación	X	X	<p>Optimizar los procesos operativos para minimizar la generación de lodos y cortes de perforación, implementando tecnologías de perforación más limpias.</p>	<p>Conforme con el análisis presentado en las etapas de exploración y explotación, la cantidad de este tipo de residuos es de gran representatividad en el sector.</p> <p>En línea con lo anterior, algunas empresas del sector</p>	Requiere un control riguroso de las emisiones y el tratamiento de los residuos.

Categoría	Categoría (Resolución 2184 de 2019)	Tipo de Residuos	Etapa Hidrocarburos		Lineamientos de Reducción en la Fuente	Potencialidad	
			Explora.	Explota.		Ventajas	Desventajas
						analizado han encontrado solución en el manejo de este tipo de residuos en términos de disminución por medio de desorción térmica y reutilización de cortes en la construcción de infraestructura. Dado lo anterior, la ANLA tiene la posibilidad de incluir obligaciones de seguimiento y control para este tipo de residuos.	
	Residuos post consumo	Pilas y/o acumuladores, bombillas, llantas usadas, computadores y/o periféricos, baterías plomo ácido, fármacos, o medicamentos vencidos, envases y empaques y demás residuos	X	X	Implementar acuerdos con proveedores para la devolución de productos al final de su vida útil, como pilas, bombillas y baterías plomo-ácido. Promover el uso de tecnologías más duraderas y fácilmente reciclables para dispositivos electrónicos y periféricos.	Las licencias ambientales contemplan el análisis, seguimiento y control de los residuos postconsumo dado que se encuentran instrumentos reglamentarios mediante las resoluciones 371 de 2009, 372 de 2009, 1326 de 2017, 1407 de 2018 y 851 de 2022.	

Categoría	Categoría (Resolución 2184 de 2019)	Tipo de Residuos	Etapa Hidrocarburos		Lineamientos de Reducción en la Fuente	Potencialidad	
			Explora.	Explota.		Ventajas	Desventajas
		posconsumo considerados por la normativa vigente					
Residuos de Construcción y Demolición (RCD)				X	Diseñar procesos constructivos modulares para minimizar la generación de residuos durante las actividades de exploración. Fomentar el uso de materiales reciclados y reutilizables, como agregados provenientes de la trituración de RCD, en obras y reparaciones.	Las licencias ambientales contemplan el análisis, seguimiento y control de los RCD dado que se encuentran instrumentos reglamentarios mediante la resolución 472 de 2017 modificada por la resolución 1257 de 2021.	

Nota: Elaboración propia.

6.3 Objetivo 3. indicadores de gestión para fomentar la adopción de la economía circular en el licenciamiento ambiental del sector de hidrocarburos en la gestión de los residuos sólidos

La adopción de la economía circular en la gestión de los residuos sólidos en el licenciamiento ambiental en el sector de hidrocarburos requiere no solo de un cambio en los lineamientos mínimos (de economía lineal a economía circular), sino también de la implementación de indicadores de gestión que permitan medir y evaluar el progreso hacia la sostenibilidad.

Los indicadores son herramientas esenciales para monitorear la eficiencia de los procesos, identificar áreas de mejora y asegurar que las metas de circularidad sean alcanzadas. Los indicadores deben estar alineados con los principios de economía circular, como la reducción de residuos, la reutilización, el reciclaje, la valorización de materiales y la minimización de la huella ambiental.

Es de señalar que, en el año 2022, la Subdirección de Instrumentos Permisos y Trámites Ambientales de la ANLA, emitió los indicadores de efectividad en el proceso de licenciamiento ambiental, los cuales son de obligatoria adopción. No obstante, no se tuvo en cuenta indicadores en la gestión de los residuos sólidos ni se tuvo en cuenta principios de la economía circular. En virtud de lo mencionado, el presente análisis, dada la potencialidad de incluir la economía circular en el sector de los hidrocarburos, se proponen indicadores a ser implementados en el licenciamiento ambiental.

6.3.1 Propuestas de indicadores clave para la economía circular en la gestión de residuos sólidos

Para fomentar la adopción de la economía circular en el sector de hidrocarburos, se pueden recomendar desde la Autoridad Nacional utilizar indicadores de gestión que midan diferentes aspectos, como la cantidad de residuos reciclados, la eficiencia en el aprovechamiento de materiales y la reducción de la huella ambiental. A continuación, se proponen algunos indicadores clave:

Ecuación 1 Tasa de reciclaje de residuos sólidos

Definición: Mide el porcentaje de residuos generados que son reciclados o reutilizados en lugar de ser enviados a disposición final.

Objetivo: Aumentar la tasa de reciclaje de residuos plásticos, aceites usados, metales y otros materiales en las operaciones de hidrocarburos.

Fórmula:

$$\text{Tasa de Reciclaje} = \left(\frac{\text{Residuos Reciclados o Reutilizados}}{\text{Total de Residuos Generados}} \right) \times 100$$

Ecuación 2 Índice de aprovechamiento de residuos

Definición: Este indicador mide el porcentaje de residuos que se recuperan y se reincorporan en el ciclo productivo, transformándolos en nuevos productos o energía.

Objetivo: Optimizar el aprovechamiento de residuos para asegurar que la mayoría de los residuos generados sean reutilizados o reciclados eficientemente.

Fórmula:

$$\text{Índice de Aprovechamiento} = \left(\frac{\text{Residuos Aprovechados (ej. reciclados, convertidos en productos)}}{\text{Total de Residuos Generados}} \right) \times 100$$

Ecuación 3 Reducción de huella de carbono en la gestión de residuos

Definición: Mide la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a la gestión de residuos sólidos, incluyendo la revalorización de residuos y su transformación en energía.

Objetivo: Disminuir las emisiones generadas por la disposición de residuos mediante su reciclaje o aprovechamiento en procesos industriales.

Fórmula:

Reducción de emisiones de CO2

= *Emisiones Iniciales*

– *Emisiones Después de la Implementación de Estrategias de Economía Circular*

Ecuación 4 Porcentaje de residuos orgánicos aprovechados

Definición: Este indicador mide la proporción de residuos orgánicos generados que son reciclados para la producción de compost, biogás o utilizados en otras aplicaciones sostenibles.

Objetivo: Aumentar el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de la transformación en productos valiosos como compost o energía.

Fórmula:

$$\text{Aprovechamiento de Orgánicos} = \left(\frac{\text{Residuos Orgánicos Aprovechados}}{\text{Total de Residuos Orgánicos Generados}} \right) \times 100$$

Ecuación 5 Reducción de residuos enviados a disposición final

Definición: Mide la cantidad de residuos que son enviados a disposición final, lo cual debe reducirse conforme se avanza en la adopción de prácticas de economía circular.

Objetivo: Reducir la cantidad de residuos enviados a disposición final mediante el fomento del reciclaje, reutilización y valorización.

Fórmula:

$$\begin{aligned} & \text{Reducción de Residuos enviados a disposición final} \\ & = \left(\frac{\text{Residuos Iniciales} - \text{Residuos Enviados a Disposición final}}{\text{Residuos Iniciales}} \right) \times 100 \end{aligned}$$

Ecuación 6 Porcentaje de residuos peligrosos gestionados en procesos de circularidad

Definición: Este indicador mide el porcentaje de residuos peligrosos generados que son efectivamente gestionados dentro de un proceso de economía circular, es decir, aquellos residuos

que son reciclados, reutilizados o transformados en productos o recursos nuevos, en lugar de ser enviados a disposición final de residuos peligrosos.

Objetivo: Aumentar la proporción de residuos peligrosos que se incorporan en procesos de economía circular, reduciendo la cantidad de residuos peligrosos enviados a disposición final y promoviendo su valorización.

Fórmula:

$$\begin{aligned} & \% \text{ de Residuos Peligrosos en Circularidad} \\ & = \left(\frac{\text{Residuos Peligrosos Reutilizados o Reciclados}}{\text{Total de Residuos Peligrosos Generados}} \right) \times 100 \end{aligned}$$

Ecuación 7 Tasa de circularidad de productos

Definición: Este indicador mide el porcentaje de productos que son completamente circulares, es decir, aquellos que después de ser utilizados pueden ser devueltos al ciclo productivo a través de procesos de reutilización o reciclaje.

Objetivo: Medir cuántos productos dentro del sistema siguen el principio de economía circular de reutilización y reciclaje, contribuyendo a la sostenibilidad y reduciendo la necesidad de nuevas materias primas.

$$\text{Tasa de circularidad de productos} = \left(\frac{\text{Productos Reutilizados o Reciclados}}{\text{Total de Productos Gerenerados}} \right) \times 100$$

Ecuación 8 Valor generado por la reutilización de residuos

Definición: Este indicador evalúa el valor económico generado a partir de la reutilización o valorización de residuos, comparándolo con el costo de su disposición final. Permite identificar el impacto económico positivo derivado de la reutilización en lugar de enviar los residuos a disposición final.

Objetivo: Evaluar el valor agregado de los residuos reciclados o reutilizados, demostrando que la reutilización puede generar más valor económico que la disposición final, promoviendo prácticas sostenibles y eficientes.

$$\text{Valor generado por la reutilización} = \left(\frac{\text{Valor económico de los residuos reutilizados}}{\text{Costo de disposición final de residuos}} \right) \times 100$$

Ecuación 9 Tasa de reducción en la Generación de residuos (TRGR) en la fuente

Definición: Mide la disminución porcentual de residuos generados en la fuente en comparación con un periodo base, reflejando los avances en la implementación de medidas preventivas para evitar la generación de residuos desde la fuente.

Objetivo: Evaluar y fomentar la implementación de medidas preventivas que reduzcan la generación de residuos en las operaciones del sector de hidrocarburos, alineándose con los principios de la economía circular y promoviendo un uso más eficiente de los recursos

$$TRGR (\%) = \left(\frac{\text{Residuos Generados en el periodo base} - \text{Residuos Generados en el periodo actual}}{\text{Residuos Generados en el periodo base}} \right) \times 100$$

7. Conclusiones

El sector hidrocarburos actualmente desarrolla acciones orientadas hacia la economía circular, demostrando su compromiso con la sostenibilidad. Sin embargo, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, como autoridad ambiental con capacidad reguladora y fuerza vinculante, tiene una oportunidad estratégica para consolidar estas iniciativas mediante la formulación de lineamientos claros que impulsen su trazabilidad y efectividad. Esto permitiría construir un marco más robusto que garantice la integración de la economía circular como eje transversal en el licenciamiento ambiental. Asimismo, la consolidación y análisis de información sectorial, enmarcados en la sostenibilidad, fortalecerían la capacidad de la entidad para promover prácticas innovadoras, evaluar los impactos reales de estas iniciativas y fomentar una gobernanza ambiental más efectiva.

La identificación de los tipos y características de los residuos sólidos generados en el sector hidrocarburos destaca el alto potencial de aprovechamiento ya presente en algunas empresas. Desde su capacidad técnica, la ANLA podría reconocer estas prácticas, promoviendo metas claras de valorización y reducción de residuos en los términos de referencia (TdR) y obligaciones mínimas del licenciamiento ambiental.

Los lineamientos definidos en este proyecto ofrecen una ruta para integrar los principios de economía circular en la gestión de residuos del sector hidrocarburos. La ANLA tiene la oportunidad de incorporar estos lineamientos en el licenciamiento, fortaleciendo la gobernanza ambiental y asegurando que las empresas adopten estándares más sostenibles en las etapas de exploración y explotación.

La creación de indicadores de gestión específicos se presenta como una herramienta para monitorear y promover el cumplimiento de la economía circular. Desde su posición, la ANLA podría liderar la implementación de indicadores que midan la reducción de impactos ambientales y evalúen los beneficios económicos y sociales del aprovechamiento de residuos. La centralización y análisis de estos datos proporcionarían una base para decisiones informadas, permitiendo identificar tendencias, optimizar estrategias, reconocer procesos de éxito y promover una gestión de recursos más efectiva y transparente.

Finalmente, la economía circular se consolida como un eje esencial para la sostenibilidad en el sector hidrocarburos, transformando la gestión de residuos en una oportunidad para generar valor económico, social y ambiental. Este enfoque promueve la reducción de impactos ambientales, el fortalecimiento de la cadena de valor, la innovación en los procesos productivos y una gobernanza ambiental más sólida que refuerza la resiliencia empresarial y genera beneficios tangibles para las comunidades, marcando un camino hacia una transición sostenible y responsable.

Referencias

- Asociación Colombiana del Petróleo y Gas. (2019, julio 16). *El sector de hidrocarburos se suma a la 'Estrategia Nacional de Economía Circular'*. (s/f). ACP. Recuperado el 23 de febrero de 2024, de <https://acp.com.co/web2017/es/sala-de-prensa/comunicados-de-prensa/1094-el-sector-de-hidrocarburos-se-suma-a-la-estrategia-nacional-de-economia-circular>
- Asociación Colombiana del Petróleo y Gas. (2023, noviembre 6) *Especial Economía circular*. Recuperado el 28 de septiembre de 2024, de <https://acp.com.co/portal/especial-economia-circular/>
- Asociación Colombiana del Petróleo y Gas. (2024, diciembre 12). *Informe Hechos de Sostenibilidad 2024*. (n.d.). Retrieved January 4, 2025, from <https://acp.com.co/portal/download/informe-hechos-de-sostenibilidad-2024/>
- Asociación Colombiana del Petróleo y Gas (2024, junio 19). *Premios Hechos de sostenibilidad 2024*. Recuperado el 15 de diciembre de 2024, de <https://acp.com.co/portal/premios-hechos-de-sostenibilidad-2024/>
- Cazares, J. B. (2023, November 7). *Especial Economía circular. Asociación Colombiana del Petróleo y Gas*. Recuperado el 01 de septiembre 2024, de <https://acp.com.co/portal/especial-economia-circular/>
- CEPAL. (2021). *Economía circular en América Latina y el Caribe, Oportunidad para una recuperación transformadora*. Cepal.org. Recuperado el 18 de agosto de 2024, de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5fceda72-3fed-4ace-bb87-5688547cf2f5/content>
- Castañeda, S. V., 2020. *Aplicación de Inteligencia Artificial para la Sostenibilidad en las Organizaciones. Tesis de pregrado. Universidad del Bosque*. Recuperado el 22 de junio de 2023, de https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/5994/Castañeda_Murillo_Sara_Valentina.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cholteeva, Y. (2021, mayo 10). *Taking on the circular economy in oil and gas. Offshore Technology*. Recuperado el 20 de octubre de 2024, de <https://www.offshore-technology.com/features/taking-on-the-circular-economy-in-oil-and-gas/?cf-view>
- Circular Economy (n.d.). *Progress of Policies*. Retrieved March 1, 2024, from <https://circulareconomy.earth/>
- Comisión Europea, Comunicación de la Comisión del Parlamento Europeo, el Consejo, el Comité Social y Económico Europeo de las regiones: *united in delivering the Energy Union and Climate Action – setting the foundations for a successful clean energy transition* (2019)
- Economie, T. N. E. (s/f). *Circulair Den Haag. Raadsinformatie.nl*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://denhaag.raadsinformatie.nl/document/6291317/1/RIS299353_Bijlage_1
- Ecopetrol. (2024, junio 28) *Modelo de Economía Circular*. (n.d.). Com.co. Retrieved March 14, 2024, from

<https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/sostecnibilidad/ambiental/economia-circular/modelo-economia-circular>

Ellen MacArthur Foundation, *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change* (2019). Recuperado el 20 de septiembre de 2024, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>

Ellen MacArthur Foundation, (2021, febrero 12). *El diagrama de la mariposa: visualizando la economía circular*. (s/f). Recuperado el 5 de octubre de 2024, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/el-diagrama-de-la-mariposa>

Faster Capital (2024, junio 7). *Residue reinventado transformando las obras en las refinerías de petróleo*. Recuperado el 24 de octubre de 2024, de *Fastercapital.com*. <https://fastercapital.com/es/contenido/Residue-reinventado--transformando-las-sobras-en-las-refinerias-de-petroleo.html>

ISA Vías (2024, noviembre 25). *Ruta Costera, concesión de ISA Vías, pionera en Colombia en la implementación de diversos asfaltos sostenibles en vías 4G*. Recuperado el 29 de noviembre de 2024, de <https://www.isa.co/es/press/huella-de-carbono/>

Jensen, H. H. (2023, octubre 2). Why the circular economy is a business imperative. *World Economic Forum*. Recuperado el 10 de octubre de 2024, de <https://www.weforum.org/agenda/2023/10/why-the-circular-economy-is-a-business-imperative/>

Kirchherr, J. y otros (2018), “*Barriers to the circular economy: evidence from the European Union (EU)*”, *Ecological Economics*, vol. 150, agosto

Kowal & Poulter, 2023; Climate Governance Initiative, Accenture, & World Economic Forum. (s/f). Climate governance and the circular economy: A primer for boards. *Climate-governance.org*. Recuperado el 18 de noviembre de 2023, de https://hub.climate-governance.org/Article/circular_economy_primer

Lacy, P., Long, J. and Spindler, W., *The Circular Economy Handbook*, *Palgrave Macmillan*, 2020. Recuperado el 18 de octubre de 2024, de <https://www.accenture.com/us-en/about/events/the-circular-economy-handbook>.

Latina, A. (s/f). *CIRCULARITY GAP REPORT Cerrando la Brecha de Circularidad en*. *Cepal.org*. Recuperado el 18 de noviembre de 2024, de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/10760712-5fde-4106-9afc-953c7d3d569d/content>

Lloreda, 2023; *Economía circular: del discurso a los hechos*. (s/f). *ACP*. Recuperado el 16 de febrero de 2024, de <https://acp.com.co/web2017/es/sala-de-prensa/opinion/1096-economia-circular-del-discurso-a-los-hechos>

Masterson, V., & Shine, I. (2022, junio 14). *What is the circular economy - and why is the world less circular?* *World Economic Forum*. Recuperado el 12 de septiembre de 2024, de <https://www.weforum.org/agenda/2022/06/what-is-the-circular-economy/>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2023). *Transición a la Economía Circular*. Recuperado el 19 de octubre de 2024, de <https://economiecircular.minambiente.gov.co/index.php/transicion-a-la-economia-circular/responsabilidad-extendida-del-productor/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2023). *Plan Nacional Para La Gestión Sostenible de los Plásticos de un Solo Uso*. Recuperado el 15 de julio de 2024, de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/plan-nacional-para-la-gestion-sostenible-de-plasticos-un-solo-uso-minambiente.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2023). *Colombia avanza hacia la reducción de los plásticos de un solo uso*. Recuperado el 1 de agosto de 2024 de: <https://www.minambiente.gov.co/colombia-avanza-hacia-la-reduccion-de-los-plasticos-de-un-solo-uso/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2017). *Política de economía circular*. Recuperado el 28 de octubre de 2024, de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1729-politica-de-economia-circular>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. Recuperado el 28 de octubre de 2024, de: <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldeLosResiduos/Documento-Ministerio-de-Ambiente-Estrategia-Nacional-de-Economia-Circular-2019.pdf>
- Ministry of Employment and the Economy. (2021). *Government resolution on the strategic Programme For Circular Economy*, Recuperado el 26 de octubre de 2024 de <https://ym.fi/documents/1410903/42733297/Government+resolution+on+the+Strategic+Programme+for+Circular+Economy+8.4.2021.pdf/309aa929-a36f-d565-99f8-fa565050e22e/Government+resolution+on+the+Strategic+Programme+for+Circular+Economy+8.4.2021.pdf?t=1619432219261>.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2015) *Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible* (N.d.). *Gov.Co*. Retrieved March 2, 2024, from <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>
- Ministry of the Environment. (s/f). *Plastics roadmap for Finland*. Recuperado el 19 de febrero de 2024, de <https://ym.fi/en/plastics-roadmap-for-finland>
- Núñez, V. 2023. *El programa “Basura Cero” en el Plan Nacional de Desarrollo*. (s/f). *Ámbito Jurídico*. Recuperado el 3 de diciembre de 2024, de <https://www.ambitojuridico.com/noticias/analisis/constitucional-y-derechos-humanos/el-programa-basura-cero-en-el-plan-nacional-de>
- Organización de los Países Bajos para la Investigación Científica Aplicada, Effecten van het Rijksbrede Programma Circulaire Economie en de Transitieagenda’s op de emissie van broeikasgassen (2018); *Ministerio de Infraestructura y Medioambiente y Ministerio de Asuntos Económicos*, A circular economy in the Netherlands by 2050 (2016)

- Profesional, R. (2023, November 24). *¿Qué podemos aprender de Japón sobre economía circular?* Recuperado el 7 de abril de 2024. <https://www.residuosprofesional.com/japon-economia-circular/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD- Costa Rica). *Estudio comparado de Legislación internacional Sobre economía circular: relevancia potencial para costa rica y Recomendaciones para legisladores* (N.d.-b). *Undp.org*. Retrieved March 3, 2024, from <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-05/undp-cr-estudio-comparado-legislacion-economia-circular.pdf>
- Pearce, D. W. y Turner, K. R. (1990). *Economics of Natural Resources and The Environment* (ed.), *Great Britain*: The Johns Hopkins University Press.
- Petrobras (2024, febrero 22). *Sostenibilidad y Responsabilidad Social en la Industria del Petróleo*. Retrieved December 1, 2024, from <https://www.petrobras.com.ar/sostenibilidad-y-responsabilidad-social-en-la-industria-del-petroleo/>
- Semana. (2019, September 12). Así logró Smurfit Kappa convertirse en líder del reciclaje y la reforestación. *Semana.com* Últimas Noticias de Colombia y el Mundo. <https://www.semana.com/empresas/especiales/articulo/smurfit-kappa-es-lider-en-reciclaje/276801/>
- Semana. (2021, August 10). La estrategia de esta empresa para reciclar 200.000 toneladas de papel y cartón al año. *Revista Semana*. <https://www.semana.com/hablan-las-marcas/articulo/smurfit-kappa-colombia-le-apuesta-al-pais/202108/>
- Total Energies (2022, Agosto 03). *Total Energies accelerates in plastics recycling*. Retrieved December 1, 2024, from <https://totalenergies.com/infographics/totalenergies-accelerates-plastics-recycling>
- United Nations Environment Programme (2023, marzo) *Unlocking circular economy finance in Latin America and the Caribbean: The catalyst for a positive change*. Recuperado el 18 de marzo de 2024, de <https://www.unepfi.org/publications/unlocking-circular-economy-finance-in-latin-america-and-the-caribbean-the-catalyst-for-a-positive-change/>
- Vilariño, A. (2019, julio 19). ¿Cómo medir la economía circular? *Revista Haz*. Recuperado el 26 de octubre de 2024, de <https://hazrevista.org/rsc/2019/07/como-medir-la-economia-circular/>
- Vicepresidencia HSE Ecopetrol. (n.d.) *Gestión integral de residuos*. Recuperado el 1 de octubre de 2024, de <https://files.ecopetrol.com.co/web/eng/rigs/2022/04-responsabilidad-corporativa/gestion-integral.html>
- Vicepresidencia HSE – Ecopetrol (n.d.). *Norma para la Estrategia Ambiental, Hse-N-, E.. Sistema de Gestión HSE*. Retrieved March 14, 2024, from <https://files.ecopetrol.com.co/web/esp/cargas/web/SosTECNibilidad/Ambiental/HSE-N-005%20Estrategia%20Ambiental.pd>
- Vasileios, R., Katja, T., y Arno, B. (2017). *CEPS The Circular Economy A review of definitions, processes and impacts*. Research Report, 2-4.