

**Tierras raras en Colombia: Un análisis a su incidencia ambiental y marco
normativo aplicable para el periodo 2022 al 2024**



Autores:

Santiago Castro Escarraga

Karen Sofia García Molina

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Facultad de Derecho

Bogotá D.C.

2025

**Tierras raras en Colombia: Un análisis a su incidencia ambiental y marco
normativo aplicable para el periodo 2022 al 2024**



Autores:

Santiago Castro Escarraga

Karen Sofia García Molina

**Monografía Socio Jurídica para Optar
Al título de Abogado**

Dirigida por:

Dr. Ricardo Motta Vargas

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Facultad de Derecho

Bogotá D.C.

2025

NOTA DE ACEPTACIÓN

DIRECTOR: **Dr. Ricardo Motta Vargas**

JURADO 1

JURADO 2

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las opiniones y el contenido presentados en esta monografía, titulada "Tierras raras en Colombia: Un análisis de su incidencia ambiental y marco normativo aplicable para el periodo 2022 al 2024", son de la exclusiva responsabilidad del o los autores. Este documento se ha elaborado como requisito para optar al título de Abogado y, bajo ninguna circunstancia, compromete la postura o las políticas de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca ni de su Facultad de Derecho. La institución no se hace responsable ni comparte necesariamente las opiniones aquí expresadas.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, fruto de años de formación y esfuerzo, a mi amado hijo, Samuel Jerónimo. Gracias, infinitas gracias, por tu invaluable paciencia y por esperarme cada noche. Tú fuiste y sigues siendo mi motivación más grande.

Sofía

García.

El esfuerzo y la dedicación plasmados en esta monografía son un tributo a mis amados padres y a mi estimado hermano. Desde el inicio de mi trayectoria académica, su apoyo incondicional ha sido la fuerza motriz de cada paso. Agradezco profundamente su presencia constante, su amor inagotable, el aliento en los momentos difíciles y la sabiduría que siempre me han compartido. Este logro es la culminación de un camino que, sin su sacrificio y apoyo inquebrantable, jamás habría podido recorrer. Gracias por ser mi inspiración más grande.

Santiago Castro.

AGRADECIMIENTOS

Nosotros, Sofía García y Santiago Castro, autores de la monografía "Tierras raras en Colombia: Un análisis de su incidencia ambiental y marco normativo aplicable para el periodo 2022 al 2024", expresamos nuestro más sincero agradecimiento a diversas personas e instituciones. Agradecemos profundamente a Dios por la sabiduría, fortaleza y guía que nos brindó a lo largo de la elaboración de este trabajo de investigación, permitiéndonos culminar con éxito este importante trabajo, además a la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca y su Facultad de Derecho por la sólida formación académica y el ambiente propicio que hicieron posible su investigación.

Un reconocimiento especial a nuestro Tutor Académico, Dr. Ricardo Motta Vargas, cuya invaluable orientación, paciencia y atinadas observaciones fueron cruciales para estructurar y enriquecer nuestro trabajo. Su acompañamiento constante fue una fuente de inspiración y apoyo inquebrantable. También agradecemos a los profesores universitarios por fomentar nuestro pensamiento crítico ante los desafíos legales y sociales de Colombia. Finalmente, extendemos nuestra gratitud a nuestros familiares y amigos por su incondicional apoyo y motivación durante el proceso.

Este trabajo, fruto de conocimientos adquiridos, busca ser una contribución significativa al debate sobre las tierras raras en Colombia y su impacto socioambiental.

RESUMEN

Esta monografía, presentada a la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Facultad de Derecho, examina la incidencia ambiental y el marco normativo aplicable a las Tierras Raras en Colombia durante el período 2022-2024, con el fin de optar al título de abogado. El estudio contextualiza la relevancia socioeconómica de estos elementos en el avance tecnológico global, para luego abordar el significativo impacto ambiental asociado a su minería. La metodología incluyó un exhaustivo examen del marco normativo colombiano y del derecho comparado, buscando determinar la capacidad del ordenamiento jurídico nacional para afrontar esta realidad emergente o, por el contrario, identificar un vacío legal en una materia tan relevante que intersecta el derecho minero y el derecho ambiental. Se concluye que, aunque Colombia posee algunas regulaciones, el marco normativo actual tiene limitaciones importantes para gestionar integralmente los desafíos ambientales derivados de la explotación de Tierras Raras, lo que resalta la necesidad urgente de una legislación más específica y robusta que garantice una protección efectiva.

Palabras clave: Tierras Raras, Impacto ambiental, Marco normativo, Vacío legal

Abstract

This monograph, submitted to the Colegio Mayor de Cundinamarca University, Faculty of Law, examines the environmental impact and regulatory framework applicable to rare earth elements in Colombia during the period 2022-2024, with the aim of obtaining a law degree. The study contextualizes the socioeconomic relevance of these elements in global technological advancement, and then addresses the significant environmental impact associated with their mining. The methodology included an exhaustive examination of the Colombian regulatory framework and comparative law, seeking to determine the capacity of the national legal system to address this emerging reality or, conversely, to identify a legal vacuum in such a relevant matter that intersects mining law and environmental law. It concludes that, although Colombia has some regulations in place, the current regulatory framework has significant limitations in comprehensively managing the environmental challenges arising from the exploitation of rare earth elements, highlighting the urgent need for more specific and robust legislation to ensure effective protection.

Keywords: Rare earth elements, Environmental impact, Regulatory framework,

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTOS	7
RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	15
Ubicación del problema	16
Descripción del problema.....	16
Formulación del problema.....	17
Justificación.....	18
Objetivos de la Investigación.....	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos	20
 CAPÍTULO 1: CONTEXTUALIZACIÓN DE LAS TIERRAS RARAS Y MARCO	
NORMATIVO APLICABLE	21
Concepto y Clasificación de las Tierras Raras	21
Etimología y Comprensión Histórica de las Tierras Raras	22
Abundancia y Avances en su Estudio	23
Usos e Importancia Socioeconómica de las Tierras Raras en Colombia	23
Usos y Aplicaciones de las Tierras Raras: Impulso de la Revolución	

Tecnológica.....	23
Desarrollo de la Actividad Económica de las Tierras Raras a Nivel Global.....	25
Presencia Potencial de Tierras Raras en Colombia.....	27
Importancia Socioeconómica de las Tierras Raras en Colombia.....	28
Marco Normativo General.....	29
Diagnóstico Jurídico.....	31
 CAPÍTULO 2: IMPACTO AMBIENTAL DE LA EXPLOTACIÓN DE TIERRAS	
RARAS	33
Impacto Ambiental de la Extracción Minera de Tierras Raras.....	33
Alteración del Paisaje y Degradación del Suelo.....	34
Contaminación del Agua.....	35
Contaminación del Aire.....	36
Gestión de Residuos.....	36
Extracción y Procesamiento de Tierras Raras.....	37
 CAPÍTULO 3: ANÁLISIS CRÍTICO DEL ORDENAMIENTO JURÍDICO	
COLOMBIANO FRENTE A LA EXPLOTACIÓN DE TIERRAS RARAS Y SUS	
IMPLICACIONES AMBIENTALES.....	39
El Marco Normativo Minero: El Código de Minas y su Aplicación a las Tierras Raras.....	39
Generalidad de la Normativa Minera y Ausencia de Regulación Específica para	

Tierras Raras	40
Régimen de Fiscalización y Control	41
La Normativa Ambiental Colombiana: Un Marco de Referencia General.....	41
Ley 99 de 1993 y el Sistema Nacional Ambiental (SINA).....	42
Normativa sobre Residuos Peligrosos y Sustancias Radiactivas.....	42
Jurisprudencia Constitucional y Contencioso Administrativa	43
La Función Ecológica de la Propiedad y los Derechos Colectivos	43
Precedentes sobre la Protección del Agua y el Territorio.....	44
Brechas y Desafíos del Marco Jurídico Colombiano para las Tierras Raras...	44
Estudio de normativa comparada respecto del tratamiento de tierras raras y protección del medio ambiente	46
Marco jurídico y tratamiento de las tierras raras en Ecuador	46
Tratamiento de las tierras raras en el Perú	48
Análisis de la normativa de tierras raras en Chile	49
Análisis comparativo de las normativas analizadas respecto de la legislación colombiana.....	50
CAPÍTULO 4: RECOMENDACIONES JURÍDICAS Y DE POLÍTICA PÚBLICA PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LA MINERÍA DE TIERRAS RARAS EN COLOMBIA.....	53
Marco para la Especialización Normativa: Hacia una Regulación Diferenciada	

de las Tierras Raras.....	53
Modificación o Adición al Código de Minas y Normativa Ambiental Sectorial .	54
Creación de una Ley de Tierras Raras.....	56
Fortalecimiento Institucional y Capacidades Técnicas	57
Capacitación y Especialización de Autoridades	57
Promoción de Prácticas Sostenibles y Economía Circular	58
Incentivos para Tecnologías Limpias	59
Participación Ciudadana y Transparencia.....	59
Mejora de los Procesos de Consulta Previa y Participación Ciudadana	60
Transparencia y Acceso a la Información.....	60
CAPÍTULO 5: MARCO METODOLÓGICO.....	62
Enfoque de Investigación	62
Fuentes de Información.....	63
Técnicas de Recolección y Análisis de Datos	64
Fases de la Investigación.....	65
CAPITULO 6: ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN	66
6.1. La razón de ser de la alternativa: de la tesis a la incidencia pública	66
6.2. Propósito, objetivos y público del recurso audiovisual	67
6.3. Estructura narrativa del video y su conexión con la propuesta jurídica	68

6.4. Impacto esperado y validación del recurso	68
6.5. Conclusión del capítulo	69
Conclusiones	69
Recomendaciones	72
Referencias Bibliográficas	76

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación no es más que un estudio más profundizado en el aspecto del derecho minero y más específico, al tratamiento jurídico de las tierras raras en Colombia. Es necesario analizar, en primera instancia, que el mundo actual se compone de grandes avances tecnológicos y dispositivos que han sido creados con la finalidad de simplificar la vida de las personas, y prácticamente la totalidad de dichos periféricos, suelen ser fabricados con materiales y metales raros, cuyos yacimientos históricamente no habían sido explorados debido a las consecuencias que este proceso pudiera tener en el medio ambiente circundante.

Si bien Colombia no es una nación propiamente minera, ya que al igual que sus vecinos, suelen basar parte de su economía en el petróleo, si existe un importante campo en la explotación de metales y minerales como la esmeralda, por citar un ejemplo. A pesar de ello, es importante señalar que existe un importante campo minero que no ha sido explorado o estudiado, debido a los efectos ulteriores que pueda tener, no solamente en el campo ambiental, sino también en los derechos colectivos de las personas que habitan en las áreas adyacentes a los posibles yacimientos.

Por esta razón, se necesita desarrollar este análisis, en el cual se utiliza tanto la normativa vigente, jurisprudencia de la Corte Constitucional y estudio comparado entre la legislación nacional respecto de la minería y explotación de tierras raras y la de países cercanos. Todo ello, con la finalidad de determinar la capacidad de la normatividad local para abordar de forma eficaz esta praxis, sobre todo en el medio

ambiente, ya que, por obvias razones, la minería ilegal tiene consecuencias negativas en el ecosistema, asimismo, se necesita hacer un estudio relacionado a esta posibilidad.

En cuanto al estudio de legislación comparada, ello es fundamental, ya que es importante realizar una revisión comparada de otras normativas relacionadas a la temática de estudio, cuyo objetivo es examinar modelos de legislación minera y en especial, de las tierras raras, a fin de que puedan aplicarse dichas experiencias al ordenamiento jurídico colombiano. Y, de forma general, se puede afirmar que el presente trabajo de investigación busca identificar las lagunas del derecho existentes en cuanto al tratamiento de las tierras raras en la normativa nacional, así como la incidencia que puede tener en el cumplimiento efectivo de los derechos fundamentales de quienes habitan en estas zonas.

Ubicación del problema

Descripción del problema

El proyecto nace de una inquietud grupal debido al alto impacto en el medio ambiente de la extracción minera de estos elementos, como la deforestación, la contaminación de agua y suelos por residuos químicos y más grave aún, residuos radioactivos que pueden dejar daños irremediables en nuestro territorio. Existen ejemplos que aterrizan la idea de la actividad económica de tierras raras, uno de ellos es el estudio llevado a cabo por la UIS (Universidad Industrial de Santander) en el año 2006 en donde se desarrolla un estudio respecto de diferentes muestras de fluoritas que cuentan con la presencia de tierras raras, dichas muestras son tomadas de varias minas

a lo largo del territorio Santandereano, lo que da cuenta de la presencia de estos minerales en nuestro territorio; hoy en día podemos hablar de “Mynastic”, un proyecto de extracción minera de tierras raras ubicado en el departamento del Vichada, este ambicioso proyecto que ya había sido rechazado en el departamento del Guainía, es propiedad de la multinacional canadiense Auxico Resources.

Esto da la oportunidad de realizar un trabajo que se centre en la falta de regulación por parte de Colombia, puesto que hay un desconocimiento por una gran parte de la población frente a todo lo que rodea la aplicación y la explotación de estos elementos, además, de la afectación ambiental casi irreversible del tratamiento de estos materiales, que a su vez, abre nuevas posibilidades al país y a la economía del mismo, debido a la gran relevancia que están tomando estos elementos a nivel mundial.

Según lo anterior, López (2019) menciona que: “El sector minero se encuentra en un momento coyuntural del que depende la estabilidad de la industria. De allí que resulte imperioso el estudio del fenómeno de inseguridad jurídica, pues este es uno de los retos que debe afrontar el sector”. Es necesario entonces, regular el proceso de extracción y producción de aquellas tierras consideradas raras, debido a las diferencias de contenido y respecto a la minería tradicional.

Formulación del problema

Con base en los fundamentos de la descripción del problema, nace la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles han sido los avances y desafíos actuales en cuanto a la regulación de

las tierras raras en Colombia durante el periodo comprendido entre los años 2022 y 2024?

Justificación

La elección temática se centra precisamente en la naturaleza jurídica del problema a analizar y el rigor científico aplicado, ya que la legislación que regula la explotación y aprovechamiento de las tierras raras es prácticamente incipiente e inexistente, a pesar de que es un proyecto minero que en los últimos años ha ido ganando terreno hasta convertirse en un tema esencial debido a la repercusión económica que esta puede tener.

En efecto, la legislación vigente (Código de Minas o Ley 685 de 2001) establece la posibilidad de que se desarrollen actividades tendientes a la minería, con la finalidad de que coadyuven al desarrollo sostenible del país y al crecimiento económico, lo cual incluye implícitamente a las tierras raras, no obstante existen varios desafíos en cuanto a la inclusión de un marco legal que encuadre exclusivamente la extracción de minerales poco comunes, debido a lo complejo que puede ser, tanto en el plano económico como en lo ambiental.

En efecto, muchos de los metales que se encuentran en tierras raras, incluso contienen ciertos elementos radiactivos, cuyo residuo puede ser potencialmente peligroso y corrosivo, de hecho, su uso indiscriminado o explotación sin el cuidado ambiental necesario es una causal para que se desarrolle contaminación en el área,

sobre todo de ciertos elementos como el agua, aire y los suelos, estos últimos, quedan imposibilitados para el cultivo de especies vegetales y la actividad ganadera, algo que también guarda cierta relación con el aprovechamiento responsable de los recursos de los que goza el país. Además, se está atentando contra la salud de los habitantes de las comunidades y poblaciones que habitan en las áreas cercanas.

Si bien la Ley 685 de 2001, en su Capítulo XIV, contempla la protección y participación de las comunidades, buscando que sus derechos prevalezcan en el desarrollo de la actividad minera, la especificidad del riesgo asociado a las tierras raras requiere una mirada más profunda. Existe un vacío normativo que impide una protección adecuada de los derechos fundamentales de estas comunidades y del medio ambiente, en línea con los artículos 7, 8 y 79 de la Constitución Política de Colombia, que consagran el reconocimiento y protección de la diversidad étnica, la riqueza cultural y natural del país como obligaciones del Estado.

La falta de una regulación específica y robusta para la minería de tierras raras podría poner en riesgo estos postulados constitucionales ante un escenario de explotación. Por lo tanto, este estudio se vuelve imperativo para identificar y proponer soluciones a estos vacíos, garantizando que el desarrollo de esta actividad económica se alinee con los principios de sostenibilidad y respeto por los derechos humanos y ambientales en Colombia.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Identificar cuáles son los avances y desafíos normativos existentes en cuanto a la regulación de las tierras raras en la legislación colombiana, de tal manera que se avance en la construcción de una ley que regule de forma específica, su descubrimiento, explotación, las implicaciones ambientales y etnográficas que implique este proceso.

Objetivos Específicos

- Conceptualizar de forma general, el régimen de tierras raras, describiendo su concepto, usos y el desarrollo de su actividad económica a nivel global y su presencia potencial en Colombia.
- Evaluar los potenciales impactos ambientales de la minería de tierras raras en Colombia, basándose en la evidencia de experiencias internacionales y sus consecuencias en la calidad del suelo, agua y el manejo de residuos radiactivos.
- Examinar críticamente el ordenamiento jurídico colombiano incluyendo el Código de Minas, normativa ambiental y jurisprudencia para identificar su capacidad de regulación frente a las particularidades de la explotación de tierras raras y sus implicaciones ambientales.
- Proponer recomendaciones jurídicas y de política pública que permitan abordar los vacíos normativos identificados y optimizar la gestión ambiental y social de la minería de tierras raras en Colombia, considerando legislación comparada.
- Realizar un video explicativo de carácter pedagógico que comunique de manera clara

y sintética la información obtenida a lo largo de la monografía.

CAPÍTULO 1: CONTEXTUALIZACIÓN DE LAS TIERRAS RARAS Y MARCO NORMATIVO APLICABLE

Este capítulo busca contextualizar las Tierras Raras (TR), explorando su concepto, usos y el desarrollo de su actividad económica a nivel global, así como su potencial presencia y relevancia en Colombia. Comprender la naturaleza y la importancia de estos elementos es fundamental para abordar los desafíos y oportunidades que su explotación presenta.

1.1. Concepto y Clasificación de las Tierras Raras

Las Tierras Raras son un grupo de diecisiete elementos químicos de la tabla periódica, que incluyen los quince lantánidos, más el escandio (Sc) y el itrio (Y). A pesar de su nombre, no son particularmente "raras" en la corteza terrestre; de hecho, algunos, como el cerio y el lantano, son más abundantes que el plomo o el estaño (United States Geological Survey [USGS], 2023). Sin embargo, su rareza radica en su dispersión y en la dificultad de encontrarlos en concentraciones económicas y puras para su extracción y procesamiento (Zhou et al., 2017).

Se dividen comúnmente en dos subgrupos:

1.1.1. Tierras Raras Ligeras (TRL): Incluyen lantano (La), cerio (Ce), praseodimio (Pr), neodimio (Nd), prometio (Pm), samario (Sm), europio (Eu) y gadolinio (Gd). Son generalmente más abundantes y se encuentran en depósitos más grandes y accesibles.

1.1.2. Tierras Raras Pesadas (TRP): Comprenden terbio (Tb), disprosio (Dy), holmio (Ho), erbio (Er), tulio (Tm), iterbio (Yb), lutecio (Lu), así como el escandio y el itrio. Son menos comunes, a menudo más difíciles de extraer y, por lo tanto, tienen un mayor valor de mercado (Humphries, 2012).

Las TR poseen propiedades únicas, como el magnetismo, la luminiscencia y la conductividad, que las hacen insustituibles en una amplia gama de aplicaciones tecnológicas avanzadas.

1.2. Etimología y Comprensión Histórica de las Tierras Raras

A pesar de su ubicación y clasificación actuales, es crucial remitirnos a la etimología de "tierras raras" para comprender los fundamentos históricos de estos materiales tan importantes en nuestra vida cotidiana. Aunque el nombre podría sugerir que son elementos extraños o difíciles de encontrar, la verdad es que no son ni "tierras" ni tan "raras". Según Parra y Echeverri (2019), la palabra "tierras" proviene del término "óxido", que, en el contexto de su descubrimiento, se refería a un material sin forma definida, insoluble en agua y que no cambiaba su estado físico con el calentamiento.

Por su parte, la palabra "raras" se entendía en ese momento por la escasez de los minerales que las contenían y porque todas ellas debían buscarse en Escandinavia. Esto se debía a que, en ese entonces, era el único lugar donde se tenía conocimiento de su existencia (Prego Reboredo, 2019). Estas circunstancias limitaban el estudio de las tierras raras, ya que la gadolinita y la cerita eran las únicas fuentes conocidas de la época.

1.3. Abundancia y Avances en su Estudio

Con base en lo anterior, podemos afirmar que las tierras raras no son tan raras en la actualidad. De hecho, como señala Olarte (2017), las "tierras raras (REE) tienen concentraciones promedio en la corteza mayores a elementos como el cobre, plomo, plata, oro e inclusive platino". Históricamente hablando, la escasez de dichos elementos, al menos en lo que a su investigación se refiere, dejó de existir en 1879 con el descubrimiento de un yacimiento de un mineral bautizado como Samarskita, al sur de los montes Urales, en Miass. De esta manera, las tierras raras mantuvieron su nombre, pero dejaron de ser escasas y costosas, lo que permitió una mayor presencia en los laboratorios. La utilización de la Samarskita facilitó el estudio de las tierras raras a científicos de diferentes países.

1.4. Usos e Importancia Socioeconómica de las Tierras Raras en Colombia

Las tierras raras son elementos cruciales en la economía global moderna debido a su amplia gama de aplicaciones tecnológicas. En Colombia, aunque la explotación comercial de estos minerales aún se encuentra en etapas incipientes, su potencial y relevancia socioeconómica son crecientes, especialmente en el contexto de la transición energética y el desarrollo tecnológico (Angarita, 2023; Asociación Colombiana de Minería, 2023).

1.5. Usos y Aplicaciones de las Tierras Raras: Impulso de la Revolución Tecnológica

La relevancia socioeconómica de las Tierras Raras radica en su papel crítico como componentes esenciales en la fabricación de tecnologías de vanguardia que impulsan la economía global y facilitan la transición hacia un futuro más sostenible. En efecto, el uso

y manejo responsable de las tierras raras, es indispensable ya que, a partir de ellas se obtiene el metal usado en elementos para la fabricación de diversos materiales con usos diversos:

1.5.1 Tecnologías de la información y la comunicación: Los metales que suelen obtenerse a partir de la explotación de tierras raras, suelen ser empleados en la fabricación de aparatos tecnológicos indispensables en la vida moderna. Por ejemplo, el disprosio y el neodimio se utilizan en imanes permanentes de alto rendimiento para altavoces y discos duros (UPME, 2018).

1.5.2. Energías renovables: Juegan un papel fundamental en la fabricación de turbinas eólicas, vehículos eléctricos e híbridos, y paneles solares. El neodimio y el praseodimio son clave para los imanes de los motores de vehículos eléctricos y generadores eólicos, mientras que el europio y el terbio se usan en los fósforos de las bombillas LED de bajo consumo (Jiménez Villanueva, 2024).

1.5.3 Defensa y seguridad: Son vitales en sistemas de misiles guiados, equipos de visión nocturna, láseres y otros sistemas militares avanzados (UPME, 2018).

1.5.4. Medicina: Se utilizan en equipos de resonancia magnética (RMN), rayos X, y en el desarrollo de fármacos y agentes de contraste (Jiménez Villanueva, 2024).

1.5.5. Catálisis: Son empleados en la industria petrolera para la refinación de crudo y en la fabricación de convertidores catalíticos para reducir las emisiones de los vehículos (Jiménez Villanueva, 2024).

1.5.6. Tecnologías de Energía Verde: Son fundamentales para la producción de imanes permanentes de alto rendimiento utilizados en **aerogeneradores** (especialmente

el neodimio y el disprosio) y en motores de **vehículos eléctricos e híbridos** (Gambogi, 2020). También se emplean en baterías recargables (lantano), celdas de combustible y catalizadores para reducir emisiones.

1.5.7. Electrónica de Consumo: Presentes en casi todos los **dispositivos electrónicos** modernos, desde teléfonos inteligentes y tabletas hasta computadoras y televisores. El europio y el terbio se usan en pantallas para producir colores vibrantes, mientras que el lantano es crucial en lentes de cámaras de alta calidad y componentes de almacenamiento de datos.

1.5.8. Defensa y Aeroespacial: Su resistencia al calor y propiedades magnéticas las hacen vitales en sistemas de misiles guiados, aviones de combate, equipos de comunicación y sistemas de radares (USGS, 2023). El neodimio y el samario son componentes esenciales en aleaciones de alto rendimiento.

1.5.9 Otras aplicaciones: Incluyen la producción de vidrio pulido, cerámica, fibra óptica, y en pigmentos (Jiménez Villanueva, 2024).

La demanda de estos elementos está en constante crecimiento, impulsada por la innovación tecnológica y la transición energética global.

1.6. Desarrollo de la Actividad Económica de las Tierras Raras a Nivel Global

Históricamente, la producción de Tierras Raras estuvo dominada por Estados Unidos hasta la década de 1980. Sin embargo, a partir de la década de 1990, **China** emergió como el principal productor mundial, llegando a controlar más del 90% de la oferta global en la actualidad (Jones, 2020). Este dominio ha generado preocupaciones

geopolíticas debido a la dependencia de la cadena de suministro y la potencial volatilidad de los precios.

El control chino se atribuye a una combinación de factores:

1.6.1. Grandes Depósitos: China posee extensos depósitos, especialmente en Bayan Obo, en la región de Mongolia Interior (Yang et al., 2019).

1.6.2. Costos de Producción: Menores costos laborales y regulaciones ambientales menos estrictas permitieron una producción a gran escala y precios competitivos, lo que llevó al cierre de minas en otros países.

1.6.3. Inversión en Procesamiento: China invirtió significativamente en las complejas tecnologías de separación y procesamiento de TR, creando una ventaja competitiva en toda la cadena de valor (Humphries, 2012).

Ante la preocupación por la seguridad del suministro, varios países, como Estados Unidos, Australia, Canadá y naciones europeas, están invirtiendo en la reactivación de sus propias cadenas de suministro de TR, buscando la diversificación de las fuentes y el desarrollo de tecnologías de reciclaje (European Commission, 2020). Esta tendencia global está reconfigurando el mapa de la actividad económica de las Tierras Raras, impulsando la exploración y el desarrollo de nuevos proyectos fuera de China.

1.7. Presencia Potencial de Tierras Raras en Colombia

Aunque Colombia no es tradicionalmente reconocido como un productor significativo de Tierras Raras, el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y estudios preliminares han identificado el potencial de yacimientos en diversas regiones del país (Servicio Geológico Colombiano [SGC], 2022). La presencia de formaciones geológicas propicias sugiere la posibilidad de depósitos explotables.

Los principales hallazgos y áreas de interés incluyen:

Rocas Ígneas Alcalinas y Carbonatitas: Se han identificado asociaciones de TR con complejos ígneos alcalinos y carbonatitas en zonas como el Macizo de Garzón (Huila) y en algunas áreas de la Orinoquía y la Amazonía. Estos tipos de depósitos son fuentes comunes de Tierras Raras a nivel mundial (Castillo et al., 2017).

Depósitos Tipo "Ion-Adsorption": Son depósitos de arcillas lixiviadas en el subsuelo que contienen TR adsorbidas, particularmente las Tierras Raras Pesadas. Estos depósitos son de particular interés por su menor impacto ambiental relativo en la fase de extracción y por su riqueza en TRP, altamente valoradas. Se han reportado indicios en la Amazonía colombiana (SGC, 2022).

Asociación con Otros Minerales: Las Tierras Raras también pueden encontrarse como subproductos en la extracción de otros minerales, como bauxitas, fosfatos y carbón.

Se puede cerrar el presente acápite indicando que la explotación y manejo de los

depósitos de metales raros es incipiente en Colombia, al menos si se compara con otros metales. Empero, posee un gran potencial que representa en suma, una gran oportunidad para el crecimiento económico que experimenta la nación, así como un gran desafío ambiental. Por lo que es necesario que exista una identificación geográfica y caracterización de dichos yacimientos, ya que con ello se puede hacer un estudio respecto de la viabilidad de su explotación, con las consecuencias ambientales que pudiera implicar.

1.8. Importancia Socioeconómica de las Tierras Raras en Colombia

La importancia socioeconómica de las tierras raras para Colombia radica en varios aspectos:

1.8.1 Potencial de diversificación económica: La identificación y posible explotación de yacimientos de tierras raras podría diversificar la matriz minera del país, tradicionalmente dependiente de carbón y petróleo. Aunque la "rareza" de estos minerales se refiere más a la dificultad de encontrar yacimientos comercialmente viables y a la complejidad de su extracción y refinamiento, Colombia ha mostrado un interés creciente en su exploración (Angarita, 2023).

1.8.2. Atracción de inversión extranjera: Desde un enfoque positivo, el desarrollo de proyectos a partir de yacimientos de tierras raras puede significar un aumento en la inversión extranjera hacia Colombia, lo cual se traduce en un aumento significativo en la generación de empleos (indefinidos o temporales), así como otorgar dinamismo en las economías regionales, a lo cual debe sumarse un enfoque sostenible,

de bajo impacto ambiental (Angarita, 2023; López-Sánchez & Salazar, 2017).

1.8.3. Contribución a la transición energética global: La explotación de tierras raras puede posicionar a Colombia en un ente importante respecto de la explotación y desarrollo de minerales usados en las nuevas tecnologías, ya que con ello, el país podría convertirse, más allá de ser un mero extractivista, en un productor de materiales para la fabricación y ensamblaje de automóviles y tecnología (Asociación Colombiana de Minería, 2023).

1.8.4. Generación de conocimiento y tecnología: Precisamente en este plano, el correcto desarrollo de las tierras raras es un aliciente importante en la gestión de la investigación y el conocimiento en asuntos tecnológicos, ya que se forman nuevos geólogos, investigadores metalúrgicos y también el desarrollo económico en las regiones (Angarita, 2023; Paiva, 2022, citado en Angarita, 2023).

Aun con todo lo descrito y el potencial de Colombia como un ente importante para la explotación de minerales, es necesario destacar que, en la actualidad, no existen concesiones para la explotación y comercialización de metales raros en Colombia, lo cual da oportunidad para el desarrollo de una gestión sostenible de dichos recursos, los cuales buscan maximizar sus beneficios y minimizar el impacto ambiental.

1.9. Marco Normativo General

El ordenamiento jurídico colombiano, aunque no cuenta con una regulación específica y robusta para la minería de tierras raras, presenta un marco general aplicable. El Código de Minas (Ley 685 de 2001) fomenta la exploración y explotación de recursos

mineros bajo un concepto integral de desarrollo sostenible y crecimiento económico. Sin embargo, la particularidad de las tierras raras, a menudo asociadas con elementos radiactivos, y sus procesos de extracción y procesamiento que involucran el uso de productos químicos tóxicos y la generación de desechos que contaminan irreversiblemente los suelos y las fuentes hídricas, no están suficientemente contemplados en la normativa actual.

La Constitución Política de Colombia de 1991, en sus artículos 7, 8 y 79, consagra el reconocimiento y protección de la diversidad étnica, la riqueza cultural y natural del país como obligaciones del Estado. Si bien la Ley 685 de 2001, en su Capítulo XIV, contempla la protección y participación de las comunidades, buscando que sus derechos prevalezcan en el desarrollo de la actividad minera, existe un vacío normativo que impide una protección adecuada de los derechos fundamentales de estas comunidades y del medio ambiente frente a los riesgos específicos de la minería de tierras raras.

La inseguridad jurídica en el ámbito minero, sumada a la particularidad de las tierras raras y su impacto, plantea un riesgo latente para el medio ambiente y los derechos fundamentales de las comunidades locales. Efectivamente, es necesario un marco legal realmente efectivo en favor de la explotación de yacimientos que contienen metales raros, el cual busca proponer una serie de soluciones que permitan el mejor desarrollo de dicha actividad económica.

1.10. Diagnóstico Jurídico

Es necesario tener en consideración que el problema investigativo radica justamente en la explotación y comercialización de tierras raras en la legislación colombiana, aun cuando poseen gran relevancia en el desarrollo económico mundial, asimismo cuando el vasto territorio nacional cuenta con una serie de yacimientos y minas. La inexistencia de una normativa aplicable crea, más allá de una laguna jurídica, imposibilidad de desarrollo temático.

La legislación vigente, esto es, la Constitución Política y el Código de Minas, suelen establecer una serie de principios relacionados con el desarrollo sostenible y la protección irrestricta de las comunidades, además de contener un régimen jurídico alusivo a la actividad minera responsable, buscan en cierto modo que se respete el medio ambiente y la biodiversidad de la que se precia Colombia, no obstante, se necesita especificar los riesgos que puede tener la minería de tierras raras en el país.

En efecto, si se hace una revisión exhaustiva del Código de Minas, se encuentran algunas limitaciones para la regulación del proceso de explotación y extracción de minerales ubicados en tierras raras, ya que no se puede gestionar de forma completa la factibilidad de su extracción, lo cual puede ser un factor importante para que pueda ejecutarse una explotación de forma inconsciente y dejando como resultado, la contaminación del agua y el suelo, además de afectar severamente la calidad de vida de las personas que viven en las áreas donde se explotan los yacimientos.

Al igual que en ideario común latinoamericano, Colombia, al no poseer una norma específica para el desarrollo, producción y explotación de las tierras raras, las cuales poseen los minerales antes descritos, podría dejar un escenario anárquico para la minería ilegal y la infiltración de crímenes contra la naturaleza y los habitantes de las zonas en las que se encuentran los yacimientos ya mencionados. Por lo que, con la vehemencia suficiente, se necesita que en Colombia, más allá del Código de Minas, se establezca un marco jurídico complementario y conexo que regule exclusivamente dicha modalidad.

CAPÍTULO 2: IMPACTO AMBIENTAL DE LA EXPLOTACIÓN DE TIERRAS RARAS

Debido al aumento en metales para la producción de materiales de ensamblaje de vehículos y otros artefactos que se usan en el mundo moderno, se ha requerido de la explotación de tierras raras, lo cual genera ciertas preocupaciones en cuanto al impacto ambiental que generaría su explotación sin las debidas licencias para el efecto. Por lo que puede acotarse que:

La creciente demanda global de Tierras Raras (TR), elementos cruciales para tecnologías emergentes como vehículos eléctricos, energías renovables y dispositivos electrónicos, ha impulsado una expansión sin precedentes de la actividad minera asociada. Sin embargo, esta bonanza tecnológica no está exenta de un significativo costo ambiental, generando una serie de impactos negativos a lo largo de todo el ciclo de vida de la extracción y procesamiento de estos minerales. (United States Geological Survey [USGS], 2023)

Por lo tanto, el análisis del presente capítulo se centra en el estudio profundo del impacto que esta explotación puede tener en el medio ambiente, ya sea en la alteración del paisaje regional, polución del agua, aire y otros elementos, tala indiscriminada de árboles que forman parte de la flora, desaparición de la fauna, así como las implicaciones que, a largo plazo pueden tener para la vida en Colombia.

2.1. Impacto Ambiental de la Extracción Minera de Tierras Raras

Siendo esta la primera etapa de la actividad minera, su explotación, es necesario considerar que puede llegar a tener efectos negativos en contra del medio ambiente, no

sólo en las áreas consideradas potenciales para ello, sino también en general, ya que, en primera instancia, el entorno natural se ve severamente afectado, debido al cambio existente en el ecosistema, por lo que el impacto puede darse de forma muy leve hasta extremadamente severa.

2.2. Alteración del Paisaje y Degradación del Suelo

En el caso de desarrollo de minería “a cielo abierto”, el proceso implica remover grandes cantidades de tierra y roca, con el objetivo de acceder a los depósitos de metales, lo que, como se mencionó anteriormente, altera el paisaje existente, debido a que se crean vastas excavaciones, material rocoso que no tiene valor alguno y residuos finos de procesamiento, lo cual reduce drásticamente el hábitat y afecta gravemente al suelo.

2.2.1. Pérdida de hábitat: Uno de los principales aspectos negativos de una minería irresponsable de tierras raras, es el desplazamiento de especies animales y vegetales hacia otras áreas, así como la extinción de aquellas que se consideran endémicas o en peligro de extinción.

2.2.2. Erosión y sedimentación: No solamente la remoción del suelo implica la pérdida de hábitat natural, sino también la destrucción de área fértil, la cual se contamina con materiales poco productivos. Además, parte de este material pasa a las fuentes acuáticas y reduce paulatinamente su cristalinidad.

2.2.3. Compactación y acidificación del suelo: También, el uso de maquinaria pesada reduce la productividad del suelo, puesto que impide que este retenga el agua,

dificulta la vegetación y lo convierte en extremadamente ácido.

2.3. Contaminación del Agua

La contaminación del agua es quizás uno de los impactos ambientales más críticos y persistentes de la minería de Tierras Raras. Los procesos de extracción y procesamiento liberan una variedad de contaminantes que pueden afectar tanto las aguas superficiales como las subterráneas.

2.3.1. Metales pesados y radionúclidos: Las Tierras Raras a menudo se encuentran asociadas con elementos radiactivos como el torio y el uranio, así como con otros metales pesados como el plomo, el arsénico y el cadmio (Zhang et al., 2015). Durante la extracción y el procesamiento, estos elementos pueden lixiviarse de las rocas y los relaves, contaminando las fuentes de agua cercanas. La ingestión o exposición a largo plazo a estos contaminantes puede tener graves consecuencias para la salud humana y animal.

2.3.2. Sustancias químicas de procesamiento: Los procesos de separación y purificación de las Tierras Raras a menudo requieren el uso de ácidos fuertes (como ácido sulfúrico o clorhídrico), disolventes orgánicos y otros reactivos químicos (Jia et al., 2017). El vertido inadecuado o fugas de estas sustancias pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas, alterando el pH del agua y afectando la vida acuática.

2.3.3. Sedimentos y turbidez: Como se mencionó anteriormente, la erosión del suelo y el vertido de relaves pueden aumentar drásticamente la carga de sedimentos en los cuerpos de agua, reduciendo la penetración de luz solar, afectando la fotosíntesis

acuática y obstruyendo las branquias de los peces.

2.4. Contaminación del Aire

Aunque menos visible que la contaminación del agua, la minería de Tierras Raras también contribuye a la contaminación atmosférica a través de diversas fuentes.

2.4.1. Partículas en suspensión (PM): Las operaciones mineras, como la voladura, la excavación, el transporte de materiales y el procesamiento de minerales, generan grandes cantidades de polvo y partículas finas en el aire (Ren et al., 2019). Estas partículas pueden contener metales pesados y radionúclidos, que al ser inhalados, pueden causar problemas respiratorios y otros efectos adversos para la salud en las comunidades cercanas.

2.4.2. Gases tóxicos: En algunos procesos de procesamiento de Tierras Raras, se pueden liberar gases como dióxido de azufre (SO₂) o óxidos de nitrógeno (NO_x) a la atmósfera. Estos gases contribuyen a la lluvia ácida y pueden tener efectos perjudiciales sobre la salud humana y la vegetación (Yang et al., 2019).

2.4.3. Radón: En el caso de depósitos ricos en torio y uranio, el gas radón, un producto de la desintegración radiactiva, puede liberarse del suelo y los materiales de desecho (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2024). La exposición prolongada al radón en interiores es un factor de riesgo conocido para el cáncer de pulmón.

2.5. Gestión de Residuos

La minería de Tierras Raras genera volúmenes masivos de residuos, tanto

estériles como relaves, que requieren una gestión adecuada para minimizar su impacto ambiental.

2.5.1. Relaves mineros: Los relaves, el material finamente molido que queda después de la separación de los minerales valiosos, a menudo contienen concentraciones residuales de metales pesados, radionúclidos y productos químicos utilizados en el procesamiento (Liu et al., 2018). Si no se almacenan y gestionan adecuadamente, los relaves pueden lixiviar contaminantes al medio ambiente.

2.5.2. Desechos radiactivos: Dada la asociación de las Tierras Raras con elementos radiactivos, los residuos generados pueden tener niveles elevados de radiactividad natural (Naturally Occurring Radioactive Material - NORM). La gestión a largo plazo de estos residuos radiactivos plantea desafíos significativos en términos de contención y seguridad (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2011).

La complejidad de los impactos ambientales asociados a la explotación de Tierras Raras subraya la necesidad urgente de prácticas mineras más sostenibles, el desarrollo de tecnologías de procesamiento más limpias y una regulación ambiental estricta para mitigar estos efectos adversos y proteger los ecosistemas y la salud humana a nivel global.

2.6. Riesgos ambientales asociados a la extracción y procesamiento

La extracción de tierras raras implica la minería a gran escala, a menudo en lugares remotos y ecológicamente frágiles. La técnica más utilizada es la minería a cielo abierto, que requiere la remoción de grandes cantidades de tierra y roca para acceder a

los minerales deseados. Esto puede conducir a la destrucción de ecosistemas locales, la alteración de hábitats naturales y la pérdida de biodiversidad (Smith, 2019).

Además, el procesamiento de tierras raras implica el uso de productos químicos tóxicos, como ácido sulfúrico y amoníaco, para extraer y separar los elementos deseados. Estos químicos pueden filtrarse en el suelo y las aguas subterráneas, contaminando los recursos hídricos y amenazando la salud de los ecosistemas acuáticos (Gupta & Krishnamurthy, 2018).

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS CRÍTICO DEL ORDENAMIENTO JURÍDICO COLOMBIANO FRENTE A LA EXPLOTACIÓN DE TIERRAS RARAS Y SUS IMPLICACIONES AMBIENTALES

El presente capítulo tiene como objetivo examinar críticamente el ordenamiento jurídico colombiano, incluyendo el Código de Minas, la normativa ambiental y la jurisprudencia, para identificar su capacidad de regulación frente a las particularidades de la explotación de tierras raras y sus implicaciones ambientales. La complejidad técnica y los impactos específicos asociados a la extracción y procesamiento de Tierras Raras (TR) exigen un marco legal robusto y adaptado que garantice la protección del medio ambiente y la salud humana, al tiempo que se permite el desarrollo de esta actividad estratégica.

Además del análisis de la legislación nacional en cuanto al tratamiento y explotación de las tierras raras, se tomará en consideración, sucintamente, la legislación comparada, en especial de aquellas naciones con cercanía geográfica y jurídica con Colombia, a fin de poder elaborar un estudio comparativo de las ventajas, desventajas y desafíos que pueden enfrentar las autoridades competentes nacionales para dicha actividad.

3.1. El Marco Normativo Minero: El Código de Minas y su Aplicación a las Tierras Raras

El principal instrumento legal que rige la actividad minera en Colombia es la Ley 685 de 2001, conocida como el Código de Minas. Este cuerpo normativo establece los

principios, procedimientos y requisitos para la exploración, explotación y beneficio de los recursos minerales en el territorio nacional. Si bien el Código de Minas es de aplicación general para todas las actividades mineras, su idoneidad para regular las particularidades de la explotación de Tierras Raras presenta desafíos significativos.

3.2. Limitaciones del Código de Minas frente a las Tierras Raras

El Código de Minas no contiene disposiciones específicas o diferenciadas para la explotación de Tierras Raras. Trata estos minerales como cualquier otro, lo que implica que los procedimientos de concesión, fiscalización y cierre de minas se aplican de manera genérica (Ley 685 de 2001, art. 15). Esta falta de especificidad es preocupante, dado que la extracción y procesamiento de TR conllevan:

3.2.1. Riesgos Radiológicos: Como se expuso en el Capítulo 2, las Tierras Raras suelen estar asociadas con elementos radiactivos naturales como el torio y el uranio (Zhang et al., 2015). El Código de Minas, en su concepción original, no aborda de manera explícita y detallada la gestión de residuos radiactivos naturales (NORM) generados por la minería, ni establece umbrales de exposición o requisitos específicos de monitoreo radiológico para los trabajadores o las comunidades. Aunque la normativa ambiental general sobre residuos peligrosos podría aplicar, la naturaleza de la radiactividad exige un enfoque especializado.

3.2.2. Uso Intensivo de Químicos Peligrosos: El procesamiento de TR, particularmente la separación de los elementos, requiere el uso de ácidos fuertes y otros reactivos químicos que, si no se manejan y disponen adecuadamente, pueden causar

una contaminación severa de agua y suelo (Jia et al., 2017). Si bien el Código de Minas hace referencia a la obligación de cumplir con la normativa ambiental, no profundiza en los requisitos de manejo de estos químicos en el contexto particular de las TR.

3.2.3 Grandes Volúmenes de Residuos: La baja concentración de TR en los depósitos implica la movilización de enormes volúmenes de material y la generación de grandes cantidades de estériles y relaves (Li et al., 2020). El Código establece requisitos generales para la disposición de estériles y relaves, pero la escala y la posible peligrosidad (por radiactividad o químicos residuales) de los residuos de TR podrían superar la capacidad de las disposiciones generales, sin una previsión específica para su gestión a largo plazo.

3.3. Régimen de Fiscalización y Control

El Código de Minas otorga a la Agencia Nacional de Minería (ANM) la función de fiscalización y seguimiento de las operaciones mineras. Sin embargo, la capacidad técnica y operativa de la ANM para supervisar los riesgos específicos de la minería de TR, como el monitoreo de radiación o el control de la dispersión de metales pesados asociados, podría ser limitada sin una capacitación y equipos especializados. La falta de protocolos específicos para la fiscalización de estos riesgos particulares podría generar vacíos en el control efectivo.

3.4. La Normativa Ambiental Colombiana: Un Marco de Referencia General

El marco ambiental colombiano es robusto en principios y busca la protección de los recursos naturales y la salud humana a través de diversas leyes y decretos. Sin embargo, al igual que el Código de Minas, su naturaleza general puede no ser suficiente

para abordar las particularidades de la explotación de Tierras Raras.

3.5. Ley 99 de 1993 y el Sistema Nacional Ambiental (SINA)

La Ley 99 de 1993 creó el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Sistema Nacional Ambiental (SINA), estableciendo los principios y las herramientas de gestión ambiental en el país. Esta ley es fundamental porque:

3.5.1. Establece la Licencia Ambiental: La explotación minera es una actividad que requiere licencia ambiental, expedida por las autoridades ambientales competentes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o Corporaciones Autónomas Regionales) (Ley 99 de 1993, art. 50). Este instrumento es crucial para la evaluación de los impactos y la definición de las medidas de manejo ambiental.

3.5.2. Principios Ambientales: Consagra principios como el desarrollo sostenible, la prevención y precaución, que son aplicables a la minería de TR. El principio de precaución, en particular, podría ser invocado ante la incertidumbre sobre los efectos a largo plazo de la dispersión de radionúclidos o metales pesados.

No obstante, la efectividad de la licencia ambiental dependerá de la calidad de los estudios de impacto ambiental (EIA) y de la capacidad de las autoridades para evaluar y exigir medidas específicas para los riesgos únicos de las TR. Si los EIA no identifican adecuadamente los riesgos radiológicos o químicos asociados, las medidas de manejo ambiental podrían ser insuficientes.

3.6. Normativa sobre Residuos Peligrosos y Sustancias Radiactivas

Colombia cuenta con regulaciones sobre la gestión integral de residuos peligrosos

(Decreto 1076 de 2015, parte 2, título 2, capítulo 7, sección 5). Sin embargo, la aplicación de esta normativa a los residuos mineros, y en particular a los NORM de la minería de TR, no siempre es explícita o suficientemente desarrollada para abordar los desafíos específicos de estos materiales. A menudo, la normativa general sobre residuos peligrosos no contempla la gestión a largo plazo de materiales con baja pero persistente radiactividad.

En cuanto a sustancias radiactivas, el Decreto 1076 de 2015 también incluye disposiciones relacionadas con el control y licenciamiento de fuentes radiactivas. Sin embargo, la principal regulación en este campo recae en el Ministerio de Minas y Energía, a través de resoluciones que establecen requisitos para la protección radiológica en instalaciones industriales. La articulación entre la normativa ambiental y la de protección radiológica es vital para la minería de TR, donde la radiactividad es un subproducto del proceso extractivo y no una fuente intencional.

3.7. Jurisprudencia Ambiental Relevante en Colombia.

La jurisprudencia colombiana ha jugado un papel fundamental en la configuración del derecho ambiental y minero, estableciendo precedentes importantes para la protección del medio ambiente y los derechos fundamentales frente a la actividad extractiva.

3.7.1. La Función Ecológica de la Propiedad y los Derechos Colectivos

Sentencias emblemáticas de la Corte Constitucional han reiterado la prevalencia del interés general y la función ecológica de la propiedad en el contexto minero (Corte

Constitucional, Sentencia C-339 de 2002). Esto significa que la explotación de recursos naturales no puede realizarse sin considerar sus impactos ambientales y sociales. La Corte ha enfatizado la importancia de la consulta previa a comunidades étnicas (Corte Constitucional, Sentencia C-035 de 2016) y el derecho a un ambiente sano, que podría ser invocado en casos de contaminación por minería de TR.

3.7.2. Precedentes sobre la Protección del Agua y el Territorio

La jurisprudencia contencioso administrativa, a través de acciones populares y tutelas, ha ordenado la suspensión de actividades mineras por afectaciones al agua, la biodiversidad y la salud de las comunidades. Estos precedentes, si bien no se refieren directamente a las Tierras Raras, establecen un marco para la aplicación de los principios de precaución y prevención. En el caso de la minería de TR, la exposición a metales pesados y radionúclidos podría justificar intervenciones judiciales en protección de los derechos colectivos.

3.8. Brechas y Desafíos del Marco Jurídico Colombiano para las Tierras Raras

A pesar de la existencia de un marco legal general, el análisis crítico revela importantes brechas y desafíos que limitan la capacidad de regulación del Estado colombiano frente a las particularidades de la explotación de Tierras Raras:

3.8.1. Falta de Normativa Específica: La ausencia de una regulación diferenciada para la exploración, explotación, beneficio y cierre de minas de TR es la brecha más evidente. Esto incluye la necesidad de estándares específicos para el manejo de residuos radiactivos naturales, límites de emisión para contaminantes

asociados, y protocolos detallados para el monitoreo radiológico y químico.

3.8.2. Coordinación Interinstitucional: La regulación de la minería de TR requiere una coordinación estrecha entre el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y las autoridades sanitarias, así como los entes de control ambiental. La superposición de competencias o la falta de claridad en los roles podría generar ineficiencias o vacíos regulatorios.

3.8.3. Capacidades Técnicas y Humanas: Las autoridades ambientales y mineras requieren fortalecer sus capacidades técnicas y humanas para evaluar los EIA específicos de TR, realizar una fiscalización efectiva de los riesgos radiológicos y químicos, y aplicar de manera adecuada las tecnologías de mitigación y monitoreo.

3.8.4. Regulación de Post-Cierre: Dada la persistencia de la radiactividad y los metales pesados en los residuos de TR, la normativa actual sobre el post-cierre de minas podría ser insuficiente para garantizar la seguridad ambiental a largo plazo. Se requieren disposiciones claras sobre el monitoreo y la responsabilidad de los pasivos ambientales.

Si bien Colombia cuenta con un marco legal minero y ambiental que establece principios generales de protección, su capacidad para regular eficazmente las complejidades y los riesgos específicos de la explotación de Tierras Raras es limitada. La generalidad de la normativa, la falta de disposiciones específicas para la gestión de riesgos radiológicos y químicos, y los desafíos en la fiscalización y coordinación interinstitucional, hacen imperativa una revisión y actualización que permita un abordaje más integral y precautorio de esta actividad emergente y de alto impacto.

3.9. Estudio de normativa comparada respecto del tratamiento de tierras raras y protección del medio ambiente

De primera mano, se ha podido conocer que la legislación colombiana, si bien enmarca la regulación de las tierras raras, los usos y aplicaciones en el manejo de la tecnología, los metales que pueden encontrarse, además de los desafíos ambientales y la importancia socioeconómica que posee para el país, también existen lagunas jurídicas que deben ser tratadas *ipso facto*, ya que, como se ha podido verificar a lo largo del presente capítulo, suelen dificultar su explotación sostenible, con un impacto mínimo en el medio ambiente.

A lo largo del presente apartado, se desarrollará una visión internacional del régimen jurídico de las tierras raras, su aprovechamiento, exploración y explotación, a fin de poder contrastar la información con lo establecido en el marco nacional, y aportar positivamente a las recomendaciones y propuestas de desarrollo normativo.

3.9.1. Marco jurídico y tratamiento de las tierras raras en Ecuador

A pesar de que el Ecuador es una nación eminentemente petrolera y agrícola en menor medida, gracias a estar atravesado por volcanes y otros accidentes geográficos, posee una importante reserva de tierras raras, y, por ende, de minerales. De hecho, la propia Constitución de la República, establece que “los recursos mineros no renovables son propiedad del Estado, lo cual permite su exploración y explotación bajo regulaciones estrictas” (Constitución de la República del Ecuador , 2008, art. 317).

Uno de los aspectos más importantes del control estatal de tierras raras y recursos de carácter minero, es la creación de una Ley específica para el efecto, la cual, permite,

entre otros aspectos principales, definir no solamente el tratamiento de las tierras raras, sino también crear un bloque de legalidad que permita establecer las modalidades de extracción legal e ilegal de recursos mineros, además del impacto ambiental que pueda tener en el ecosistema ecuatoriano.

Dentro de la Ley de Minería, se establecen algunos aspectos importantes para el desarrollo de una política responsable, así como el tratamiento de la minería en el Ecuador, además de declarar taxativamente las “tierras raras” como de utilidad pública, y por ende, dominio exclusivo del Estado. Asimismo, la ley, específicamente en su artículo 25 ibidem, destaca la prohibición del desarrollo de actividades mineras en áreas protegidas. Previamente, se determina en el artículo anterior, el desarrollo de Áreas Mineras Especiales (nombre oficial de las tierras raras).

Otro punto importante relacionado con el desarrollo de las tierras raras, conforme a la legislación ecuatoriana, es relacionado con las fases en la que puede desarrollarse dicha actividad. De hecho, el artículo 27 ídem, establece, únicamente con efectos de su aplicabilidad y factibilidad, la productividad de la actividad minera se desarrolla en ocho fases, las cuales engloban desde la búsqueda y prospección de tierras raras, explotación, beneficio, fundición y comercialización, siempre y cuando el impacto ambiental sea mínimo.

A pesar de que en la actualidad el Ecuador no posee una producción minera y de tierras raras, al nivel que poseen otros países, puede convertirse en un importante mercado geológico para el desarrollo de dichas tierras, las cuales pueden desarrollarse en ciertas áreas como la Unidad Huarguallá y el volcán Sumaco, las cuales poseen

intrusivos de alta afinidad, los cuales pueden usarse en tecnología (celulares, tabletas, ordenadores portátiles), entre otros.

3.9.2. Tratamiento de las tierras raras en el Perú

Al igual que en la legislación ecuatoriana, el Perú tampoco tiene una norma clara que rijan, no solamente el tratamiento sino también la prospección, explotación y aprovechamiento de los metales existentes, puesto que estas se rigen específicamente por la Ley General de Minería como única disposición normativa que rige el desarrollo de la actividad minera en esta nación. De manera general, se entiende que el proceso de prospección, cateo y posteriores, conforme a lo desarrollado en esta ley, si bien pueden desarrollarse en el territorio nacional, no pueden desarrollarse en ciudades o áreas protegidas.

Según Álvarez (2022), “Perú cuenta con un amplio potencial de tierras raras de demanda mundial para el empleo de la industria aeronáutica y otros materiales tecnológicos de importancia” (pp. 8-9). En efecto, el Perú es una nación rica en recursos mineros, aunque quizá su industria sea menos desarrollada que otras naciones con actividad similar como Chile; no obstante, el único metal que, en la legislación peruana sea considerado de “necesidad pública” e interés nacional.

No obstante, uno de los aspectos importantes establecidos en la Ley General de Minería respecto de la explotación de tierras raras, es la creación de un Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), creado en el año 2001 como un medio de control de ciertas actividades de prospección, caza, pesca, industria e incluso la minería; en estos casos, las tierras raras que se exploten en el Perú deben contar

obligatoriamente con un registro aprobado, mismo que puede ser detallado, semidetallado o una Declaración de Impacto Ambiental.

Además, en los sectores antes destacados, donde la prospección, exploración y explotación de las tierras consideradas como “tierras raras” pueda tener un fuerte y significativo impacto en el medio ambiente, se necesita claramente un proceso de participación ciudadana y consulta previa, sobre todo cuando el proyecto se ubica en áreas protegidas o donde habitan pueblos y nacionalidades indígenas, con el fin de que sus derechos colectivos no se vean afectados.

3.9.3. Análisis de la normativa de tierras raras en Chile

Siendo Chile una nación eminentemente minera a diferencia de Ecuador e incluso Perú, su economía se basa precisamente en la explotación, importación y exportación de ciertos minerales como el cobre, por la cual es conocida y fuente incluso de identidad nacional. Algunas zonas y regiones del norte chileno, en especial aquellas cercanas al desierto de Atacama, son conocidas por esta actividad, sin embargo, al igual que en los casos anteriores, se ha podido definir que no existe una legislación propiamente dicha para el desarrollo y explotación de tierras raras, a pesar de que han existido ciertos proyectos piloto en esta nación.

Al igual que en los casos antes mencionados, se puede afirmar que, dentro de la legislación chilena tampoco existe una normativa clave que permita la explotación de las tierras raras (lantánidos), por lo tanto, la normativa general que regula esta actividad, se rige específicamente por la propia Constitución Política y el Código de Minería. Precisamente, es en esta ley donde se refuerza el rol del Estado como poseedor del

dominio de las minas existentes en el país, excepto ciertas sustancias (Código de Minería (Ley No. 18.248), 2024, art. 1).

A pesar de que la actividad minera, y en especial, de las tierras raras puede ser ejercida por cualquier persona de forma autónoma, las concesiones mineras para el efecto, deben ser entregadas por el Estado por medio de un proceso judicial. Este proceso de concesión exclusivamente permite la explotación de tierras raras y recursos mineros en el lugar donde se haya concedido al concesionario. Claro está, que la propia ley contiene disposiciones y reglas para su otorgamiento y celebración de contratos respectivos.

3.10. Análisis comparativo de las normativas analizadas respecto de la legislación colombiana

A manera de cierre del presente capítulo, se ha colegido que, tanto en el ordenamiento jurídico colombiano, como en el de las tres naciones escogidas, no existe una regulación específica para la minería y explotación de tierras raras, existen leyes generales para fomentar la prospección, exploración, explotación y aprovechamiento de dichos recursos, los cuales gozan de una gran importancia en el desarrollo tecnológico, ya que, a partir de estos metales raros, se pueden desarrollar materiales que fácilmente pueden encontrarse en computadoras, vehículos, laptops, repuestos para teléfonos móviles y otros periféricos, mismos que coadyuvan a su funcionamiento.

Tanto Colombia, como Ecuador, Perú y Chile, cuentan con una normativa general

que regula la actividad minera, misma que debe desarrollarse bajo estándares de protección y desarrollo sostenible, esto implica un sincretismo entre la protección obligatoria del medio ambiente y la generación de recursos económicos, aun cuando en el caso concreto, el marco legal ecuatoriano es el que menos disposiciones posee en cuanto a ello, debido a que su principal actividad es la petrolera, en contraste con las dos últimas naciones, de tradición exploratoria de metales como fuente de su economía.

Cada uno de los países cuenta con un órgano de fiscalización y control de la actividad minera, la cual se encarga, como en Perú y Ecuador, de otorgar las concesiones a personas naturales y jurídicas para el desarrollo de las actividades en áreas donde el impacto ambiental sea mínimo. En el caso de estudio, se ha podido determinar, que, si bien goza de la capacidad para poder otorgar licencias y emitir sanciones de orden administrativo, hasta el momento no se han creado algunos aspectos relacionados con la administración de tierras raras.

También es importante señalar que los cuatro países analizados cuentan con una secretaría de Estado encargada de administrar y desarrollar políticas destinadas a la protección del medio ambiente. De hecho, uno de los factores que ha incidido en la poca o nula exploración de tierras raras en Colombia, Ecuador, Perú y Chile, es justamente el aspecto ambiental. En efecto, si bien en todas estas naciones existen yacimientos importantes de metales raros (tierras raras), la posibilidad de causar afectaciones al medio ambiente y atentar contra derechos colectivos, al igual que su desconocimiento, ha llevado a su prácticamente total desconocimiento.

En este sentido, algunas naciones como Ecuador y Perú contemplan la posibilidad

de desarrollar procesos de consulta previa, sobre todo en los lugares donde la actividad minera puede ocasionar algún impacto ambiental o sobre el hábitat de pueblos y nacionalidades indígenas. Mientras que Chile, hace referencia a la concesión minera, previo a estudios sobre los daños que, a futuro pueden ocasionarse al medio ambiente y sobre la calidad de vida de los habitantes.

CAPÍTULO 4: RECOMENDACIONES JURÍDICAS Y DE POLÍTICA PÚBLICA PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LA MINERÍA DE TIERRAS RARAS EN COLOMBIA

El análisis crítico del ordenamiento jurídico colombiano en el Capítulo 3 reveló importantes vacíos normativos y desafíos en la capacidad de regulación del Estado frente a las particularidades de la explotación de Tierras Raras (TR) y sus significativas implicaciones ambientales y sociales. En respuesta a estas brechas, el presente capítulo tiene como objetivo proponer recomendaciones jurídicas y de política pública que permitan optimizar la gestión ambiental y social de la minería de tierras raras en Colombia, considerando modelos de derecho comparado y las mejores prácticas internacionales.

4.1. Marco para la Especialización Normativa: Hacia una Regulación Diferenciada de las Tierras Raras

La principal recomendación es avanzar hacia una regulación específica y diferenciada para la exploración, explotación, beneficio, cierre y post-cierre de la minería de Tierras Raras. La generalidad del Código de Minas y la normativa ambiental actual resulta insuficiente para abordar los riesgos únicos que presentan estos minerales. Por lo tanto, es necesario, como primer paso, avanzar hacia una normativa especial que determine la naturaleza de las tierras raras, o en su defecto, una reforma al Código de Minas y la legislación y la normativa ambiental sectorial.

A lo largo del presente trabajo, se ha podido determinar que el Código de Minas, así como las leyes que rigen la naturaleza del medio ambiente, son insuficientes para la regulación de la prospección y explotación de las tierras raras, debido a su naturaleza

reciente e incipientes estudios realizados, por lo tanto, es necesario que, tanto el Senado como la Cámara de Representantes, puedan desarrollar la medida más adecuada que establezca, de forma diferenciada, un régimen especial para aquellos yacimientos que coadyuvan en gran parte, al desarrollo de la tecnología.

4.2. Modificación o Adición al Código de Minas y Normativa Ambiental Sectorial

4.2.1. Creación de un Título o Capítulo Específico en el Código de Minas: Se sugiere la inclusión de un capítulo dedicado a las Tierras Raras dentro del Código de Minas o, alternativamente, la expedición de un decreto reglamentario específico. Este debería establecer:

4.2.2. Definición Legal de Tierras Raras: Una definición clara y precisa que reconozca sus características y asociaciones particulares (ej. presencia de NORM).

4.2.3. Condiciones Especiales para Concesión: Requisitos adicionales en las solicitudes de concesión minera que incluyan estudios geológicos-radiológicos detallados desde la fase de exploración.

4.2.4. Clasificación de Yacimientos por Riesgo: Un sistema de clasificación de yacimientos de TR basado en su potencial radiológico y químico, que determine la intensidad de los requisitos ambientales y de seguridad industrial.

4.2.5. Reglamentación Ambiental Específica para Minería de TR: El Ministerio

de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en coordinación con el Ministerio de Minas y Energía, debería expedir un decreto o resolución que desarrolle aspectos específicos para las TR, tales como:

4.2.6. Estándares de Emisión y Descarga: Límites máximos permisibles de contaminantes (metales pesados, compuestos orgánicos, radionúclidos) en emisiones atmosféricas, vertimientos de aguas residuales y lixiviados de relaves, adaptados a los riesgos de las TR. Se pueden tomar como referencia los estándares de la Unión Europea (UE) o Canadá, que poseen regulaciones más detalladas para la industria extractiva y el manejo de NORM (European Union, 2013; Natural Resources Canada, 2021).

4.2.7. Guías para Estudios de Impacto Ambiental (EIA) de TR: Obligatoriedad de incorporar capítulos específicos sobre análisis de riesgo radiológico, geoquímica de los depósitos y modelamiento de dispersión de contaminantes en los EIA. Modelos como el australiano para la minería de elementos críticos (Australian Government, 2020) pueden ser valiosos.

4.2.8. Requisitos para el Manejo y Almacenamiento de Residuos: Desarrollo de protocolos detallados para la clasificación, caracterización, almacenamiento temporal y disposición final de estériles y relaves, con énfasis en los residuos con contenido de NORM. Esto implicaría diferenciar entre residuos mineros convencionales y aquellos que, por su naturaleza radiológica, requieren un confinamiento más riguroso y monitoreo a largo plazo, similar a la experiencia de Estados Unidos con los Title 40 CFR de la EPA (U.S. Environmental Protection Agency [EPA], 2024).

Fortalecimiento de la Regulación sobre Residuos Radiactivos Naturales (NORM)

4.2.9. Creación de una Normativa Específica de NORM Minero: Es fundamental desarrollar una regulación integral sobre NORM generados en la minería, que establezca umbrales de actividad, requisitos de licenciamiento, monitoreo, transporte y disposición final. La experiencia del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) a través de sus guías de seguridad (IAEA, 2018) y las regulaciones nacionales de países con experiencia en minería de uranio o fosfatos (donde NORM es relevante) como Canadá o Australia, ofrecen modelos valiosos.

4.2.10. Articulación con Normativa Sanitaria: Establecer un puente normativo claro entre el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Salud y Protección Social para la gestión de riesgos radiológicos, incluyendo la salud ocupacional y la protección de las comunidades.

4.3. Creación de una Ley de Tierras Raras

De todas las recomendaciones presentadas, la creación de una Ley de Tierras Raras es una de las más complejas, debido al escaso conocimiento existente, sin embargo, al tomar en cuenta el modelo peruano, en el cual se creó una norma especial para la explotación y prospección de los yacimientos de litio como un aspecto independiente, aunque conexo a la Ley General de Minería, se pueden condensar cada uno de los aspectos destacados con anterioridad para unirlos en un solo cuerpo legal.

La razón por la cual se tomaría en cuenta la creación de una Ley de Tierras Raras en lugar de agregar dicho contexto al Código de Minas, es su carácter especial; como se ha mencionado, las tierras raras contienen una serie de metales extraños que anteriormente no se habían explotado, y que permiten el ensamblaje de todo tipo de aparatos tecnológicos. En estos casos, se podría categorizar cuáles son los metales cuyas fuentes se consideren como tierras raras, así como las fases para el proceso de explotación de los yacimientos y el impacto ambiental.

Todo ello, acompañado de un procedimiento administrativo que sancione la explotación ilegal y la polución ambiental a las personas naturales o jurídicas que, sin haber contado con los permisos adecuados, la desarrollen, incluso con afectaciones severas al ecosistema o a las comunidades indígenas. Por estas razones, y tomando en cuenta los preceptos del debido proceso establecidos en la Constitución Política, se podrá tener una Ley que permite incorporar a Colombia en el plano de las naciones modernas y desarrolladas, al permitir la explotación de metales que permiten la construcción de diversas fuentes de tecnología, e incluso energía nuclear.

4.4. Fortalecimiento Institucional y Capacidades Técnicas

La implementación de una regulación especializada requiere un fortalecimiento sustancial de las capacidades institucionales.

4.5. Capacitación y Especialización de Autoridades

4.5.1. ANM y Autoridades Ambientales: Programas de capacitación intensiva

para funcionarios de la Agencia Nacional de Minería (ANM), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en geología de Tierras Raras, geoquímica ambiental, protección radiológica y tecnologías de procesamiento de TR.

4.5.2. Creación de Unidades Especializadas: Considerar la creación de unidades o grupos de trabajo especializados dentro de la ANM y la ANLA, dedicados exclusivamente a la evaluación y fiscalización de proyectos de minería de elementos estratégicos, incluyendo las TR.

4.5.3. Inversión en Infraestructura Tecnológica: Adquisición de equipos especializados para el monitoreo de radiación, análisis de metales pesados y compuestos químicos en agua, suelo y aire, y software para modelamiento de dispersión de contaminantes.

4.5.4. Mesa Interinstitucional Permanente: Establecer una mesa de trabajo interinstitucional permanente entre el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Salud y Protección Social, la ANM, la ANLA y el Servicio Geológico Colombiano (SGC). Esta mesa debería encargarse de la armonización normativa, el intercambio de información y la resolución de casos complejos

4.6. Promoción de Prácticas Sostenibles y Economía Circular

Más allá de la regulación, la política pública debe incentivar la adopción de prácticas más sostenibles en la minería de TR.

4.6.1. Políticas de Reciclaje: Desarrollar políticas públicas que fomenten la recolección, el procesamiento y el reciclaje de productos que contienen Tierras Raras, como dispositivos electrónicos y baterías de vehículos eléctricos. Esto reduciría la presión sobre los recursos vírgenes y los impactos asociados a la minería (Alonso et al., 2012). Países como Japón han sido pioneros en la economía circular de TR (Tsujiyama & Yamamoto, 2019).

4.6.2. Estándares de Ecodiseño: Promover estándares de ecodiseño que faciliten el desmontaje y la recuperación de componentes con TR al final de la vida útil de los productos.

4.7. Incentivos para Tecnologías Limpias

4.7.1. Fondos para Investigación y Desarrollo (I+D): Establecer fondos o programas de apoyo para la investigación y el desarrollo de tecnologías más limpias para la extracción y procesamiento de TR, que minimicen el uso de químicos peligrosos, reduzcan la generación de residuos y mejoren la recuperación de los minerales. Esto podría incluir técnicas de lixiviación *in situ* más controladas o métodos biológicos (Kwon & Lee, 2017).

4.7.2. Beneficios Fiscales: Ofrecer incentivos fiscales o créditos a las empresas que inviertan en tecnologías de mitigación de impacto, reciclaje de aguas de proceso y reutilización de residuos.

4.8. Participación Ciudadana y Transparencia

La legitimidad de la actividad minera, especialmente en un sector con impactos

tan complejos, depende en gran medida de la confianza pública y la participación efectiva.

4.8.1. Mejora de los Procesos de Consulta Previa y Participación Ciudadana

Protocolos Específicos para TR: Desarrollar protocolos para la consulta previa y la participación ciudadana en proyectos de minería de TR que incluyan información clara y accesible sobre los riesgos radiológicos, químicos y ambientales asociados, presentados de manera comprensible para las comunidades.

4.8.2. Mecanismos de Monitoreo Participativo: Establecer mecanismos para el monitoreo ambiental participativo, donde las comunidades puedan involucrarse en la toma de muestras y la verificación de los estándares ambientales.

4.9. Transparencia y Acceso a la Información

4.9.1. Registro Público de Información: Crear un registro público accesible que contenga información detallada sobre los proyectos de TR, incluyendo los EIA, resultados de monitoreo ambiental y radiológico, planes de manejo de residuos y auditorías ambientales. La Iniciativa para la Transparencia de las Industrias Extractivas (EITI) ofrece un marco para este tipo de divulgación.

La explotación de Tierras Raras representa una oportunidad estratégica para Colombia, pero también un desafío monumental en términos de sostenibilidad ambiental y social. La implementación de estas recomendaciones jurídicas y de política pública no solo mitigaría los riesgos inherentes, sino que también posicionaría a Colombia como un actor responsable en la cadena de suministro global de estos minerales críticos. Adoptar un enfoque proactivo, basado en el derecho comparado y las mejores prácticas, es

esencial para asegurar que cualquier desarrollo de la minería de TR en el país sea compatible con los principios del desarrollo sostenible y la protección de los derechos fundamentales.

CAPÍTULO 5: MARCO METODOLÓGICO

Línea de investigación: La presente monografía pertenece a la línea de investigación No. 02. “Estado, sociedad y cultura” de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, definida en el Acuerdo No. 069 de 2022, como aquella que: Aborda las problemáticas que surgen en los ámbitos social y público en aras por responder a las tensiones que se generan al momento de implementar los derechos a nivel nacional e internacional, la interseccionalidad, los estudios indígenas, estudios afro, estudios de familia, conflicto y sociedad, el valor del trabajo, la seguridad, la salud alimentaria e interculturalidad; el análisis de los estudios poblacionales, la circulación de saberes y construcción de identidades, el estudio de la ciudadanía y cultura política. (pág. 3)

Lo anterior debido a que la investigación va dirigida a un tema general, que es la de la minería, y más específicamente la explotación de tierras raras. De esta práctica derivan muchos efectos en la sociedad, tales como la economía, las posibles afectaciones a grupos culturales que habiten en las zonas de explotación; y aledañas a las mismas. Es un tema que atañe al derecho ambiental.

Enfoque de Investigación

- **Enfoque cualitativo:** Enfoque cualitativo: Utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación (Sampieri, 2013).

- **Investigación no experimental:** Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos (Sampieri,2013)
- **Diseños transeccionales exploratorios:** Comenzar a conocer una variable o un conjunto de variables, una comunidad, un contexto, un evento, una situación. Se trata de una exploración inicial en un momento específico. Por lo general, se aplican a problemas de investigación nuevos o poco conocidos; además, constituyen el preámbulo de otros diseños (no experimentales y experimentales). (Sampieri,2013).

Fuentes de Información

Se puede acotar que la recolección de información para el desarrollo de la presente monografía, se ha basado principalmente en fuentes secundarias, esto es, a partir del estudio de la ley, jurisprudencia de la Corte Constitucional y otros organismos intérpretes del marco jurídico, informes internacionales y estudios previos desarrollados que guardan alusión con el tema en mención.

Fuentes normativas: Leyes nacionales (especialmente el Código de Minas, Ley 685 de 2001, y normativas ambientales), decretos, resoluciones y la Constitución Política de Colombia de 1991 (Congreso de la República de Colombia, 2001; Asamblea Nacional Constituyente, 1991).

Fuentes jurisprudenciales: Sentencias de la Corte Constitucional, el Consejo de Estado y la Corte Suprema de Justicia relacionadas con minería, medio ambiente y derechos fundamentales.

Literatura académica y científica: Artículos de investigación, libros, tesis, e informes de estudios sobre tierras raras, su impacto ambiental, y marcos regulatorios a nivel nacional e internacional (e.g., Liu et al., 2018; Valero & Valero, 2017).

Informes de organismos internacionales y nacionales: Documentos de entidades como la ONU, agencias ambientales, y centros de investigación especializados en recursos naturales y sostenibilidad.

Medios de comunicación especializados y generales: Noticias y reportajes relevantes sobre proyectos de tierras raras en Colombia y las discusiones asociadas (e.g., Rumbo Minero, 2023; Infobae, 2023).

Técnicas de Recolección y Análisis de Datos

Las principales técnicas empleadas para la recolección y análisis de la información fueron:

Revisión Documental y Bibliográfica: Se realizó una búsqueda sistemática y exhaustiva de la literatura relevante en bases de datos académicas, repositorios universitarios y portales de entidades gubernamentales y no gubernamentales.

Análisis de Contenido Jurídico: Se examinó de forma crítica el contenido de la normativa vigente y la jurisprudencia para identificar su alcance, limitaciones y pertinencia en la regulación de la minería de tierras raras (Rodríguez, 2019).

Análisis de Derecho Comparado: También se ha realizado un estudio comparativo con las leyes y experiencias de naciones cercanas geográficamente, en

cuanto al tratamiento de las tierras consideradas raras, a fin de encontrar buenas prácticas y soluciones que permitan su estudio dentro del contexto nacional.

Fases de la Investigación

Fase 1: Conceptualización y Contextualización: Definición de las tierras raras, su importancia global y su presencia documentada en Colombia.

Fase 2: Análisis de Impactos Ambientales: Estudio pormenorizado del impacto ambiental existente si la explotación y tratamiento de tierras raras se realiza sin un control adecuado.

Fase 3: Examen del Marco Normativo Nacional: Estudio detallado de la legislación colombiana (minera, ambiental y constitucional) y la jurisprudencia pertinente.

Fase 4: Análisis de Derecho Comparado y Vacíos Normativos: Revisión de legislación extranjera de naciones con similitud jurídica y de normas, para poder identificar fortalezas y debilidades de la legislación local, y con ello proponer modelos de gestión.

Fase 5: Formulación de Conclusiones y Recomendaciones: Simplificación de los Hallazgos existentes, así como propuesta de soluciones que permitan explotar de forma consciente y sostenible las tierras raras y yacimientos existentes en el país.

CAPITULO 6: PROPUESTA DE INCIDENCIA PÚBLICA: VIDEO PEDAGÓGICO

6.1. La razón de ser de la alternativa: de la tesis a la incidencia pública

El desarrollo de esta investigación evidenció una conclusión esencial: la normativa colombiana vigente, representada principalmente por el **Código de Minas** y la **Ley 99 de 1993**, no responde adecuadamente a los retos ambientales, técnicos y sociales derivados de la **explotación de tierras raras (TR)**. Esta insuficiencia normativa configura un riesgo potencial para los derechos colectivos, la salud pública y el patrimonio natural del país, debido a la falta de regulación específica sobre la **toxicidad química** y la **radiactividad natural (NORM)** asociadas a dichos minerales.

Si bien la investigación plantea la necesidad de una ley especial o política pública integral que regule la gestión sostenible de las TR, cualquier avance legislativo dependerá de la existencia de una ciudadanía, comunidad académica y actores institucionales informados y sensibilizados. Por esta razón, la propuesta de solución se traduce en la producción de un video pedagógico, concebido como una herramienta de incidencia jurídica y social.

El video no se plantea como un complemento ilustrativo, sino como una **estrategia de comunicación del Derecho**. Su objetivo es traducir el conocimiento jurídico y ambiental de la monografía a un lenguaje claro, visual y accesible, capaz de llegar tanto a operadores jurídicos y legisladores como a comunidades y ciudadanos interesados en la defensa ambiental.

En suma, el video pedagógico constituye la aplicación práctica del Objetivo Específico 5, demostrando que la investigación universitaria puede trascender el ámbito

académico para generar impacto social, educativo y normativo.

6.2. Propósito, objetivos y público del recurso audiovisual

El **video pedagógico** titulado *“Tierras raras en Colombia: un análisis de su incidencia ambiental y marco normativo aplicable”* se diseñó con un propósito doble:

1. **Comunicar de manera sintética y rigurosa** los principales hallazgos de la monografía, destacando los vacíos normativos que rodean la minería de tierras raras en Colombia.
2. **Constituir una alternativa de solución** orientada a la formación, sensibilización e incidencia pública, al poner la información jurídica al alcance de distintos públicos estratégicos.

Objetivos específicos del video

- **Difundir el conocimiento jurídico y técnico** sobre las tierras raras, sus riesgos ambientales y el vacío regulatorio existente.
- **Promover la reflexión y el debate público**, impulsando el control ciudadano y la participación en los procesos de licenciamiento y formulación de políticas públicas.
- **Motivar la acción institucional**, presentando de manera clara y visual las recomendaciones legislativas y de política que propone la monografía.

Audiencia meta

Nivel	Público destinatario	Propósito principal
Primario	Operadores jurídicos, decisores políticos, autoridades ambientales y mineras	Fortalecer la comprensión técnica y jurídica de los riesgos asociados a las TR y la necesidad de una ley especializada.

Secundario	Comunidad académica, estudiantes, ONG y ciudadanía interesada en temas ambientales	Promover el aprendizaje crítico, el control social y la divulgación científica en lenguaje comprensible.
-------------------	--	--

6.3. Estructura narrativa del video y su conexión con la propuesta jurídica

El video sigue la misma secuencia lógica y argumentativa de la monografía, lo cual garantiza **coherencia entre la investigación teórica y su expresión audiovisual**.

Segmento	Enfoque
Introducción: ¿Qué son las tierras raras y por qué importan?	Contextualiza su importancia estratégica y tecnológica, subrayando su papel en la transición energética y digital.
Impacto ambiental de la minería de tierras raras	Explica los principales riesgos ambientales y sanitarios: deforestación, contaminación química, exposición radiactiva y efectos respiratorios en comunidades cercanas.
Análisis crítico del marco normativo colombiano	Evidencia la carencia de regulación específica en el Código de Minas y la Ley 99 de 1993, lo que genera inseguridad jurídica y vacíos en la gestión ambiental.
Conclusiones y recomendaciones	Presenta las cinco propuestas normativas de la monografía: regulación diferenciada, manejo de residuos NORM, fortalecimiento institucional, economía circular y participación ciudadana.

6.4. Impacto esperado y validación del recurso

El video pedagógico no solo funciona como un medio de divulgación, sino como un instrumento de incidencia jurídica y política. Su producción permitió trasladar los hallazgos del análisis documental y normativo a un formato que facilita:

La socialización del conocimiento jurídico entre sectores no especializados.

El fortalecimiento del control ciudadano frente a proyectos de exploración y

explotación de tierras raras.

La generación de conciencia institucional sobre la urgencia de una política pública específica.

El contenido audiovisual fue validado conforme a las conclusiones de los Capítulos IV y V de la monografía, garantizando su correspondencia con la investigación base y su coherencia con los principios del Derecho Ambiental y Constitucional colombiano.

6.5. Conclusión del capítulo

La elección del **video pedagógico** como alternativa de solución refleja la intención de **transformar el conocimiento jurídico en acción social y política**. Esta herramienta demuestra que la investigación universitaria no se agota en el diagnóstico, sino que puede convertirse en una forma de **incidencia pública** orientada a la protección de los derechos colectivos, la justicia ambiental y el desarrollo sostenible.

Así, la monografía trasciende el plano teórico para proponer un **modelo de comunicación del Derecho**, capaz de impulsar debates legislativos, sensibilizar a las instituciones y empoderar a la ciudadanía en torno a un recurso estratégico: las tierras raras de Colombia.

Conclusiones

El presente estudio ha abordado de manera integral la compleja temática de la

explotación de Tierras Raras (TR) en el contexto colombiano, analizando su relevancia global, sus impactos ambientales y la capacidad del marco jurídico nacional para regularla. A partir de los capítulos desarrollados, se desprenden las siguientes conclusiones clave:

Relevancia Estratégica y Creciente Demanda Global: Las Tierras Raras son elementos críticos e insustituibles para las tecnologías de vanguardia que impulsan la transición energética, la digitalización y la defensa moderna (USGS, 2023). La creciente demanda global, el dominio histórico de China en la cadena de suministro y la búsqueda de diversificación por parte de las potencias mundiales, posicionan a las TR como un recurso de alto valor estratégico y económico para cualquier país con potencial geológico, incluyendo Colombia.

Impactos Ambientales Significativos y Multifacéticos: La explotación de Tierras Raras genera impactos ambientales severos y persistentes a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la extracción hasta el procesamiento. Estos incluyen:

Alteración del paisaje y degradación del suelo: Pérdida de hábitat, erosión, sedimentación, compactación y acidificación del suelo, especialmente en minería a cielo abierto (Zhou et al., 2017).

Contaminación del agua: Lixiviación de metales pesados (Pb, As, Cd) y, crucialmente, de radionúclidos como torio y uranio, así como vertidos de químicos de procesamiento (ácidos, disolventes), afectando aguas superficiales y subterráneas (Zhang et al., 2015; Jia et al., 2017).

Contaminación del aire: Emisión de partículas en suspensión con posible contenido radiológico y de metales, y gases tóxicos (SO₂, NO_x), con riesgos para la salud humana y ecosistémica (Ren et al., 2019).

Generación masiva de residuos: Producción de grandes volúmenes de estériles y relaves, que a menudo contienen concentraciones residuales de contaminantes y NORM, planteando desafíos de gestión a largo plazo (Liu et al., 2018; IAEA, 2011).

Insuficiencia del Marco Jurídico Colombiano Actual: El ordenamiento jurídico colombiano, si bien cuenta con principios robustos en materia ambiental y un Código de Minas de aplicación general, presenta limitaciones significativas para regular adecuadamente la minería de Tierras Raras:

Ausencia de Normativa Específica: No existen disposiciones legales o reglamentarias diferenciadas que aborden las particularidades de la exploración, explotación y beneficio de TR, ni la gestión específica de los riesgos radiológicos, químicos complejos y los grandes volúmenes de residuos asociados.

Vacíos en la Gestión de NORM: La regulación sobre Residuos Radiactivos Naturales (NORM) generados por la minería es incipiente y no está plenamente articulada con la normativa ambiental y de seguridad y salud en el trabajo.

Desafíos en la Fiscalización y Capacidades Técnicas: La generalidad de las normas implica que las autoridades carecen de las herramientas legales y, potencialmente, de las capacidades técnicas especializadas para evaluar, licenciar y fiscalizar eficazmente los riesgos únicos de los proyectos de TR.

Persistencia de Impactos a Largo Plazo: Las disposiciones sobre post-cierre de

minas podrían ser insuficientes para garantizar la contención segura de pasivos ambientales con componentes radiológicos a muy largo plazo.

Potencial de Presencia de Tierras Raras en Colombia: Colombia presenta un potencial geológico considerable para la existencia de yacimientos de Tierras Raras, incluyendo depósitos asociados a rocas ígneas alcalinas y carbonatitas, así como los valiosos depósitos tipo "Ion-Adsorption" ricos en TRP (SGC, 2022). Esto subraya la urgencia de establecer un marco regulatorio y de política pública preventivo, incluso antes de una posible explotación a gran escala.

Recomendaciones

A la luz de las conclusiones presentadas, se formulan las siguientes recomendaciones jurídicas y de política pública, orientadas a lograr una gestión sostenible y responsable de la minería de Tierras Raras en Colombia:

1. Desarrollo de un Marco Normativo Especializado para Tierras Raras:

- **Modificación del Código de Minas y/o expedición de un Decreto Reglamentario Específico:** Incluir un capítulo o sección dedicada a las TR que defina las particularidades de su concesión, requisitos de exploración (incluyendo análisis radiológicos), fiscalización y cierre, basándose en la clasificación de yacimientos por nivel de riesgo (radiológico y químico).

- **Reglamentación Ambiental Integral para Minería de TR:** El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible debe liderar la creación de una normativa que establezca:
 - **Estándares de Emisión y Calidad:** Límites máximos permisibles específicos para radionúclidos y metales pesados en vertimientos, emisiones atmosféricas y lixiviados de relaves, tomando como referencia modelos internacionales rigurosos (ej. UE, Canadá).
 - **Guías Detalladas para EIA:** Obligatoriedad de incluir en los EIA de TR análisis de riesgo radiológico exhaustivos, estudios geoquímicos detallados de los depósitos y modelamiento de la dispersión de contaminantes.
 - **Manejo de Residuos NORM:** Desarrollar una normativa específica y detallada para la gestión integral de NORM mineros, desde su caracterización, almacenamiento seguro (temporal y definitivo) hasta su disposición final, considerando los desafíos de largo plazo y adoptando las guías de la OIEA (IAEA, 2018).
 - **Planes de Cierre y Post-Cierre Especializados:** Exigir planes de cierre y post-cierre que aborden la estabilidad física y geoquímica a perpetuidad de las instalaciones de relaves y estériles con NORM, incluyendo monitoreo ambiental y radiológico a largo plazo y mecanismos de financiación para responsabilidades futuras.

2. Fortalecimiento Institucional y Capacidades Técnicas:

- **Inversión en Capacitación Especializada:** Destinar recursos para la capacitación de funcionarios de la ANM, ANLA, CARs y SGC en geología de TR, protección radiológica, geoquímica ambiental y tecnologías de procesamiento de TR.
 - **Creación de Unidades Interdisciplinarias:** Establecer grupos o unidades de trabajo especializados dentro de las autoridades ambientales y mineras, con enfoque en elementos críticos y riesgos radiológicos, que faciliten la evaluación y fiscalización de proyectos de TR.
 - **Adquisición de Tecnología de Monitoreo:** Invertir en equipos de monitoreo de radiación y análisis de contaminantes para asegurar una fiscalización efectiva en campo.
3. **Promoción de la Investigación, la Economía Circular y Tecnologías Limpias:**
- **Incentivos a la I+D:** Crear mecanismos de financiación e incentivos fiscales para la investigación y desarrollo de tecnologías de extracción y procesamiento de TR más sostenibles, que reduzcan el consumo de agua, minimicen el uso de químicos peligrosos y generen menos residuos radiológicos.
 - **Fomento del Reciclaje de TR:** Desarrollar políticas de economía circular que promuevan la recuperación y el reciclaje de Tierras Raras de productos electrónicos y otras tecnologías, reduciendo la dependencia de la minería primaria y sus impactos (Alonso et al., 2012).
4. **Mejora de la Transparencia y la Participación Ciudadana:**

- **Información Clara y Accesible:** Implementar plataformas de acceso público a la información detallada de proyectos de TR, incluyendo EIA, resultados de monitoreo ambiental y radiológico, en formatos comprensibles para las comunidades.
- **Protocolos de Consulta Específicos:** Desarrollar protocolos para la consulta previa y la participación ciudadana en proyectos de TR que garanticen una comunicación efectiva y transparente sobre los riesgos inherentes, y que permitan la inclusión de las preocupaciones de las comunidades desde las etapas tempranas del proyecto.

5. **Articulación Normativa y Coordinación Interinstitucional:**

- **Mesa Interinstitucional Permanente:** Establecer formalmente una mesa de coordinación permanente entre el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Salud y Protección Social, la ANM, la ANLA y el SGC, para la armonización de políticas, intercambio de información y abordaje integral de los retos de la minería de TR.

Estas recomendaciones, si se implementan de manera coherente y decidida, permitirán a Colombia capitalizar el potencial económico de las Tierras Raras de forma responsable, mitigando los riesgos ambientales y sociales, y construyendo una minería de elementos estratégicos que sea compatible con los principios de desarrollo sostenible y la protección de los derechos fundamentales de sus ciudadanos.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, E. (2022). Las tierras raras y su potencial en el Sistema Educativo Nacional. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*(2), 8-9.
- Alonso, E., Sherman, A. M., Wall, F., Bergmann, F., Mudd, G., Jowitt, S. M., ... & Eggert, R. (2012). Evaluating rare earth element supply chains: A life cycle approach. *Journal of Industrial Ecology*, 16(5), 724-736.
- Angarita, J. (2023). Tierras raras en Colombia: Potencial y desafíos. *Revista Minería Sostenible*, 15(2), 45-60.
- Asamblea Nacional Constituyente. (1991). Constitución Política de Colombia. *Gaceta Constitucional* No. 114.
- Australian Government. Department of Industry, Science, Energy and Resources. (2020). *Critical Minerals Strategy 2019*.
- Balaram, V. (2018). Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Environmental Chemistry Letters*, 16(2), 299-317.
- Binnemans, K., Jones, P. T., Blanpain, B., Van Gerven, T., Yang, Y., Walton, A., & Buchert, M. (2013). Recycling of rare earths: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 51, 1-

22.

Castillo, C. A., Giraldo, G., Arango, J., & Zapata, S. (2017). Geología de los depósitos de tierras raras asociados a rocas alcalinas en el Macizo de Garzón, Colombia. *Boletín de Geología*, 39(2), 79-90.

Chen, L., & Lee, K. (2022). Rare earth elements and environmental policy in China: A comparative study. *Environmental Policy and Governance*, 32(1), 78-90.

Congreso de la República de Colombia. (2001). Ley 685 de 2001: Por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial No. 44.545*.

Corte Constitucional. (2002). Sentencia C-339 de 2002. M.P. Jaime Araujo Rentería.

Corte Constitucional. (2016). Sentencia C-035 de 2016. M.P. Luis Ernesto Vargas Silva.

Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015, 26 de mayo).

European Commission. (2020). *Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability* (COM(2020) 474 final).

European Union. (2013). Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. *Official Journal of the European Union*, L 13/1.

Gambogi, J. (2020). Rare Earths. En *Mineral Commodity Summaries 2020*. U.S. Geological Survey.

Gómez, A. (2020). La importancia de las tierras raras en la economía global. *Economía y Desarrollo*, 35(1), 112-125.

Goonan, T. G. (2011). Rare earth elements—Critical resources for high technology. U.S. Geological Survey.

Grupo REFORMA. (2019, 29 de junio). Tierras raras, los metales del futuro. Grupo REFORMA.

[Si tienes la URL exacta, se añadiría al final].

Gupta, C. K., & Krishnamurthy, N. (2005). Extractive metallurgy of rare earths. CRC Press. Nota:

Se asume que la referencia de 2018 es una reedición o actualización de la de 2005 y no una obra diferente, por lo que se mantiene la más antigua y se aclara si es necesario en el texto.

Gupta, S. K., & Krishnamurthy, R. (2018). Environmental aspects of rare earth element extraction and processing. *Journal of Environmental Management*, 223, 796-805.

Haque, N., Hughes, G., & Lindsay, P. (2014). Rare earth elements: A review of production, processing, applications, and environmental impact. *Minerals Engineering*, 61, 70-82.

Humphries, M. (2012). Rare Earth Elements: The Global Supply Chain. Congressional Research Service. Nota: Se asume que la referencia de 2013 es la misma publicación que la de 2012.

Infobae. (2023, 10 de octubre). Proyecto de tierras raras "Mynastic" en Vichada: Controversia ambiental y social. Infobae. [Si tienes la URL exacta, se añadiría al final].

International Atomic Energy Agency. (2011). Management of naturally occurring radioactive material (NORM) in the production of rare earth elements. IAEA.

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2018). Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. (General Safety Requirements Part 3). IAEA.

Jia, Y., Liu, F., Yang, S., Hu, M., Zhang, B., Yang, X., & Liu, M. (2017). Environmental pollution and health risks in rare earth mining areas: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(27), 21323-21334.

- Jiménez Villanueva, H. (2024). *Tierras Raras: Usos y Proyecciones Tecnológicas*. [Se necesita más información para completar: Tipo de publicación (libro, informe), editorial o institución].
- Jones, A. (2020). *Rare earths: China's dominance and its implications*. Chatham House.
- Jowitt, S. M., Ernst, R. E., & Hedenquist, J. W. (2018). Rare earth element deposits: Global distribution, genetic models and exploration methods. *Ore Geology Reviews*, 92, 1-21.
- Kwon, J. S., & Lee, J. C. (2017). Recent trends in solvent extraction and ion exchange for the separation of rare earths. *Minerals Engineering*, 114, 50-60.
- Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones. (1993, 22 de diciembre).
- Li, Z., Zhao, Y., Zhang, J., & Zhou, D. (2020). Ecological and environmental impacts of rare earth mining: A review of the current situation and future challenges. *Journal of Cleaner Production*, 273, 122941.
- Liu, J., Cai, B., Li, Z., Long, Z., & Chen, H. (2018). Environmental impact of rare earth mining on soil and water in southern China. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(5), 1801-1813.
- Liu, X., Buchert, M., Schüler, D., Dittrich, S., Merz, C., & Angerer, G. (2018). Study on rare earth elements and their recycling. Fraunhofer ISI. Nota: Se mantiene esta y se sugiere verificar si la de 2011 es una publicación distinta o una versión anterior.
- López, M. (2019). Inseguridad jurídica en el sector minero colombiano. *Revista de Derecho Minero y Petrolero*, 8(2), 20-35.

- López-Sánchez, M., & Salazar, M. (2017). Minería y sostenibilidad en Colombia: Un análisis crítico. *Gestión y Ambiente*, 20(3), 89-102.
- Miranda, L. (2017). Tierras raras: Definición y relevancia global. *Ciencia y Tecnología Minera*, 12(1), 5-15.
- Natural Resources Canada. (2021). *Radioactive Waste Management Policy Framework*. Government of Canada.
- Olarte, J. (2017). *Tierras raras: Una revisión de su geología, economía y aplicaciones*. Editorial Universitaria. [Se necesita el nombre de la editorial].
- Parra, A., & Echeverri, J. (2019). *Historia y evolución de las tierras raras*. [Se necesita más información para completar: Tipo de publicación (libro, informe), editorial o institución].
- Pérez, C., & González, R. (2020). Vacíos normativos en la regulación minera y ambiental en Colombia. *Revista Jurídica Ambiental*, 5(1), 45-60.
- Pérez Lagüela, A. (2018). La minería como motor económico: Un análisis geográfico. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 77, 1-20.
- Prego Reboredo, R. (2019). *Elementos de Tierras Raras: Química, Geología, Aplicaciones y Perspectivas*. [Se necesita el nombre de la editorial].
- Ren, Y., Guo, Z., Deng, X., & Yu, W. (2019). Ecological and environmental effects of rare earth mining in China: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(21), 21104-21115.
- Restrepo, S., & Valencia, L. (2021). Biodiversidad y minería en Colombia: Desafíos y oportunidades. *Ambiente y Desarrollo*, 25(1), 70-85.
- Rodríguez, J. (2019). Regulación minera en Colombia: Un análisis crítico. *Revista Colombiana de Derecho*, 10(2), 112-130.

- Rumbo Minero. (2023, 23 de marzo). Proyecto Minastyc de Auxico en Colombia obtiene aprobación de evaluación de EIA. [Si tienes la URL, se añadiría al final de la entrada].
- Schüler, D., Buchert, M., Liu, X., Dittrich, S., Merz, C., & Angerer, G. (2011). Study on Rare Earth Elements and their Recycling. Fraunhofer ISI. Nota: Se mantiene esta y la de 2018 como distintas si no se especifica lo contrario.
- Servicio Geológico Colombiano. (2022). Potencial de Tierras Raras en Colombia: Estado del conocimiento. [Se necesita más detalles para una referencia completa, como el tipo de publicación (informe técnico, etc.) y URL si está disponible. Ejemplo: Informe técnico interno No. XXX. o Disponible en [URL]].
- Smith, J. (2019). Environmental consequences of large-scale mining. [Se necesita más información para completar: Tipo de publicación (libro, informe), editorial o institución].
- Smith, R., & Jones, S. (2021). Global experiences in rare earth mining: Environmental impacts and mitigation. *Journal of Sustainable Mining*, 18(3), 200-215.
- Tsujimura, H., & Yamamoto, R. (2019). Current status and future prospects of rare earth element recycling in Japan. *Resources Policy*, 61, 308-315.
- U.S. Department of Energy. (2011). Critical Materials Strategy.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2024). 40 CFR Protection of Environment. Recuperado de <https://www.epa.gov/laws-regulations/regulations-title-40-protection-environment>
- United States Environmental Protection Agency. (2024). Radon. Recuperado de <https://www.epa.gov/radon>
- United States Geological Survey. (2023). Mineral commodity summaries 2023. USGS.
- Universidad Industrial de Santander. (2006). Estudio de la presencia de tierras raras en fluoritas

de Santander. Informe de Investigación UIS. [Se necesita más detalles sobre cómo acceder a este informe, como URL si está disponible o un repositorio institucional].

UPME. (2018). Tierras raras. Unidad de Planeación Minero Energética. Recuperado de https://docs.upme.gov.co/SIMEC/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-inter/Producto4_Tierras_raras_final_v2.pdf

Valero, A., & Valero, A. (2017). Assessing the environmental impact of rare earth element production. *Resources, Conservation and Recycling*, 125, 38-46.

Valero, A., & Valero, A. (2017). *Thanatia: The Entropy Demands of Human Activities*. World Scientific. Nota: Se asume que "Thanatia: The Entropy of Earth Resources" de 2017 es la misma publicación o una edición muy similar y se prioriza una de las dos. Si son distintas, se deberían mantener ambas con alguna aclaración si es posible.

Yang, Y., Li, P., Wang, Z., & Li, C. (2019). The environmental risks of rare earth mining: A case study of Bayan Obo, China. *Journal of Environmental Management*, 232, 828-837.

Zhang, T., Lin, M., Zhang, H., & Huang, J. (2015). Environmental pollution characteristics and health risks of rare earth elements in soil around a mining area. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(16), 12791-12800.

Zhou, Z., Deng, X., & Ren, Y. (2017). Environmental impact assessment of rare earth mining and processing in China: A review. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1032-1044.