

SERVICIO
GEOLÓGICO
COLOMBIANO



Plan Estratégico de Conocimiento Geocientífico y Nuclear

2023-2032

Coordinación general

Julio Fierro Morales

Revisión bibliográfica

Daniela Mateus Zabala

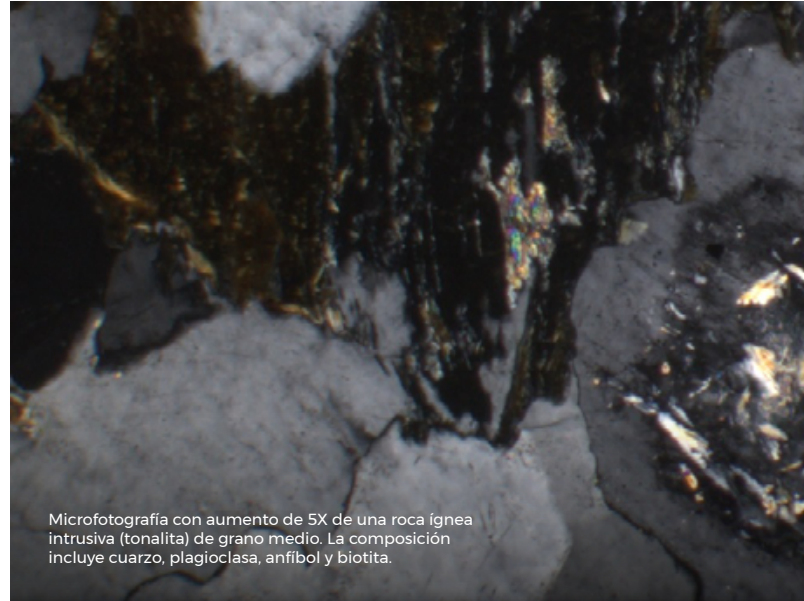
Corrección de estilo

Daniela Mateus Zabala

Óscar William Caicedo Alarcón

Citación sugerida

Servicio Geológico Colombiano (2023). Plan Estratégico de Conocimiento Geocientífico y Nuclear 2023 - 2032. <https://www.sgc.gov.co/>



Autores

Dirección General

Julio Fierro Morales

Laura Campos Encinales

Adriana Camacho Rojas

Secretaría General

Jessica Martínez Huertas

Liliana Ramos

Daniela Vásquez

David Valdés

María Alejandra Acuña

Marisol González Cetina

Wilson David Bautista

Jessica Paola Vargas Castro

Dirección de Asuntos Nucleares

Martha Guzmán

Hernando Alberto Camargo García

Ingrid Johana Gaitán Sánchez

Jaime Sandoval Lagos

Jimmy Alejandro Muñoz Rocha

Julián Andrés Niño Castañeda

Laura Alejandra Beltrán Daza

Maribel Moreno Forero

Dirección de Geoamenazas

Claudia Lorena Sanz León

Claudia Indira Molina Polanía

Gina Patricia Martínez Díaz

Jaime Raigosa Arango

John Makario Londoño Bonilla

Lina Marcela Castaño López

Nathalia María Contreras Vásquez

María Luisa Monsalve Bustamante

María Mónica Arcila Rivera

Roberto Armando Torres Corredor

Lourdes Narváez Medina

Dirección de Geociencias Básicas

German Pardo Torres

Adriana Martínez Londoño

Alcides Aguirre Corrales

Edward Salazar Ortiz

Gina Rodríguez Ospina

José Gilberto Bermúdez

Juan Manuel Herrera

Lorena del Pilar Rayo

Sandra Catalina Méndez

Victoria Elena Corredor

Yenny Paola Casallas

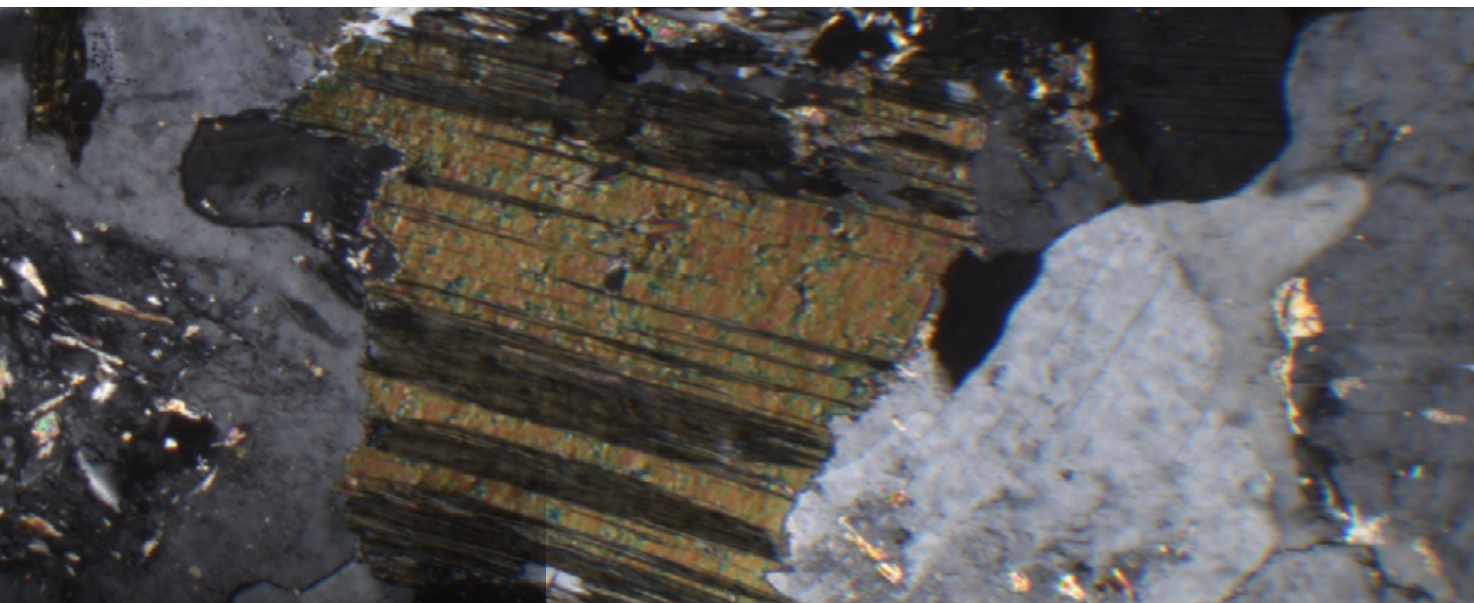
Dirección de Gestión de Información

Jaime Alberto Garzón Barrios

Alberto García Bolívar

Carlos Alberto Díaz Corredor

Gloria Stella Torres Rivera



Gustavo Alberto Gómez Gómez
 Julián Alfonso Castellanos Garzón
 Juan Diego Escobar Mejía
 Laura Estefanía Castellanos Sánchez
 Omar Gonzalo Santafé Alonso

Dirección de Hidrocarburos

Luz Adriana Díaz Delgado
 Andrés Reyes Merchán
 John Rafael Ortiz Trujillo
 Juan Carlos Montaña Rodríguez
 Nestor Arley Gamba Ruiz
 Óscar Arturo Romero Ballen
 Pablo Emilio Pedraza Castro
 Yuliana Ramírez Matiz
 Wilson Casallas Osorio

Dirección de Laboratorios

Billy Alexander Rodríguez
 Angélica María Candela Soto
 Diego Bustos
 Edith Johana Muñoz
 Fabián Andrés Ramírez
 Fernando Mosos
 Héctor Felipe Díaz
 Jairo Álvarez
 Manuel Romero
 Merydoreya Moreno

Sandra Rodríguez
 Yolanda Calderón

Dirección de Recursos Minerales

Ismael Enrique Moyano
 Elisa Carrasco Rincón
 Germán Alonso Martínez
 Hernando Murillo
 Harold Cano Ramírez
 Janeth Sepúlveda
 Johanna Duarte
 Johanna Marcela Umaña
 Juan Sebastián Durán Torres
 Juanita Sierra Salamanca
 Lina María Tabares Ocampo
 Luis Eduardo Velasquez
 Nathalia Marcela Guerrero Higuera
 Norma Marcela Lara
 Marco Antonio Rincón Mesa
 Roberto Terraza Melo
 Robinson Eduardo Patiño Mejía

FOTOGRAFÍAS

Servicio Geológico Colombiano

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Helman Ivan Beltrán Ocaña

Tabla de contenido

Introducción	9
Metodología	11
Enfoque metodológico	12
Actividades	13
Contexto estratégico	17
Contexto global	18
Convención sobre protección del patrimonio mundial, cultural y natural	20
Tratado Antártico sobre protección del medio ambiente	21
Marco de Sendai para Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030.....	22
Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible	24
Nueva Agenda Urbana.....	29
Convenio de Minamata sobre el Mercurio.....	30
Acuerdo de Escazú	31
Megatendencias.....	33
Contexto nacional	36
Ordenamiento Territorial	44
Políticas públicas	44
Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026.....	51
Contexto institucional	52
Funciones.....	53

Actores e instancias	53
Procesos	57
Instrumentos de planeación	60
Principales logros del SGC	63
Principales desafíos del SGC.....	66
Pilares estratégicos	69
Principios de la planeación estratégica	70
Misión	71
Visión	71
Objetivos estratégicos	71
Estrategia de innovación	72
Componente programático	75
Programas misionales	77
Ordenamiento territorial.....	80
Transición energética justa	84
Paleoclima y cambio climático	87
Agua subterránea en el ciclo del agua	90
Conocimiento nuclear y radiactivo.....	93
Patrimonio geológico y paleontológico	96
Gestión responsable de suelo, subsuelo y agua	99
Aprovechamiento responsable de minerales	103
Programas habilitantes	106
Gestión institucional para una respuesta eficiente y oportuna a la ciudadanía	107
Fortalecimiento de la gobernanza institucional	110

Seguimiento y evaluación	115
Bibliografía y anexos	119
Anexos	122
Programas misionales.....	122
Programas habilitantes.....	182
Presupuestos	202
Glosario	203
Bibliografía anexos	211
Decretos y leyes.....	213



Lista de figuras

Figura 1. Pasos para la construcción del Plan Estratégico del SGC.....	13
Figura 2. Informe sobre clima y desarrollo.....	38
Figura 3. Estructura del Servicio Geológico Colombiano.....	52
Figura 4. Panorama de instancias en las que interactúa el Servicio Geológico Colombiano	54
Figura 5. Mapa de procesos del Servicio Geológico Colombiano.....	57
Figura 6. Sistemas de Gestión	58
Figura 7. Operación del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG)	60
Figura 8. Proyectos por área del conocimiento	62
Figura 9. Proceso de innovación social	72
Figura 10. Mapeo de programas del Servicio Geológico Colombiano.....	86
Figura 11. Programa misional 1. Generación de conocimiento geocientífico para el ordenamiento territorial.....	80

Figura 12. Programa misional 2. Contribución a la transición energética justa	84
Figura 13. Programa misional 3. Generación de conocimiento geocientífico orientado a la adaptación y mitigación del cambio climático.....	97
Figura 14. Programa 4. Generación de conocimiento hidrogeológico como aporte al cumplimiento de los ODS	90
Figura 15. Programa misional 5. Conocimiento nuclear y radiactivo aplicado a la salud pública, la seguridad alimentaria, la preservación del ambiente y del patrimonio natural y cultural, así como a aportar insumos para las actividades productivas.....	93
Figura 16. Programa misional 6. Implementar el Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico de la Nación.....	96
Figura 17. Programa misional 7. Investigación y caracterización química y geomecánica aplicada a las geociencias	99
Figura 18. Programa misional 8. Investigación en minerales para la toma de decisiones sobre su aprovechamiento responsable, desde un enfoque de seguridad alimentaria, gestión ambiental, salud pública, industrialización e infraestructura.....	103
Figura 19. Programa habilitante 1. Gestión Institucional para una respuesta eficiente y oportuna a la ciudadanía	107
Figura 20. Programa habilitante 2. Fortalecimiento de la gobernanza institucional de la ciencia, tecnología e innovación para la apropiación social del conocimiento geocientífico generado.....	110

Lista de tablas

Tabla 1. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con respecto a la convención sobre protección del patrimonio mundial, cultural y natural.....	20
Tabla 2. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con respecto al Tratado Antártico.....	21
Tabla 3. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con respecto al Marco de Sendai.....	22
Tabla 4. Contribución del Servicio Geológico Colombiano a la Agenda 2030	24
Tabla 5. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con la Nueva Agenda Urbana.....	29
Tabla 6. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con el Convenio de Minamata.....	31
Tabla 7. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con el Acuerdo de Escazú	31
Tabla 8. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con respecto a referentes internacionales.....	33
Tabla 9. Avances de Colombia en los últimos 20 años con respecto a indicadores relevantes para la formulación del Plan Estratégico	39
Tabla 10. Retroceso de las áreas glaciales en Colombia	42

Tabla 11. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con la Política de Ciencia, Tecnología e Innovación..... 45

Tabla 12. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con la política pública de transición energética 50

Tabla 13. Indicadores de impacto asociados a los programas misionales..... 72

Tabla 14. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 1..... 78

Tabla 15. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 2..... 86

Tabla 16. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 3..... 89

Tabla 17. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 4 92

Tabla 18. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 5..... 94

Tabla 19. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 6..... 98

Tabla 20. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 7..... 101

Tabla 21. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 8..... 105

Tabla 22. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa habilitante 1..... 109

Tabla 23. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa habilitante 2..... 111

Lista de mapas

Mapa 1. Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa a escala 1:100.000..... 37

Mapa 2. Prevalencia de la inseguridad alimentaria en hogares 40

Mapa 3. Componente de equidad social en índice territorial de crecimiento verde 41



Paisaje semiárido en el que se ubica el yacimiento paleontológico de reptiles marinos del Cretácico Inferior, en la provincia del Alto Ricaurte (Boyacá).

Introducción

El Servicio Geológico Colombiano (SGC), como centro de ciencia y tecnología e innovación, trabaja por generar y difundir el conocimiento geocientífico y nuclear para el entendimiento del agua, el cambio climático, las dinámicas geológicas, los minerales y energéticos del subsuelo, el patrimonio geológico y el paleontológico, con el fin de contribuir al bienestar y equilibrio eco y geosistémico en el territorio nacional. Para cumplir lo anterior, el SGC se compromete a propender por el uso seguro y pacífico de los materiales radiactivos, entregar productos y ofrecer

servicios de calidad a partir del mejoramiento continuo de sus procesos, el cumplimiento de los requisitos legales y suscritos, el aseguramiento de la validez de los resultados de los laboratorios con operación coherente, imparcial y competente, la protección de la información bajo los principios de la confidencialidad, integridad, disponibilidad y privacidad, la generación de condiciones de trabajo seguras y entornos saludables y la promoción de acciones encaminadas a la protección del medio ambiente.



La cueva La Romera en Santa Sofía (Boyacá) es una de las zonas de estudio del proyecto Paleoclima y Paleoambiente, que busca reconstruir el pasado climático del país y conocer las regiones de proveniencia del agua que forma los espeleotemas.



MINERALES INDUSTRIALES

A museum exhibit featuring various fossils and skeletons. In the foreground, a large, curved fossil is displayed. In the background, a dinosaur skeleton is visible, along with a sign that reads "ROCAS METAMORFICAS". A large, dark, wavy shape is overlaid on the right side of the image.

01

Metodología

Enfoque metodológico

Para la construcción de la planeación estratégica del Servicio Geológico Colombiano (SGC), se utilizó el enfoque de misiones desarrollado por Mariana Mazzucato¹, que permite abordar retos actuales como la reconversión de la matriz energética, los escenarios de cambio climático y la búsqueda de soberanía alimentaria desde la innovación no solo tecnológica, sino social y organizativa. La creación de valor público y la interacción de sectores y actores relacionados comprende los siguientes elementos básicos (Mazzucato, 2021):

1. Los grandes desafíos o retos de la agenda política demarcan el cambio en la operación de la entidad, son los impulsores de la innovación o de la búsqueda de mejores formas de realizar acciones y redefinen alcances, propósitos, métodos, equipos, organización.
2. Las misiones se derivan de los anteriores desafíos y expresan de manera concreta objetivos ambiciosos, inspiradores, con una clara dirección y sentido de logro. Para alcanzar estas misiones se requiere el compromiso y la participación de múltiples disciplinas, sectores y actores públicos y privados.
3. Los portafolios de proyectos son el grupo de actividades, acciones y tareas que desarrollan cada misión y que proyectan las mejores prácticas, las nuevas formas, la innovación integral, la apropiación del quehacer y el trabajo de abajo hacia arriba para lograr soluciones.
4. Las rutas de innovación son las formas, mecanismos y metodologías por medio de las cuales se garantiza la ejecución efectiva del portafolio de proyectos.



El volcanismo de lodo se origina por la presencia en profundidad de material arcilloso de características plásticas y con gases en condiciones de alta presión. Este material se moviliza hacia la superficie a través de fracturas o zonas de debilidad.

Actividades

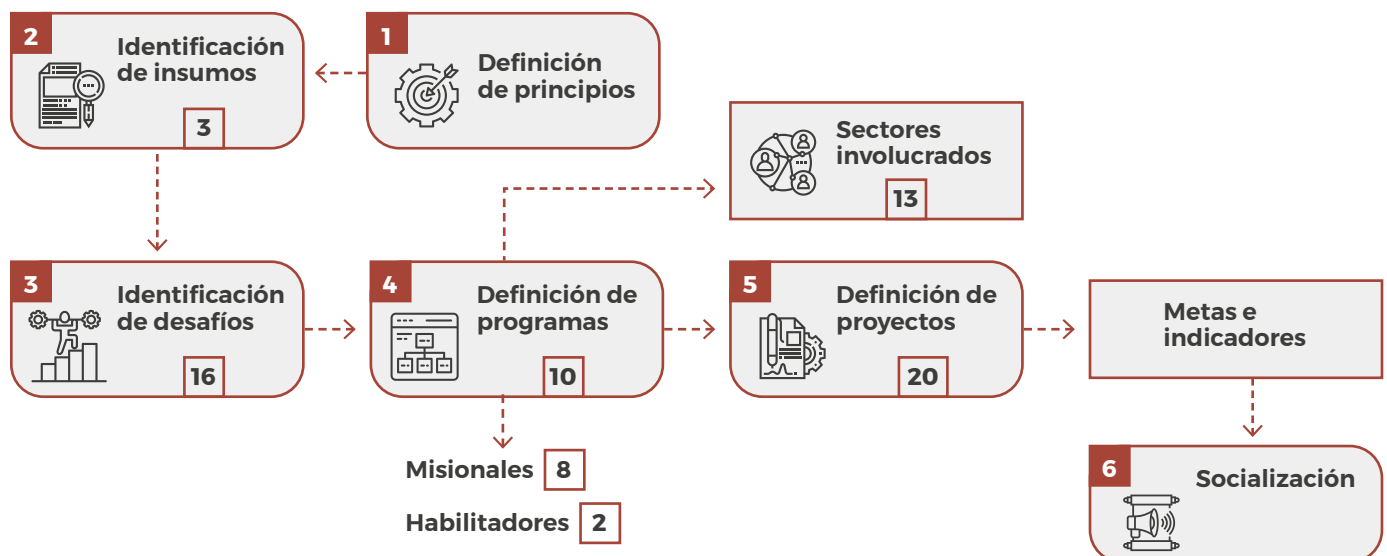
Para aplicar la metodología descrita se organizó un equipo base de trabajo, integrado por miembros de las direcciones técnicas y de las dependencias identificadas como estratégicas para este ejercicio. Este grupo realizó mesas de trabajo, orientadas a identificar la nueva gestión del conocimiento geocientífico. Para eso se les pidió determinar un enfoque actualizado sobre el uso y aprovechamiento de la información básica, un nuevo mapa de aliados e interesados y una estrategia fortalecida de entrega de la información. De manera complementaria, se les requirió replantear la misión, visión y objetivos superiores, aquí denominados misiones, mediante el despliegue de proyectos y el uso de estrategias innovadoras o fortalecidas.

Los resultados obtenidos se validaron durante cuatro talleres que contaron con la participación de la dirección general, la secretaría general y las direcciones técnicas.

La figura 1, que se observa a continuación, describe cada uno de los componentes de la planeación estratégica definidos por el cuerpo directivo y de planeación del SGC, partiendo de los principios y desafíos de los próximos años, para materializarlos a través de los programas y proyectos que definirán las metas e indicadores correspondientes al seguimiento de la ejecución del plan estratégico.



Figura 1. Pasos para la construcción del Plan Estratégico del SGC



1. De acuerdo con Mazzucato (2021), se entienden las misiones como aquellos objetivos sobre los cuales se requiere una toma de decisión de alto nivel en una institución y que son independientes a los cambios en los ciclos políticos y económicos. No debe confundirse con la misión del SGC, de la cual se hablará más adelante.



1

Definición de principios: consistió en precisar las orientaciones y lineamientos a considerar en la construcción de la planeación estratégica, con el fin de establecer, desde el inicio del ejercicio, los propósitos superiores a alcanzar. En ese sentido, se establecieron siete principios relacionados con el bienestar general de la población y una mejor articulación con los accionantes del Estado, los cuales pueden ser consultados en el capítulo Principios de la Planeación Estratégica del SGC.



2

Identificación de insumos: teniendo en cuenta las funciones del SGC y los principios establecidos para la planeación estratégica, se identificaron y analizaron tres tipos de referentes con cobertura nacional e internacional para considerarlos en la identificación de desafíos en los que puede aportar la entidad y en la formulación de los programas y proyectos:



- **Los compromisos** suscritos por el país con organizaciones internacionales como Naciones Unidas, específicamente la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la Nueva Agenda Urbana, el Marco de Sendai, el Convenio de Minamata, el Acuerdo de Escazú y la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural. También, con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en lo referente a las recomendaciones sobre mega-

tendencias que pueden ampliar disparidades entre regiones. Estos compromisos como país pueden ser consultados en el capítulo Contexto Global.



- Las **políticas públicas** en las que el SGC tiene acciones y metas contempladas en el plan de acción y seguimiento, y aquellas políticas que pueden impactar teniendo en cuenta el objetivo y las estrategias planteadas en el mediano y largo plazo. Las políticas que aplican a la entidad se pueden consultar en el subcapítulo políticas públicas.

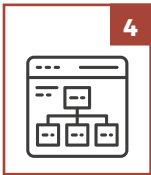


- **El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2022-2026:** “Colombia, potencia mundial de la vida”, plasmado en la Ley 2294 de 2023, considerando sus bases, y el plan plurianual de inversiones, el cual establece los cimientos del cambio en la forma de relacionarnos con el ambiente y en la construcción de una transformación productiva sustentada en el conocimiento y en armonía con la naturaleza. Los temas específicos del PND en los que tiene impacto la entidad pueden ser consultados en el subcapítulo Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026.



3

Identificación de desafíos: a partir del análisis de la documentación mencionada en el numeral anterior, se identificaron los retos técnicos, sociales, ambientales y económicos que enfrenta el país y a los que el SGC puede ayudar a resolver desde su misionalidad. Como resultado, se identificaron 16 desafíos que se detallan en el subcapítulo Desafíos del SGC.



4

Definición de programas: con base en los desafíos a resolver, se establecieron los objetivos a 2032 (marco temporal de la planeación estratégica), los cuales corresponden a las misiones o programas. Para el caso del SGC, se identificaron diez programas: ocho misionales que se enfocan en la contribución a partir del conocimiento geocientífico y nuclear que genera el SGC, y dos habilitadores.

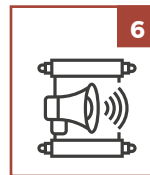
De manera complementaria, se identificaron los sectores que también podrían estar relacionados con el logro de cada misión o programa, teniendo en cuenta que una vez el plan estratégico sea aprobado, hay que buscar una articulación posterior para dar continuidad a la construcción del Plan Nacional de Conocimiento Geocientífico. De esta forma, los desafíos se podrán resolver mediante la colaboración de entidades públicas e incluso de otros actores relevantes. Como resultado, se identificaron trece sectores que pueden ser consultados en el capítulo componente programático.



5

Definición de proyectos: teniendo en cuenta que los desafíos se resuelven mediante proyectos, que en conjunto completan la misión o programa, se procedió a formularlos, detallando los componentes, productos, metas e indicadores de cada uno. El resultado fue un portafolio de 20 proyectos. Esta metodología permitió un enfoque que va del desafío (en la parte superior) a la misión o programa y, finalmente, a inversiones en proyectos específicos, que forman la base.

En relación con las rutas de innovación, el plan contempla definir e implementar una estrategia que oriente la ejecución de los proyectos desde el punto de vista tecnológico, organizacional y social, para lograr la mayor satisfacción posible de los usuarios y, por tanto, la creación de valor público. Para mayor detalle, consultar el capítulo componente programático.



6

Socialización: finalmente, se adelantó la divulgación de los resultados con actores externos a través de grupos de expertos conformados, principalmente, por el sector público y la academia.



An aerial photograph of a rugged mountain range with distinct horizontal geological layers. The scene is bathed in warm, golden light, likely from a low sun. A large, solid orange diagonal shape cuts across the upper right portion of the image. The number '02' is printed in white on this orange shape.

02

Contexto estratégico



Geólogos del SGC reconocen las rocas de la Formación El Carmen en el lecho del arroyo Alférez (El Carmen de Bolívar), una de las mejores secciones estratigráficas de la región Caribe de Colombia para observar rocas cenozoicas.

Contexto global

Estar en un mundo globalizado implica reconocer que los retos y oportunidades a nivel ambiental se deben afrontar con esfuerzos desde todas las latitudes. En nuestro país también se manifiestan los principales problemas ambientales que enfrenta el mundo, como el calentamiento global y la consecuente elevación del nivel de los océanos, la contaminación y degradación del aire y los suelos, la deforestación, la pérdida de biodiversidad, la sequía y la desertificación, el consumo abusivo, la acumulación de residuos o los mares de plástico. Estos son problemas graves, de carácter existencial para la humanidad. Se estima que las pérdidas económicas a nivel mundial ocasionadas por catástrofes naturales en el 2022 llegaron a los 270.000 millones de dó-

lares y el 91 % de esos problemas se generaron en economías en desarrollo (Banco Mundial, 2023).

Las particularidades de Colombia, relacionadas con su ubicación geográfica y la geodiversidad, generan una inmensa complejidad. En uno de los lugares más biodiversos del planeta (ecosistemas de montañas desde muy húmedos hasta secos, sabanas, costas y selvas, la influencia de dos océanos), el cambio climático genera vulnerabilidades relacionadas con el cambio en el régimen de lluvias, inundaciones y procesos de dinámica de la superficie que han generado alto costo en vidas y daños al patrimonio. Los problemas ambientales y climáticos mundiales nos afectan tanto que somos uno de los países más vulnerables ante este tipo de cambios globales, una relación basada en

la interacción entre los procesos exógenos (viento, agua, temperatura) contra las geoformas del paisaje, que se desarrollan en cuerpos rocosos muy frágiles como las cordilleras Central y Occidental, o las rocas sedimentarias que contiene la cordillera Oriental.

El cambio en las corrientes interoceánicas, la variación climática, el calentamiento global, la contaminación y el impacto de la actividad humana sobre suelo, agua y aire son innegables. Estos fenómenos nos obligan a reaccionar y a formular programas, proyectos y acciones que mejoren sustancialmente el entorno.

Por ello, el Plan Estratégico del Servicio Geológico Colombiano (SGC) exige volcar la voluntad institucional más allá de las acciones y políticas del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2022-2026, y articularse con el marco internacional que rige las acciones ambientales y climáticas, haciendo efectivos los objetivos y metas que se plantean para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), las diferentes convenciones como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, también conocida como ONU Cambio Climático) y organizaciones como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONUAA más conocida como FAO - por sus siglas en inglés *Food and Agriculture Organization of the United Nations*).

De manera especial, formulamos proyectos concretos que, al desarrollarse, cumplirán con los objetivos y metas específicos del Marco de Sendai y de los convenios internacionales a los que la nación se ha adherido: Estocolmo, Rotterdam, Viena, Minamata, Basilea, París y Escazú. Este plan también incluye consideraciones del Tratado Antártico, el Protocolo de Montreal, el Protocolo de Kioto y la Agenda COP24.

Sabemos que es un gran reto y somos conscientes de que en el horizonte hay desafíos de diversa índole. Por eso, nuestra entidad se liga a la Política nacional ambiental y desarrolla alianzas con ministerios como los de Agricultura y Desarrollo Rural; Vivienda, Ciudad y Territorio; y Culturas, además de tener en agenda otros como Transporte, Salud y Protección Social y Relaciones Exteriores. También trabaja con buena parte de las universidades del país y otras instituciones, pues quiere responder y ser un instrumento idóneo para lograr cambios reales y oportunos que mejoren las condiciones sociales, culturales y ambientales que existen en el país.

De este modo, identificamos oportunidades a nivel mundial y nacional que revelan líneas, instrumentos y medios de los cuales podemos servirnos y a los que podemos adherirnos. No solo enfrentamos problemas; también existen acciones climáticas y ambientales de gran impacto a nivel global.

Existen oportunidades para explorar e identificar instrumentos que contribuyan a alcanzar la visión formulada en el Plan Estratégico del SGC; por ello, nuestros aportes, mediante estudios y acciones de gestión de conocimiento, difusión y comprensión ciudadana, son y serán importantes en este ámbito. Hacen especial énfasis en mejorar y enfocar la gestión institucional para lograr una mejor respuesta ciudadana, tener una reacción más oportuna, proactiva, y estar conscientes y comprometidos con los modos adecuados de uso y relacionamiento con el suelo, el aire y el agua. Nuestros esfuerzos institucionales apuntan a lograr una mejor gobernanza y a mostrar resultados en la apropiación del conocimiento sobre el territorio por parte de los diferentes actores, en especial las comunidades campesinas y étnicas.

Convención sobre protección del patrimonio mundial, cultural y natural

En la 17.^a reunión de la Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, celebrada en París del 17 de octubre al 21 de noviembre de 1972, se aprobó la **Convención sobre la Protección del**

Patrimonio Mundial, Cultural y Natural. Colombia se adhirió a esta convención mediante la Ley 45 de 1983. En la tabla 1, se presentan los aspectos más relevantes para el SGC y su contribución.



Tabla 1. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con respecto a la convención sobre protección del patrimonio mundial, cultural y natural

Aspectos de interés	Aporte del SGC
<p>Cada parte reconoce la obligación de identificar, proteger, conservar, rehabilitar y transmitir a generaciones futuras el patrimonio cultural y natural situado en su territorio. Para garantizar una protección y una conservación eficaces procurará adoptar una política encaminada a atribuir al patrimonio cultural y natural una función en la vida colectiva e integrar su protección en programas de planificación; instituir servicios de protección, conservación y revalorización; desarrollar estudios e investigación científica y técnica y perfeccionar métodos de intervención que permitan hacer frente a peligros que lo amenacen; adoptar medidas adecuadas para identificar, proteger, conservar, revalorizar y rehabilitar.</p>	<p>El SGC se alinea con estas consideraciones en lo referente a patrimonio geológico y paleontológico, teniendo en cuenta su función de identificar, evaluar y establecer zonas de protección que, debido a la presencia de este tipo de patrimonio, puedan considerarse áreas protegidas. Así mismo, adelanta investigación paleontológica y de colecciones geocientíficas para garantizar su protección.</p>

Nota: basado en “Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural”, por Organización de las Naciones Unidas, 1972.



Paisaje semiárido en el que se ubica el yacimiento paleontológico de reptiles marinos del Cretácico Inferior, en la provincia del Alto Ricaurte (Boyacá).

Tratado Antártico sobre protección del medio ambiente

Este tratado, suscrito en Madrid en 1991, tiene como objetivo el compromiso de las partes en la **protección global del medio ambiente antártico y de los ecosistemas dependientes y asociados**, así como a la designación de la Antártida como reserva natural, consagrada a la paz y a la ciencia. Para este fin, las partes deberán cooperar en la planificación y realización de actividades en el área objeto del tra-

tado. Colombia se adhirió a este tratado mediante la Ley 1880 de 2018 y estableció la realización de actividades científicas en la Antártida a través del artículo 228 del PND “Colombia, potencia mundial de la vida” (Ley 2294 del 19 de mayo de 2023). En la tabla 2, se presentan los aspectos más relevantes para el SGC y su contribución.



Tabla 2. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con respecto al Tratado Antártico

Aspectos de interés	Aporte del SGC
<p>El cambio climático producido por el calentamiento global y otros factores antropogénicos está afectando las corrientes oceánicas y los ecosistemas marinos. La ocurrencia de estos fenómenos y sus efectos colaterales sobre Colombia, como inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales en algunas regiones, así como sequías en otras por un mayor calentamiento en el océano Pacífico, se convierten en la principal razón para entender la participación en escenarios globales donde se genera investigación científica...</p> <p>(...) Actualmente, se avanza en entender las variables y la evolución del cambio climático con el fin de formular estrategias de mitigación y adaptación que permitan hacer frente a esta amenaza que podría afectar al 70 % de personas que viven en litorales y que podrían verse afectados por inundaciones costeras causadas por el descongelamiento del agua.</p>	<p>El SGC proyecta desarrollar investigaciones en la Antártida con el propósito de entender las interacciones entre el océano, el hielo y la tierra para aportar información sobre el cambio climático y su influencia en las zonas polares, templadas y tropicales.</p> <p>Igualmente, se crearán dos grupos de investigación, uno de ellos en paleoclima y cambio climático en donde se harán estudios integrales de las condiciones paleoambientales durante el Cuaternario analizando espeleotemas, glaciales y sedimentos, con miras a comprender las interacciones de agua, suelo, geoforma, roca, clima y vegetación para aportar en las estrategias de adaptación al cambio climático; el otro, en geología oceánica para estudiar la geología y la geomorfología de los fondos marinos.</p>

Nota: basado en Organización de las Naciones Unidas, 1991.

Marco de Sendai para Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030

En la tercera conferencia mundial de la Organización de las Naciones Unidas, celebrada en Sendai (Japón) el 18 de marzo de 2015, se adoptó el objetivo de **prevenir la aparición de nuevos riesgos de desastres y reducir los existentes** mediante la implementación de medidas integradas e inclusivas de índole económica, estructural, jurídica, social, sanitaria, cultural, educativa, ambiental, tecnológi-

ca, política e institucional. Estas medidas buscan prevenir y reducir el grado de exposición a amenazas y la vulnerabilidad ante los desastres, aumentar la preparación para la respuesta y recuperación y reforzar de ese modo la resiliencia (Organización de las Naciones Unidas, 2015). En la tabla 3, se presentan los aspectos más relevantes para el SGC y su contribución.



Tabla 3. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con respecto al Marco de Sendai

Aspectos de interés	Aporte del SGC
<p>Prioridad 1: Comprender el riesgo de desastres. Las políticas y prácticas para gestión del riesgo de desastres deben basarse en una comprensión del riesgo en todas sus dimensiones de vulnerabilidad, capacidad, grado de exposición de personas y bienes, características de amenazas y entorno. Esos conocimientos se pueden aprovechar para evaluación del riesgo previo a desastres, la prevención y mitigación, y la elaboración y aplicación de medidas adecuadas de preparación y respuesta.</p>	<p>El Servicio Geológico Colombiano se alinea con estas directrices, contribuyendo a la comprensión del riesgo de desastres mediante la investigación y evaluación de amenazas y riesgos de procesos de origen geológico, así como con la generación de mapas a escalas adecuadas, apoyándose para ello en instrumentos de medición, toma de datos y análisis y herramientas SIG.</p>
<p>Prioridad 3: Invertir en reducción del riesgo de desastres para la resiliencia. Las inversiones para la prevención y reducción del riesgo de desastres son esenciales para aumentar la resiliencia económica, social, sanitaria y cultural de personas, comunidades, países y sus bienes, así como del ambiente. Es necesario:</p> <ul style="list-style-type: none"> Promover la incorporación de evaluaciones del riesgo de desastres en la elaboración y aplicación de políticas territoriales, incluida la planificación urbana. 	<p>El SGC genera cartografía de amenazas y riesgos por fenómenos de origen geológico a escalas adecuadas. Esto le permite a las entidades territoriales tomar decisiones sobre la reubicación de asentamientos o las medidas de mitigación a ejecutar, las cuales son incorporadas en sus instrumentos de planeación territorial y de gestión del riesgo.</p>

- **Promover la incorporación de la evaluación, representación cartográfica y gestión del riesgo de desastres en la planificación y gestión del desarrollo rural**, determinando zonas seguras para asentamientos humanos y preservando las funciones de ecosistemas que contribuyen a reducir riesgos.
- **Alentar la revisión de códigos y normas de edificación** y prácticas de rehabilitación y reconstrucción, o el desarrollo de nuevos códigos, normas y prácticas.

Así mismo, aporta en la reducción del riesgo de desastres, mediante la elaboración del Modelo Nacional de Amenaza Sísmica para Colombia (MNAS) y la consolidación del Modelo Nacional de Riesgo Sísmico, sirviendo como insumo para la actualización e implementación de la norma de construcción sismo resistente en Colombia.

Prioridad 4: Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y “reconstruir mejor” en ámbitos de recuperación, rehabilitación y reconstrucción.

El crecimiento del riesgo de desastres, incluido el aumento del grado de exposición de personas y bienes, hace necesario fortalecer la preparación, adoptar medidas con anticipación, integrar la reducción del riesgo de desastres en la preparación y asegurar la capacidad de respuesta y recuperación. Es necesario:

- Desarrollar, mantener y fortalecer **sistemas de alerta temprana y predicción de amenazas múltiples** multisectoriales y centrados en personas; mecanismos de comunicación de emergencias y riesgos de desastres; tecnologías sociales y sistemas de telecomunicaciones para supervisión de amenazas, así como promover el uso de equipo e instalaciones de bajo costo y ampliar canales de difusión.

El SGC contribuye con el mantenimiento y fortalecimiento de un sistema de alerta temprana y de seguimiento mediante la implementación de un sistema de información de amenazas y riesgos de origen geológico. Este contiene datos de las estaciones de la red sísmica nacional, monitoreo volcánico y de deformación de la corteza. Así mismo, cuenta con los canales de difusión respectivos.

Nota: basado en Organización de las Naciones Unidas, 1991.



Avenida torrencial de la quebrada El Mono, en el municipio de Chaparral (Tolima).

Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible



Los ODS son un conjunto de acuerdos mundiales que se materializan en 17 objetivos destinados a adoptar medidas para **poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar la vida de manera sostenible** para las generaciones futuras. Estos objetivos se desarrollan en el marco de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, aprobada en septiembre de 2015 en la Cumbre de Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, y entraron en

vigencia desde el 1 de enero de 2016. El país definió la estrategia para la implementación de los ODS a través del CONPES 3918 de 2018, en el cual se establecieron las metas para su cumplimiento, incluyendo indicadores, entidades responsables y recursos requeridos. En este contexto, el SGC contribuye al cumplimiento de las metas establecidas para 12 de los 17 ODS (tabla 4).







Tabla 4. Contribución del Servicio Geológico Colombiano a la Agenda 2030

ODS	Meta trazadora	Indicador	Aporte del SGC
 <p>1 FIN DE LA POBREZA</p>	<p>1.5. Fomentar la resiliencia a desastres ambientales, económicos y sociales</p>	<ul style="list-style-type: none"> Mortalidad nacional causada por eventos recurrentes Tasa de personas afectadas a causa de eventos recurrentes 	<ul style="list-style-type: none"> Conocimiento sobre amenaza y riesgo de origen geológico
 <p>2 HAMBRE CERO</p>	<p>2.4. Producción sostenible de alimentos y prácticas agrícolas resilientes</p>	<ul style="list-style-type: none"> Participación de la producción agrícola que cumple con criterios de crecimiento verde 	<ul style="list-style-type: none"> Conocimiento sobre minerales o materiales geológicos que sirven como fertilizantes y para recuperar el suelo Riego a partir de aguas subterráneas
 <p>3 SALUD Y BIENESTAR</p>	<p>3.4. Reducir la mortalidad por enfermedades no transmisibles</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tasa de mortalidad prematura por cáncer en adultos 	<ul style="list-style-type: none"> Medicina nuclear: calibración de equipos para radiología convencional, tomografía axial o mamografía; detección de células cancerosas

	<p>3.9. Reducir las enfermedades y muertes causadas por productos químicos peligrosos y contaminación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de mortalidad prematura por enfermedades crónicas en vías respiratorias inferiores • Incidencia de intoxicaciones por sustancias químicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios en geoquímica ambiental y geología médica sobre elementos químicos que pueden llegar a causar daños al ambiente o la salud • Evaluación sobre presencia de mercurio en agua, sedimentos activos y biota • Determinación de contaminación por radionúclidos: cantidades muy pequeñas de materiales radiactivos presentes en agua, suelos y alimentos • Estudios de contaminación de origen geológico de las aguas subterráneas
	<p>5.C. Adoptar políticas y hacer cumplir la legislación que promueve la igualdad de género</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Brecha de ingreso mensual promedio entre hombres y mujeres 	<ul style="list-style-type: none"> • Promover la participación equitativa de mujeres en la investigación • Desarrollar programas de divulgación y educación ambiental en torno al patrimonio geológico, enfocados en empoderar a mujeres y niñas como líderes y gestoras de la conservación del patrimonio natural y cultural de sus territorios

 <p>6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO</p>	<p>6.4. De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 6.4.2 Nivel de estrés por escasez de agua: extracción de agua dulce como proporción de los recursos de agua dulce disponibles 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento del comportamiento de las aguas subterráneas
 <p>7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE</p>	<p>7.2. Aumentar el porcentaje global de energía renovable</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de capacidad instalada de generación de energía eléctrica que corresponde a fuentes renovables 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación en fuentes energéticas como el hidrógeno blanco, la geotermia y otras • Investigación en nuevos materiales para la transición energética justa
 <p>8 TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO</p>	<p>8.2. Diversificar, innovar y mejorar la productividad económica</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento anual del Producto Interno Bruto (PIB) real por persona empleada 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación del potencial minero para un mejor aprovechamiento • Investigación en fuentes energéticas y nuevos materiales
 <p>9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA</p>	<p>9.4. Mejorar todas las industrias e infraestructuras para la sostenibilidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidad de emisiones de CO₂ de las industrias manufactureras respecto a valor agregado de la industria manufacturera 	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización y análisis de factibilidad de almacenamiento de CO₂ de diferentes fuentes

 <p>9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA</p>	<p>9.5. Aumentar la investigación y actualizar las tecnologías industriales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión pública en I & D de importancia para el crecimiento verde 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigaciones sobre cambio climático, ciclo del agua y evaluación del potencial minero para un aprovechamiento factible, rentable y socioambientalmente manejable
 <p>11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES</p>	<p>11.4. Proteger el patrimonio cultural y natural del mundo</p> <p>11.5. Reducir los efectos adversos de los desastres naturales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Miles de hectáreas de áreas protegidas • Mortalidad nacional causada por eventos recurrentes • Tasa de personas afectadas a causa de eventos recurrentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación, evaluación y establecimiento de zonas de protección del patrimonio geológico y paleontológico • Conocimiento sobre geología, recursos del subsuelo y amenazas geológicas
 <p>12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES</p>	<p>12.4. Gestión responsable de productos y residuos químicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos peligrosos aprovechados y tratados 	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de residuos peligrosos de acuerdo con la normatividad ambiental vigente • Estudios geometalúrgicos y geoambientales para el aprovechamiento mineral de modo ambientalmente manejable
 <p>13 ACCIÓN POR EL CLIMA</p>	<p>13.1. Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los desastres relacionados con el clima</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mortalidad nacional causada por eventos recurrentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento sobre geología, recursos del subsuelo y amenazas geológicas

	<p>13.3. Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tasa de personas afectadas a causa de eventos recurrentes 	<ul style="list-style-type: none"> Promoción de la conservación del patrimonio geológico como una herramienta para preservar registros climáticos y geológicos valiosos para la investigación y la planificación climática, así como para la gestión de geoamenazas
	<p>16.10. Garantizar el acceso público a la información y proteger las libertades fundamentales</p>	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de sujetos obligados incluidos en el Formulario Único Reporte de Avances de la Gestión (FURAG) que avanza en implementación Ley de Transparencia y del Derecho de Acceso a la Información Pública Nacional 	<ul style="list-style-type: none"> Implementación de la Ley de transparencia y acceso a la información pública Facilitar el acceso a información geocientífica y sobre el patrimonio geológico a comunidades y grupos de interés, empoderándolos con conocimiento para participar de manera informada en procesos de toma de decisiones relacionados con el territorio y sus recursos

Nota: basado en información publicada por el Departamento Nacional de Planeación. Recuperado el 15 de noviembre de 2023 de <https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos>. En el dominio público.



Secuencia rítmica de limolitas rojizas y areniscas cuarzosas, dispuestas en capas muy gruesas y medias de la Formación Caja, en el municipio de Aguazul (Casanare).

Nueva Agenda Urbana

La Nueva Agenda Urbana fue adoptada en la tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos **Hábitat III**, realizada en Quito (Ecuador) del 17 al 20 de octubre de 2016. Su propósito es **impulsar el desarrollo de ciudades y asentamientos humanos durante** los próxi-

mos 20 años y establecer estándares, principios y compromisos para la planificación, construcción, desarrollo, gestión y mejora de las áreas urbanas (Organización de las Naciones Unidas, 2017b). En la tabla 5, se presentan los aspectos más relevantes para el SGC y su contribución.



Tabla 5. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con la Nueva Agenda Urbana

Aspectos de interés	Aporte del SGC
<p>Entre los compromisos de transformación en pro del desarrollo urbano sostenible, se destacan:</p> <p>Desarrollo urbano sostenible en pro de la inclusión social y erradicación de la pobreza</p> <ul style="list-style-type: none"> Aprovechar de forma sostenible el patrimonio natural y cultural en ciudades y asentamientos humanos mediante políticas urbanas y territoriales integradas e inversiones adecuadas en planes para salvaguardar y promover infraestructuras y sitios culturales, museos, culturas e idiomas indígenas. 	<p>El Servicio Geológico Colombiano contribuye con el desarrollo urbano sostenible, específicamente en el aprovechamiento de forma sostenible del patrimonio natural y cultural, mediante la realización de actividades e investigaciones para implementar políticas de protección del patrimonio geológico y paleontológico del país y mediante el establecimiento de zonas de protección de patrimonio geológico y paleontológico.</p>
<p>Prosperidad urbana sostenible e inclusiva y oportunidades para todos</p> <ul style="list-style-type: none"> Se reconoce que la configuración urbana, la infraestructura y el diseño de edificios se cuentan entre los factores más importantes impulsores de la eficiencia de costos y el uso de recursos, a través de los beneficios de economías de escala y aglomeración y mediante el fomento de eficiencia energética, energía renovable, resiliencia, productividad, protección del ambiente y crecimiento sostenible de la economía urbana. 	<p>La entidad contribuye con la prosperidad urbana sostenible e inclusiva a través de la generación de conocimiento que promueve el uso de energía no contaminante y el uso sostenible de la tierra y los recursos en el desarrollo urbano.</p>

Desarrollo urbano resiliente y ambientalmente sostenible

- La forma en que las ciudades se planifican y gestionan tiene repercusiones directas en la sostenibilidad y resiliencia. Los centros urbanos suelen ser vulnerables ante efectos adversos del cambio climático y peligros naturales y antropogénicos, escasez del agua y contaminación del agua y aire.
- Facilitar la ordenación sostenible de recursos naturales en ciudades y asentamientos de forma que proteja y mejore ecosistemas urbanos y servicios ambientales, reduzca emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación del aire y promueva la reducción y gestión del riesgo mediante evaluaciones periódicas por peligros naturales y antropogénicos.
- Fortalecer la resiliencia mediante planificación espacial, desarrollo de infraestructuras de calidad, adopción y aplicación de políticas y planes integrados y enfoques basados en ecosistemas, así como mediante la incorporación de perspectiva holística fundamentada en datos sobre la gestión y reducción del riesgo.

El SGC aporta al desarrollo urbano resiliente y ambientalmente sostenible mediante la generación de conocimiento geocientífico que contribuye a la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos, a la reducción y gestión del riesgo de desastres por fenómenos de origen geológico o geoquímico, a la escasez del agua mediante investigación en su ciclo enfocado en la parte subterránea y a la contaminación de aire, agua, suelo y subsuelo.

Nota: basado en Organización de las Naciones Unidas, 2016.

Convenio de Minamata sobre el Mercurio

El Convenio de Minamata sobre el Mercurio fue adoptado en la Conferencia de Plenipotenciarios de la Organización de las Naciones Unidas el 10 de octubre de 2013 y entró en vigor el 16 de agosto de 2017. De acuerdo con esta organización (Organización de las Naciones Unidas, 2017a), su objetivo es **proteger la salud humana y el ambiente de las emisiones y liberaciones antropogénicas de mercurio y compuestos de mercurio**. Colombia se adhirió a este convenio el 26 de agosto de 2019.

El Plan de acción nacional sobre mercurio en la minería artesanal y de pequeña escala de oro en Colombia (conforme al artículo 7 del Convenio de Minamata) consta de nueve estrategias de acción. El SGC participa en cuatro de ellas: 1) Eliminación de peores prácticas, 3) Reducción de emisiones, liberaciones y riesgos de exposición, 6) Participación de los grupos de interés en la aplicación y el

perfeccionamiento del Plan de acción nacional de mercurio y 7) Divulgación, promoción y apropiación social del conocimiento de los mineros dedicados a la minería artesanal y de pequeña escala de oro (tabla 6). El SGC lidera la estrategia tres mediante la realización de proyectos de investigación en áreas prioritizadas por la presencia de actividades mineras de oro de manera artesanal y de pequeña escala, que suelen impactar de manera negativa a la salud ambiental y humana en los territorios del país.

El SGC también participa en el desarrollo del artículo ocho del convenio a través de la realización de estudios encaminados a generar conocimiento sobre fuentes generadoras de emisiones no intencionales de mercurio en el territorio nacional, mediante la caracterización del contenido de mercurio en los carbones colombianos.



Tabla 6. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con el Convenio de Minamata

Aspectos de interés	Aporte del SGC
<p>Entre las medidas se destaca el control del suministro y comercio de mercurio con el fin de imponer limitaciones a determinadas fuentes de mercurio, como la extracción primaria del mineral; control a productos con mercurio añadido y procesos de fabricación en los que se utiliza mercurio o sus compuestos; fiscalización a la extracción de oro artesanal y en pequeña escala; almacenamiento provisional ambientalmente racional del mercurio, sus desechos y sitios contaminados.</p>	<p>El SGC aporta mediante la investigación de alternativas para mejorar el proceso de beneficio de oro y disposición de residuos mineros, con el fin de aportar conocimiento para optimizar los procesos productivos, reducir sus impactos y mejorar la salud de la población expuesta y apoyar en la transición a una economía más verde y justa. De manera complementaria, la huella mineral del oro contribuye con la trazabilidad de la cadena de extracción, beneficio y comercialización del oro al permitir rastrear su sitio de origen y la utilización de mercurio en sus procesos de beneficio.</p>

Nota: basado en Organización de las Naciones Unidas, 2016.

Acuerdo de Escazú

El Acuerdo de Escazú es un tratado internacional adoptado en Escazú (Costa Rica) el 4 de marzo de 2018. Su propósito es garantizar la implementación plena y efectiva de los derechos de **acceso a la información ambiental**, la participación pública en los procesos de toma de decisiones ambientales y el

acceso a la justicia en asuntos ambientales. Además, promueve la creación y el fortalecimiento de las capacidades y la cooperación, contribuyendo a la protección del derecho de cada persona, de generaciones presentes y futuras, a vivir en un medio ambiente sano y al desarrollo sostenible. Colombia se adhirió a este acuerdo mediante la expedición de la Ley 2273 de 2022. En la tabla 7, se presentan los aspectos más relevantes para el SGC y su contribución.



Tabla 7. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con el Acuerdo de Escazú

Aspectos de interés	Aporte del SGC
<p>Derecho del público de acceder a información ambiental: principio de máxima publicidad. Facilitar el acceso a las personas o grupos en situación de vulnerabilidad, estableciendo procedimientos de atención, así como asistencia para el caso de pueblos indígenas y grupos étnicos.</p>	<p>El SGC dispone al público en su sitio web, de manera sistemática y oportuna, la información y el conocimiento geocientífico que genera. Adicionalmente, cuenta con estrategias de comunicación y de apropiación social del conocimiento.</p>

<p>Generación y divulgación de información ambiental: disposición y difusión sistemática, oportuna, regular, accesible y comprensible; así como su actualización y desagregación subnacional y local. Los sistemas de información ambiental incluyen el listado de entidades con competencia ambiental, áreas de actuación y zonas contaminadas; información sobre uso y conservación de recursos naturales y servicios ecosistémicos; informes, estudios e información científica y técnica ambiental de diferentes actores y fuentes sobre cambio climático.</p>	<p>El SGC hace parte del listado de entidades con competencia ambiental y, en tal sentido, aportará investigaciones y estudios sobre el ciclo del agua, los riesgos e impactos ambientales y a la salud humana de carácter geoquímico, la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos.</p>
<p>Registro de emisiones y transferencia de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo y de materiales y residuos: tomar medidas para establecer el registro bajo su jurisdicción.</p>	<p>El SGC aporta información en el registro y listado de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, a partir de los estudios e investigaciones científicas que adelanta.</p>
<p>En caso de amenaza inminente a la salud pública o ambiente: autoridad competente debe divulgar de forma inmediata y por los medios más efectivos información relevante que se encuentre en su poder y que permita al público tomar medidas para prevenir o limitar eventuales daños. Así mismo, se debe desarrollar e implementar un sistema de alerta temprana utilizando los mecanismos disponibles.</p>	<p>La entidad facilita el acceso a información ambiental relacionada con riesgos ambientales y posibles impactos adversos asociados que afecten o puedan afectar el ambiente y la salud, así como la relacionada con la protección y la gestión ambiental en relación con procesos geológicos.</p>
<p>Participación pública en toma de decisiones relativa a proyectos o actividades que puedan tener impacto significativo sobre el ambiente: garantizar mecanismos de participación y establecer condiciones para que se adecúe a sus características sociales, económicas, culturales, geográficas y de género; promoviendo valoración del conocimiento local, diálogo e interacción de visiones y saberes.</p>	<p>La entidad implementa una estrategia para promover la articulación intersectorial y la apropiación social del conocimiento geocientífico y la ciencia contributiva que busca identificar y consolidar el conocimiento local y las diferentes visiones y saberes.</p>
<p>Fortalecimiento de capacidades: formar y capacitar en derechos de acceso y en asuntos ambientales a las autoridades y los funcionarios públicos.</p>	<p>El SGC incluirá esta temática en su plan anual de capacitación de talento humano.</p>

Megatendencias

Las megatendencias son fuerzas derivadas de profundas tendencias socioeconómicas, ambientales, tecnológicas y políticas que influyen en el desarrollo de las economías y las sociedades.

De acuerdo con Hill et al. (2020), organizaciones de servicios geológicos de 15 países, entre los que se encuentran Canadá, Dinamarca, Finlandia, Alemania, Rusia, Reino Unido y Estados Unidos, adelantan diversas actividades dirigidas a investigar energía, minerales y agua, evaluar amenazas, proteger y restaurar el ambiente, y mejorar la salud pública y la in-

geniería, con el fin de satisfacer las necesidades de las partes interesadas. En relación con la visión y el futuro de estas organizaciones, es necesario revisar las megatendencias globales para comprenderlas e imaginar cómo responderán a un presente que cambia rápidamente y a un futuro incierto. Esto es especialmente relevante dado que, mientras las tendencias demográficas son predecibles, las respuestas sociales al cambio lo son menos y el cambio tecnológico es disruptivo.

A continuación, se describen las actividades actuales y las tendencias de estas organizaciones, y se analiza el avance del SGC en comparación con ellas (tabla 8).



Tabla 8. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con respecto a referentes internacionales

Referentes internacionales Servicios geológicos	Alineación del SGC
Estado actual	
<p>Las organizaciones de servicios geológicos adelantan actividades como:</p> <ul style="list-style-type: none"> Mapas geológicos y geomorfológicos. 	<p>El SGC cuenta con cartografía geológica y geomorfológica del país a diferentes escalas. La cobertura geológica a escala 1:100.000 corresponde a cerca del 72 %, lo que comprende la totalidad de territorio cartografiable a esta escala. Esta tendrá sus respectivos ajustes, pero el SGC enfocará sus esfuerzos en cartografías más detalladas, correspondiente a 1:25.000 o más, acordes a las necesidades de las investigaciones.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Evaluación potencial de recursos para metales, minerales industriales y fuentes de energía. 	<p>La entidad evalúa el potencial de recursos minerales, de energías no convencionales y de gas natural en escenarios de transición energética.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Comprensión y mitigación de peligros geológicos, cambio climático y ambiental. 	<p>La entidad realiza estudios e investigaciones en amenaza y riesgo sísmico, así como estudios por movimientos en masa y avenidas torrenciales a escalas detalladas (1:25.000, 1:5000 y 1:2000).</p>

	Adicionalmente, el SGC realiza evaluaciones de riesgos e impactos ambientales y a la salud humana de origen geoquímico, y avanza con investigaciones detalladas relacionadas con el ciclo del agua, el cambio climático y la geología oceánica.
<ul style="list-style-type: none"> • Colecciones y bases de datos geológicas, cartografía, estudios geofísicos y geoquímicos dirigidos a energía, minerales, agua, peligros, protección y restauración del ambiente, salud pública e ingeniería. 	El SGC ha avanzado en la elaboración del atlas geoquímico, el mapa geofísico y el mapa metalogénico de Colombia, los cuales sirven como insumo para el desarrollo de otros estudios como diagnósticos y monitoreos ambientales, identificación y caracterización de amenazas geológicas, evaluaciones de potencial mineral, componentes del subsuelo y aguas subterráneas, entre otros. También en la investigación de la distribución regional del calor del subsuelo y en la estimación del potencial geotérmico del país.
Tendencias	
<p>Se observan las siguientes tendencias por parte de las organizaciones de servicios geológicos (Smellor, 2020):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un mayor énfasis en el uso del suelo y de aguas subterráneas frente a la creciente urbanización. 	El SGC adelanta investigaciones sobre aguas subterráneas y aporta metodologías y estudios sobre amenaza y riesgo a escalas adecuadas para la planificación del uso del suelo por parte de entidades territoriales.
<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de paradigma: del impulso que las ciencias geológicas han dado a las industrias extractivas hacia fuentes renovables de energía con un fuerte apoyo TIC. Las economías basadas en la energía serán potencialmente disruptivas. 	La entidad actualmente investiga sobre áreas con potencial geotérmico y en su proyección a 10 años profundizará en alternativas de uso del recurso, además de avanzar en el conocimiento del hidrógeno blanco como alternativa energética.
<ul style="list-style-type: none"> • La sostenibilidad es clave en las políticas frente a la degradación ambiental y el cambio climático. 	El SGC investiga sobre contaminación del suelo y subsuelo e inició investigaciones en cambio climático, ciclo del agua y geología oceánica.
<ul style="list-style-type: none"> • Intensificación del monitoreo de sistemas geológicos y el desarrollo de capacidades en geociencia predictiva que incluya integración masiva de datos y modelamiento de procesos geológicos, teniendo en cuenta el contexto social. 	El Servicio Geológico Colombiano cuenta con tres redes de monitoreo: la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC), la red de monitoreo volcánico y la red de investigación y monitoreo de la deformación de la corteza terrestre (Geored).

<ul style="list-style-type: none"> • Afianzamiento de tecnologías de vigilancia del sistema terrestre y sistemas integrados de gestión de datos. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Uso de sistemas de inteligencia artificial para manipular grandes volúmenes de datos y modelos de sistemas terrestres. 	<p>Actualmente, el SGC adelanta proyectos para optimizar el uso y la accesibilidad a los datos, por medio de la matematización de los mismos. Se adelantan procesos de creación de programas para el manejo de datos.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Metodologías integradoras que tengan potencial para mejorar la cartografía geológica, mediante predicciones remotas a partir de la integración de datos de instrumentos aéreos y satelitales. 	<p>El SGC cuenta con una sala de geomática y con equipos e información suficiente para efectuar cartografía geológica en tres dimensiones.</p>

Nota: basado en OCDE, 2019.

Es importante resaltar que algunos servicios geológicos referentes a nivel mundial ya cuentan con áreas misionales o programas alineados con estas tendencias globales y que responden a las necesidades actuales de la población, más que a las que se tenían en el momento de creación. El Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), por ejemplo, contempla áreas misionales para el estudio de los ecosistemas, recursos energéticos y minerales, amenazas naturales y agua. En estas áreas se incluyen programas de investigación y desarrollo climático, adaptación al cambio climático, amenazas biológicas a los ecosistemas, salud ambiental (contaminantes y patógenos ambientales), evaluación de los efectos ambientales y socioeconómicos de la aparición, producción y uso de recursos energéticos, recursos y procesos costeros y oceánicos, y el monitoreo de calidad y cantidad del agua.

En Europa, el Servicio Geológico Británico (BGS, por sus siglas en inglés) —primer servicio geológico constituido como organismo independiente en el mundo— en su plan estratégico 2023-2028 contempla cuatro prioridades científicas: mapas y modelos para el siglo XXI, transición energética más segura, mejora de la seguridad hídrica y de la vida frente a las amenazas geológicas. Estas prioridades se abordan junto con tres desafíos para garantizar un planeta más seguro, sostenible y

próspero: descarbonización y manejo de recursos, riesgos múltiples y resiliencia, y cambio climático, adaptación y resiliencia.

En el caso de los servicios geológicos sudamericanos —al igual que en varios de los de los países de África y Asia— la mayoría aún conserva, como una de sus misiones, el impulso a la actividad minera, una labor que se deriva del objeto mismo de su creación sobre la primera parte del siglo XX (Calvo, 2008). De los 11 servicios geológicos del subcontinente suramericano, nueve corresponden a servicios geológicos mineros, servicios nacionales de geología y minería o, incluso, direcciones de minería y metalurgia.

No obstante, la orientación de estas instituciones, al igual que en el resto del mundo, está cambiando y tiende a concentrarse en la mejora de la calidad de vida y el desarrollo sostenible a partir de soluciones basadas en el conocimiento geocientífico. El Servicio Geológico de Brasil (SGB), por ejemplo, en su plan estratégico para 2023-2027 contempla la ejecución de proyectos en geología marina, estudios hidrológicos asociados a condiciones climáticas o eventos extremos y acciones antropogénicas sobre el medio físico, así como prospecciones y estudios encaminados a la ordenación y desarrollo territorial en el ámbito de los estudios geológico-ambientales y de recuperación ambiental de áreas degradadas por la minería.



El volcán Nevado del Ruiz presenta un índice de explosividad de 3 a 4 (en una escala de 0 a 8). Sus erupciones implican la expulsión de material piroclástico y gases a altas velocidades y temperaturas.

Contexto nacional

Colombia es un país con una alta complejidad tectónica y estructural, caracterizado por tres cadenas montañosas que constituyen el extremo norte de la cordillera de los Andes. Ubicado en la esquina noroccidental de Sudamérica, su territorio es el resultado de la convergencia de cuatro placas tectónicas (Nazca, Suramericana, Caribe y Cocos) y varios bloques geológicos acuñados entre ellas, lo que da lugar a una actividad orogénica constante. Esta condición particular potencia la generación de procesos de origen geológico que, por una parte, nos permiten tener recursos minerales y energéticos, así como sistemas volcánicos que se relacionan con fertilidad o geotermia, pero, por otro lado, implican amenazas para poblaciones asentadas inadecuadamente o en construcciones o infraestructuras vulnerables.

Las amenazas por fenómenos geológicos se encuentran entre un amplio espectro de factores que deben ser considerados para no poner en riesgo el desarrollo del país, junto con las crisis económicas globales, el cambio climático, la degrada-

ción ambiental, la desigualdad social y el conflicto armado (CONPES 4069, 2021).

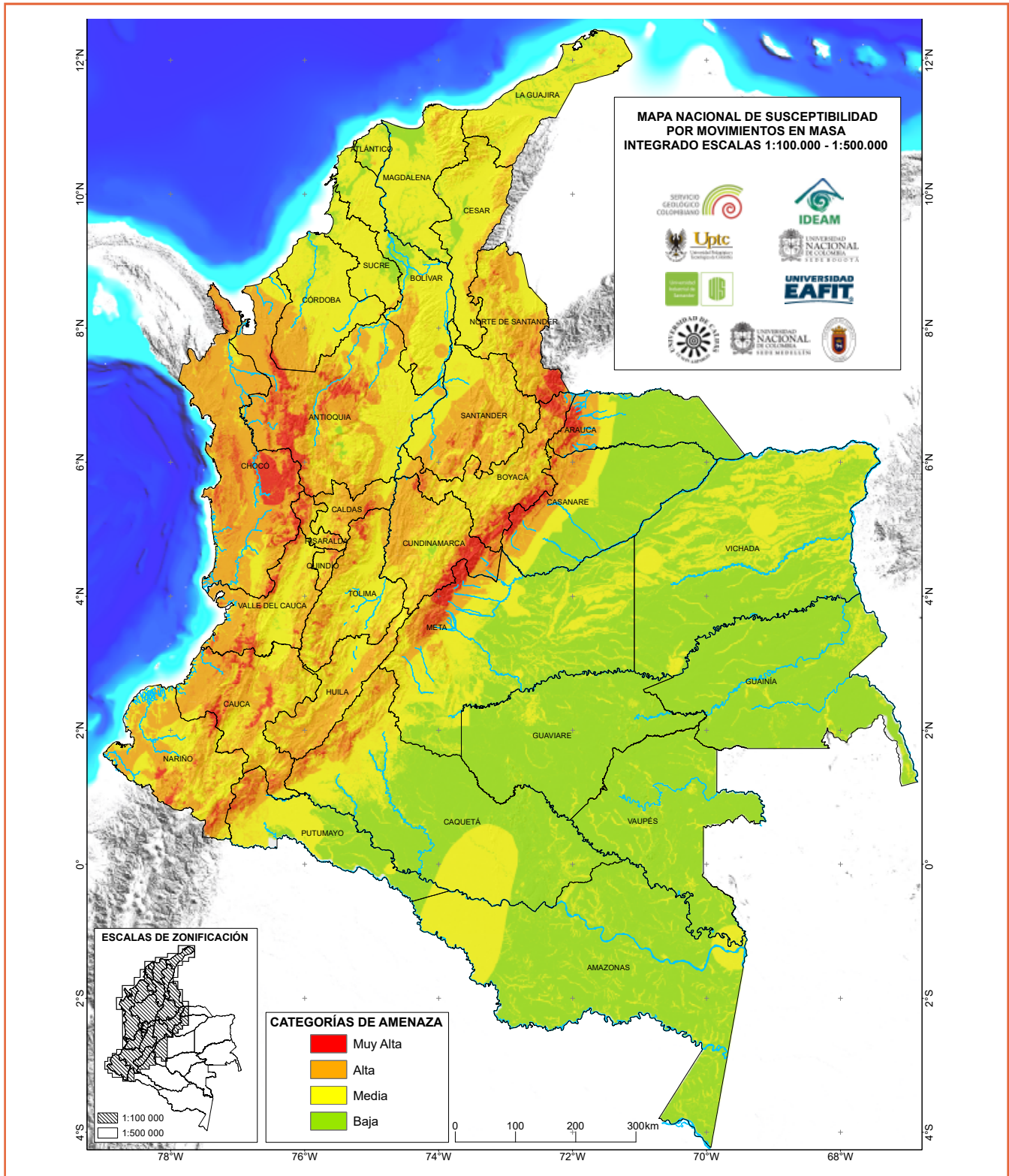
Las características del territorio colombiano lo hacen propenso a una mayor ocurrencia de movimientos en masa (mapa 1), así como de inundaciones y avenidas torrenciales. En total, 32,6 millones de hectáreas se encuentran en condiciones de amenaza por este tipo de fenómenos, lo que equivale al 29 % del territorio nacional. Además, el 1 % de la población está expuesta a amenaza volcánica alta y media.

Con respecto a la amenaza sísmica, el 55 % del territorio de Colombia puede experimentar movimiento de fuerte a muy severo y las zonas de mayor amenaza concentran el 94 % de la población urbana, así como las principales obras de infraestructura. En cuanto a la amenaza de tsunamis, el 9 % de la población del país está expuesta: un 2 % en el Pacífico y un 7 % en el Caribe.

Aunque este mapa no es suficiente para la toma de decisiones sobre el ordenamiento territorial mu-



Mapa 1. Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa a escala 1:100.000



Nota: basado en información contenida en el Sistema de Información de Movimientos en Masa, 2023. Recuperada de <https://simma.sgc.gov.co/#/public/basic/>. Elemento de dominio público.

nicipal, muestra en forma general la configuración colombiana respecto a la ocurrencia de movimientos en masa, principalmente en gran parte de la zona andina. También, orienta al nivel regional y nacional sobre prioridades y tipos de acciones de reducción y respuesta.

De igual manera, de acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2017), en 2040, el 84 % del territorio nacional presentará riesgos medios y altos por cambio climático que afectarán a las poblaciones más vulnerables.

Por otra parte, el informe sobre clima y desarrollo del país, elaborado por el Grupo Banco Mundial (Grupo Banco Mundial, 2023) indica que:

Colombia enfrenta riesgos más altos que los países comparables (gráfico R 1). La frecuencia de los desastres relacionados con el clima viene au-

mentando en las últimas décadas y las proyecciones climáticas sugieren que en el futuro cada vez más personas serán afectadas por inundaciones y deslizamientos de tierra, subirá el nivel del mar y la cantidad de días muy calurosos aumentará drásticamente. Estos cambios provocarán daños costosos a la infraestructura, interrupciones en la generación de electricidad, pérdidas de capital humano, impactos en la salud humana y en la productividad laboral, pérdidas agrícolas y riesgos financieros. Según los modelos realizados para este informe, cuando se consideran los daños al capital físico y la productividad, se concluye que, si no se realizan inversiones en adaptación, para 2050 el cambio climático reducirá el producto interno bruto (PIB) del país entre un 1,5 % y un 2,5 %, como mínimo (p.v.).

La figura 2 muestra una clasificación de riesgos asociados a fenómenos naturales que se pueden ver alterados por el cambio climático.



Figura 2. Informe sobre clima y desarrollo



Nota: tomado de Climate Analytics, 2022; Kulp y Strauss, 2019; Rentschler y Salhab, 2020; Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), 2015; Banco Mundial, 2022a, 2022d, 2022e, Informe sobre Clima y Desarrollo, Grupo Banco Mundial, julio de 2023.

De otro lado, en los últimos 20 años, y en general, el país ha presentado avances en sus indicadores económicos, sociales e institucionales (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2022). Sin embargo, al comparar con América Latina y el Caribe, el comportamiento es variable. Por ejemplo, en 2019, el PIB per cápita de Colombia fue de USD \$6390 frente a USD \$8657 de América Latina y

el Caribe. En cuanto a la inversión en actividades de ciencia, tecnología e innovación, el indicador muestra desempeños similares a los que existían en los albores del siglo XXI. En la tabla 9, se muestran algunos indicadores que pueden ser afectados por el cumplimiento de las funciones a cargo del SGC.



Tabla 9. Avances de Colombia en los últimos 20 años con respecto a indicadores relevantes para la formulación del Plan Estratégico

Indicador	Línea base	Dato reciente
Población pobre por ingresos (millones de personas)	20,31 (2002)	17,47 (2019)
Hogares con acceso a servicio de gas natural conectado a red pública (%)	35,9 (2003)	65,8 (2020)
Superficie de áreas protegidas marina y terrestre (millones de hectáreas)	16,24 (2000)	31,8 (2020)
Capacidad instalada a partir de fuentes de generación eólicas y solares (MW)	0 (2001)	28 (2018)
PIB per cápita (USD)	3.966 (2001)	6.390 (2019)
Inversión en actividades de ciencia, tecnología e innovación (% del PIB)	0,48 (2010)	0,87 (2019)

Nota: tomado de DNP, 2022.

A continuación, se describe de manera general la situación del país en temas sociales y de innovación. Estos aspectos deben ser la base para identificar acciones institucionales que el SGC puede reforzar o iniciar en el territorio nacional.

Vulnerabilidad social

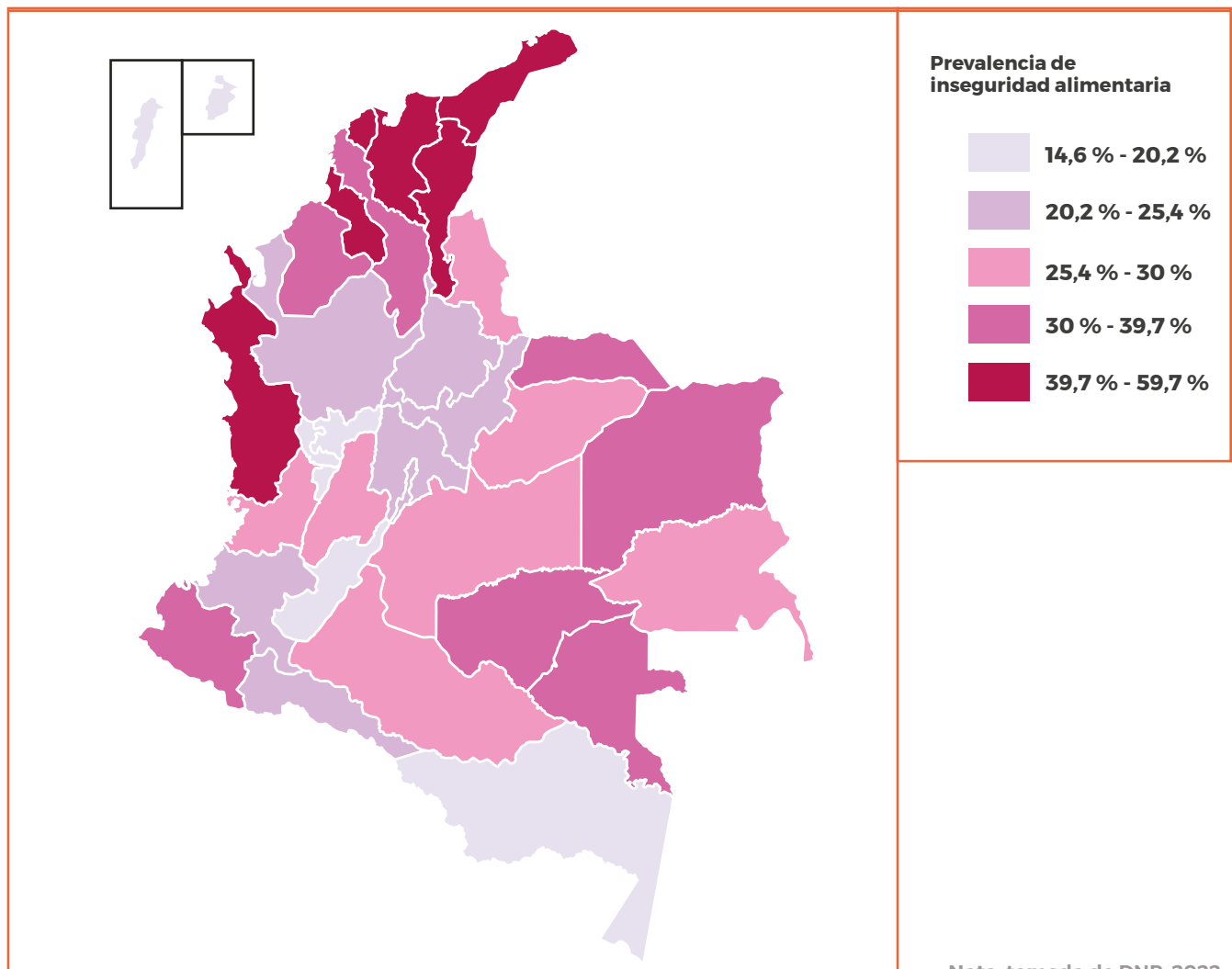
En los últimos dos años, Colombia ha sido afectada de manera recurrente por fenómenos asociados a eventos geológicos. En términos generales, los deslizamientos y las inundaciones son los eventos climáticos que han generado los mayores daños materiales y pérdidas de vidas humanas (Ayala, 2023),

afectando al menos a 21,5 millones de personas y destruyendo cerca de 15 mil viviendas.

Todo esto sucede en un panorama social en el que cerca del 33 % de los habitantes tiene problemas de moderados a graves para acceder a los alimentos en términos de cantidad y calidad, con situaciones muy críticas como las evidenciadas en La Guajira (77,2 %), Sucre (58,3 %), Magdalena (55,7 %), Chocó (53,5 %), entre otros (mapa 2). Para 2023, la tasa de desempleo para el mes de junio se situó en 9,3 %, mientras que la de ocupación fue del 58,3 %. De la misma manera, la pobreza monetaria alcanzó el 39,3 %, mientras que la pobreza monetaria extrema afectó cerca del 12,2 % de los habitantes del país.



Mapa 2. Prevalencia de la inseguridad alimentaria en hogares



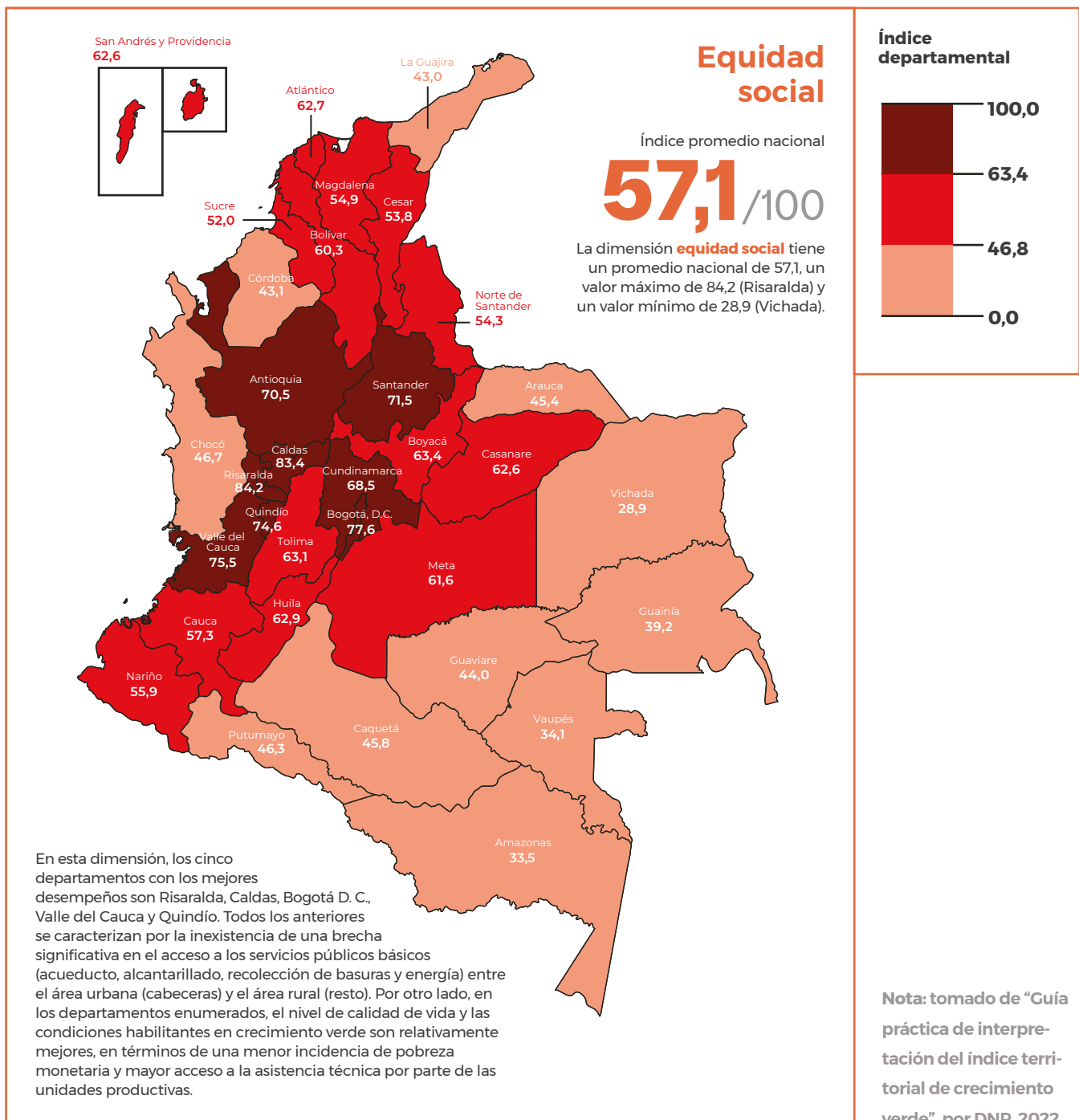
Índice territorial de crecimiento verde

En relación con lo anterior, al medir el impacto que generan las condiciones de vida sobre la po-

sibilidad de vivir de manera más sostenible, se evidencia que el crecimiento sostenible de las regiones está directamente relacionado con la brecha social que se presenta entre las áreas ubica-



Mapa 3. Componente de equidad social en índice territorial de crecimiento verde



das en el centro del país y las zonas más alejadas y menos interconectadas (mapa 3).

Los departamentos de Risaralda, Caldas, Bogotá, D.C., Valle del Cauca y Quindío, en los que no existe una brecha significativa en el acceso a los servicios públicos entre las cabeceras y sus áreas rurales,

menor a nivel nacional.

presentan una mejor medición de equidad social (DNP, 2022). Departamentos como Vichada, Amazonas, Vaupés y La Guajira, que mantienen amplias brechas para el acceso a servicios de energía y agua y en los que sus actividades económicas dependen en gran medida de la explotación de recursos naturales no renovables, cuentan con una medición



Tabla 10. Retroceso de las áreas glaciales en Colombia

Periodo	Sierra Nevada de Santa Marta (Chundua) Área (km ²)	Sierra Nevada El Cocuy o Güicán (Zizuma) Área (km ²)	Aporte del Volcán Nevado del Ruiz (Kumanday) Área (km ²)	Volcán Nevado Santa Isabel (Poleka Kasue) Área (km ²)	Volcán Nevado del Tolima (Dulima) Área (km ²)	Volcán Nevado del Huila (Wila) Área (km ²)	Total Colombia Área (km ²)
1850	82,6	148,7	47,5	27,8	8,6	33,7	349
*1950 - 59	19,4	38,9	21,0	9,4	2,7	17,5	109
*1980 - 89	14,1	35,7	17,9	6,4	1,6	15,4	91
*1990 - 99	11,1	23,7	12,9	5,3	1,2	13,6	68
2010	8,2	16,5	10,3	1,9	0,8	9,7	47
2016	7,10	14,35	9,26	1,0	0,63	7,72	40
2017	6,54	13,75	8,88	0,7	0,59	7,37	36,7
2019	6,22	13,46	8,39	0,5	0,55	7,13	36,3
2020	5,81	13,19	8,14	0,45	0,52	6,74	34,9
2021	5,53	12,99	7,96	0,35	0,50	6,52	33,9

Nota: datos correspondientes a distintos años dentro de la década señalada para cada glaciar.

Tomado de “Estudio Nacional del Agua”, por Ideam, 2022.

Cobertura glaciar

Este indicador ambiental expresa las pérdidas o ganancias de masa de un glaciar durante un lapso de tiempo y, con base en datos en terreno, permite determinar el impacto en la alta montaña de la emisión de gases de efecto invernadero y el incremento de temperaturas, así como comprender la dinámica del sistema hídrico y sus interrelaciones. Teniendo en cuenta su importancia, es preciso mantener y expandir las redes de monitoreo y articular las relaciones hídricas entre el páramo y el bosque andino. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2022, p. 154). La tabla 10 presenta el área de retroceso glaciar en diferentes localidades

de Colombia para periodos específicos de tiempo.

Inversión en investigación y desarrollo

Colombia enfrenta desafíos para lograr un crecimiento sostenible y para que, en el futuro, la competitividad no solo se base en materias primas. La innovación es un factor clave para abordar estos desafíos (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], 2014). Sin embargo, el sistema de innovación aún es pequeño y la inversión en investigación y desarrollo (I+D) a 2020 es solo del 0,2 % del PIB, mientras que en Brasil es del 1,2 % y en la OCDE, del 2,7 %.



Movimiento en masa ocurrido en junio de 2023, en el municipio de Puerto Escondido (Córdoba).

Ordenamiento territorial

Colombia cuenta con ocho clases de suelo, cuyo uso puede ser tanto productivo como de conservación ambiental; sin embargo, el uso inadecuado del territorio es cada vez más frecuente. Asimismo, la deforestación, la expansión urbana y el crecimiento de bienes y servicios asociados al suelo son actividades que generan impactos negativos significativos a nivel nacional (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, s.f.). A esto se suma que, en los diálogos regionales realizados para la formulación del PND 2022-2026, los ciudadanos se quejaron por el incumplimiento del Estado en el manejo de las determinantes ambientales relacionadas con el ciclo del agua, la baja disponibilidad de agua, el uso inadecuado del suelo, el deterioro del ambiente, el aumento de las condiciones de riesgo y desastres, la falta de adaptación al cambio climático y la desactualización de los planes de ordenamiento y del catastro (DNP, 2022).

Políticas públicas

A continuación, se describen los principales aportes del SGC a la política de crecimiento verde, la política de ciencia, tecnología e innovación y la política pública de transición energética justa, que contienen el diagnóstico sobre las necesidades en las cuales la entidad puede aportar a partir de su conocimiento geocientífico y nuclear, así como las recomendaciones de política que de manera intersectorial el SGC puede orientar a través de sus investigaciones.

Política de Ciencia, Tecnología e Innovación

El país estableció su política de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) para los años 2022-2031 mediante el documento CONPES 4069 de 2021, cuyo



Deslizamiento ocurrido el 28 de Junio de 1974, en el sector de Quebrada Blanca del municipio de Guayabetal (Cundinamarca), que derivó en la muerte de alrededor 500 personas.

objetivo general es incrementar la contribución de la CTI al desarrollo social, económico, ambiental y sostenible del país con un enfoque diferencial, territorial y participativo, que ayude a lograr los cambios culturales que promuevan una sociedad del conocimiento. Esta política establece siete ejes estratégicos que comprenden 19 líneas de acción a ejecutar por diferentes entidades de gobierno.

El SGC contribuirá desde un enfoque diferencial y territorial en las diferentes dimensiones de la CTI, creando y fomentando cambios culturales que promuevan una sociedad del conocimiento.

La misión internacional de sabios, por su parte, establece tres retos y cinco misiones a alcanzar en 2030 sobre las cuales puede contribuir la política pública de CTI y puede aportar el SGC en concordancia con lo establecido en el CONPES 4069 de 2021 (tabla 11).

El primer reto es **Colombia biodiversa**, en el cual se establece lograr que la bioeconomía represente el 10 % del PIB, así como reducir a la mitad los riesgos socioambientales del cambio climático entre 2030-2050. Frente a esta misión, el SGC contribuirá a través de sus proyectos para generar conocimiento científico sobre fuentes alternativas de energía como el hidrógeno blanco y la geoter-

mia. Además, aportará a la reducción de los riesgos socioambientales del cambio climático mediante el conocimiento sobre el ciclo del agua, elemento fundamental y regulador de los procesos ecosistémicos que nos sustentan. Este conocimiento es crucial para tomar decisiones sobre ordenamiento territorial, gestionar el riesgo y proteger áreas estratégicas ambientales.

El tercer reto, y el segundo en el cual se influye, es **Colombia equitativa**. Este reto busca reducir la desigualdad social y la pobreza multidimensional en el país a partir del conocimiento científico y la in-

novación social. Para lograrlo, entre los objetivos de sus programas habilitantes, el SGC busca convertirse en referente para la divulgación y apropiación del conocimiento geocientífico. Esto se logra mediante el acompañamiento social y ambiental a los proyectos de investigación, el monitoreo comunitario del agua y las amenazas geológicas, así como el aprovechamiento de las herramientas de información disponibles para divulgar en línea y en tiempo real. Además, se promueven espacios de visita e interacción con la ciudadanía como el Museo Geológico Nacional José Royo y Gómez.



Tabla 11. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con la Política de Ciencia, Tecnología e Innovación

Aspectos de interés	Aporte y alineación del SGC
<p>Estrategia 1. Fomentar el talento y empleo en CTI</p> <p>Línea acción 3. Incrementar inserción de capital humano en CTI en mercado laboral</p> <ul style="list-style-type: none"> Estructurará borrador de proyecto normativo que reglamente carrera administrativa de investigador para el personal científico y tecnológico de centros e institutos públicos de investigación. 	<p>El SGC impulsa a sus investigadores y, una vez sea expedido el reglamento de la carrera administrativa, considerará lo que aplique en su nueva estructura organizacional.</p>
<p>Estrategia 2. Mejorar la generación de conocimiento científico y tecnológico</p> <p>Línea de acción 4. Incrementar la capacidad de generación de conocimiento científico y tecnológico</p> <ul style="list-style-type: none"> Diseñará e implementará una política de ciencia abierta para fomento al acceso al conocimiento y publicaciones abiertas, fortalecimiento de capacidades, apertura de metodologías y herramientas, pilotaje de revisión por pares abierta, definición de métricas alternativas de productividad, financiación e incentivos y participación ciudadana. 	<p>El SGC apoyará la implementación de la política de ciencia abierta como parte de la estrategia para el acceso al conocimiento que genera la entidad y el fortalecimiento de capacidades y participación ciudadana en la generación de conocimiento a través de estrategias como el monitoreo comunitario. Asimismo, apoyará la implementación de herramientas de política para el fortalecimiento de las ciencias básicas y adoptará los lineamientos respectivos sobre buenas prácticas en investigación e integridad científica.</p>

- Fomentará ética en CTI para la investigación clínica y demás áreas y disciplinas de investigación mediante definición del alcance y reglamentación de Comités de Ética; lineamientos sobre buenas prácticas, integridad científica y derechos de autor.
- Diseñará, implementará y evaluará estrategias para fomentar Investigación + Creación.
- Implementará herramientas de política orientadas al fortalecimiento de ciencias básicas y generación de nuevo conocimiento.

Línea de acción 6. Incrementar capacidades de las instituciones generadoras de conocimiento

- Consolidará programa de financiamiento basal dirigido a centros e institutos de I+D que definirá necesidades de investigación de sectores y esquema de apoyo que motive la generación de capacidades y diversificación de servicios.
- Diseñará y acompañará la implementación de una estrategia para fortalecer el ecosistema científico del país mediante la formulación e implementación del plan estratégico para la integración de institutos y centros públicos de investigación, para compartir capacidades e infraestructuras para el desarrollo de proyectos CTI.

De otra parte, en esta planeación estratégica se considerará formular estrategias con respecto a Investigación + Creación, entendiéndolas como un trabajo cocreativo y sistemático realizado para aumentar el volumen de conocimiento (humanidad, cultura y sociedad) y concebir nuevas aplicaciones a partir del conocimiento disponible. De ser posible, aportará a Minciencias en el diseño de estrategias.

En relación con las capacidades de las instituciones generadoras de conocimiento, el SGC se alinearán, en el marco de su misionalidad, con las necesidades de investigación de los sectores involucrados y fortalecerá la diversificación de servicios mediante conocimiento multipropósito que apoye al sector minero-energético y a otros como el ambiental, el de salud, el de soberanía alimentaria y el de soberanía territorial, entre otros.

Finalmente, apoyará en el fortalecimiento del ecosistema científico del país creando una red de laboratorios que genere sinergias y complementariedades para dar respuesta a las necesidades de la sociedad. Así mismo, propenderá por la integración con otros centros públicos de investigación para generar valor agregado al conocimiento.

Estrategia 4. Incrementar la apropiación social del conocimiento

Línea de acción 10. Consolidar procesos de inclusión, impacto y cultura de CTI

- Implementará un programa de experimentación para impulsar proyectos CTI con enfoque transformativo, con innovación social y apropiación del conocimiento; desarrollo de soluciones a partir de métodos participativos y de cocreación, e impulso a capacidades científicas en comunidades y ciudadanía.
- Generará y adoptará lineamientos técnicos y estratégicos para incentivar el enfoque de apropiación social del conocimiento en CTI e investigación.

El SGC cuenta con una estrategia para la apropiación social del conocimiento geocientífico a partir de un enfoque participativo y de cocreación con las comunidades beneficiadas. De otra parte, en la planeación estratégica se prevé la transformación del Museo Geológico a un museo interactivo y el impulso a la creación de geoparques.

- Promoverá la creación de museos interactivos y otros centros de ciencia para acercar a niños, jóvenes y todo tipo de población a ciencia y tecnología, e impulsar la apropiación social del conocimiento.

Línea de acción 11. Mejorar comunicación pública del quehacer científico y de la CTI

- Desarrollará lineamientos técnicos y conceptuales para el fomento y desarrollo de estrategias, programas y proyectos de comunicación pública y divulgación de la CTI para estimular la cultura científica.
- Desarrollará proyectos colaborativos con comunidades mediante enfoque participativo y de cocreación mediante estrategias y actividades de orden territorial que fortalezcan la comunicación y cultura científica. Promoverán estrategias comunicativas, pedagógicas y de entretenimiento divulgativo, con énfasis en disciplinas STEAM o contenidos comunicacionales con modelos abiertos y participativos de enfoque inclusivo y diferencial.

En relación con la comunicación pública, se busca seguir aumentando el interés y el conocimiento de los colombianos sobre el aporte de las geociencias básicas a la toma de decisiones para el bienestar de los colombianos, a través de campañas de comunicación, opinión pública y pedagogía difundidas tanto en los canales propios como en medios de comunicación.

Estrategia 5. Aumentar el uso de las potencialidades regionales, sociales, internacionales

Línea de acción 12. Reducir brechas de inclusión social en el desarrollo de la CTI

- Diseñará e implementará una agenda de acciones para reducir barreras de género y de personal con discapacidad en formación de capital humano y al interior de la comunidad científica.

Línea de acción 14. Aumentar cooperación internacional

- Diseñará e implementará la política de internacionalización y agenda diplomacia científica que promueva la cooperación científico-tecnológica y la movilidad de investigadores y pasantías; inclusión de investigadores en redes globales de investigación e innovación; transferencia tecnológica; intercambio de experiencias; aprovechamiento de la diáspora científica y realización de proyectos CTI conjuntos.

La entidad considerará dentro del Plan Nacional de Conocimiento Geocientífico la realización de proyectos conjuntos, en el marco de las misiones o programas definidos en su planeación estratégica, para abordarlos de forma intersectorial y con actores estratégicos. En tal sentido, se podría considerar la cooperación internacional.

Estrategia 6. Mejorar la dinamización del Sistema Nacional de CTI (SNCTI)

Línea de acción 15. Mejorar la articulación institucional y el marco regulatorio para la CTI

- Realizará gestión y seguimiento a avances de las misiones propuestas por la Misión de sabios, entre ellas, la de agua y cambio climático a través del Consejo Nacional del Agua y Comisión Intersectorial de Cambio Climático; y misión Colombia hacia un nuevo modelo productivo, sostenible y competitivo, a través del Comité Ejecutivo SNCTI.

Línea de acción 16. Aumentar la capacidad de inteligencia e información estratégica en CTI

- Desarrollo e implementación de una estrategia de prospectiva en CTI que permita contemplar escenarios de futuro y proporcione insumos para orientar la investigación e innovación y promover el uso de prospectiva tecnológica en sector productivo.
- DANE implementará agenda de mejora en estadísticas y métricas CTI, profundizando en la medición de I+D a partir de un sistema de seguimiento a inversión por sector y departamentos.

El SGC se articulará con la misión de agua y cambio climático para que su programa o misión en esta línea se integre y complemente, con base en el aporte desde el conocimiento geocientífico y nuclear. Igual con la misión de Colombia hacia un nuevo modelo productivo, sostenible y competitivo, en relación con la transición energética justa.

De otra parte, la entidad incluirá una estrategia de prospectiva en CTI dentro de la planeación estratégica, específicamente en la estrategia de innovación.

Se realizará seguimiento a la inversión en investigación, desagregando la información por sectores y territorios, facilitando el levantamiento de estadísticas y métricas de CTI por parte del DANE.

Aspectos de interés

Baja apropiación social del conocimiento. En la sociedad colombiana se evidencia una cultura en CTI débil que impide mejorar la contribución de la CTI en la sociedad colombiana. Se ha identificado que esta baja apropiación social del conocimiento es causada por: (i) la baja inclusión y cultura de CTI y (ii) la débil comunicación del quehacer científico y de la CTI.

Aporte y alineación del SGC

En su componente habilitante, relacionado con el fortalecimiento de la gobernanza, el SGC contempla la ejecución de proyectos que buscan la apropiación social del conocimiento geocientífico a través de ejercicios de participación activa, estrategias de monitoreo comunitario y el desarrollo de ciencia contributiva.

Por su parte, la estrategia de comunicaciones del SGC promoverá la difusión del conocimiento y la toma de decisiones sobre el subsuelo y la gestión del riesgo de geoamenazas en beneficio de las personas, a través de información frecuente

	<p>y oportuna, ampliamente difundida en los canales propios y en medios de comunicación. Para esto, se fortalecerá la estrategia de comunicación digital con un fuerte componente pedagógico y de democratización de la información científica, con contenidos claros y de fácil comprensión.</p> <p>Asimismo, se fortalecerá y diversificará la presencia del Servicio Geológico Colombiano en medios, se mejorará el conocimiento de los periodistas sobre los temas que la entidad aborda para un cubrimiento más efectivo de la información y se seguirán potenciando las habilidades de vocería de los expertos y expertas.</p>
<p>Baja participación, impacto y cultura de CTI. Existe una baja inclusión de la ciudadanía en los procesos de desarrollo y divulgación de conocimiento científico y tecnológico, así como un bajo relacionamiento con actores de dichos procesos.</p>	<p>En el marco de la estrategia de apropiación social del conocimiento geocientífico, el SGC busca que el conocimiento sea construido y adoptado en doble vía, reconociendo los saberes tradicionales, ancestrales y populares que han construido las comunidades a partir de habitar el territorio.</p>
<p>Insuficiente uso de las potencialidades regionales, sociales e internacionales en la generación y uso del conocimiento. En particular, se evidencia la falta de vínculos claros del SNCTI con otros sistemas de investigación como el Sistema Nacional Ambiental (SINA), el Sistema Nacional de Competitividad e Innovación (SNCI), las instancias en materia de educación y formación, entre otros.</p>	<p>Una de las misiones del SGC es la de divulgar el conocimiento geocientífico y nuclear aplicado a otros sectores como agricultura, ambiente, salud, defensa, entre otros. Esto permitirá a la entidad contar con una mayor participación en las instancias mencionadas a partir de los resultados de sus estudios y participar activamente como miembro del SNCTI en el fortalecimiento de la articulación de los sistemas de investigación y de los propios investigadores que se encuentran vinculados al sector público desarrollando conocimiento.</p>

Nota: basado en información tomada del CONPES 4069 de 2021.

CONPES 4075 de 2022. Política pública de transición energética

Considerando que los recursos energéticos provenientes del aprovechamiento de fósiles son no renovables, y que es necesario romper la alta dependencia económica que su explotación genera en la economía del país, la política pública de transición energética reconoce la necesidad de desarrollar un

sistema energético con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En este contexto, la generación de conocimiento en geotermia e hidrógeno geológico en el país es importante para lograr una matriz energética más diversificada para Colombia, a partir de la integración de diferentes tipos de energía. Dentro de esta política pública se reconocen cuatro acciones a realizar por el SGC que se presentan a continuación, en la tabla 12.


Tabla 12. Alineación del Servicio Geológico Colombiano con la política pública de transición energética

Aspectos de interés	Aporte del SGC
<p>A partir de 2022, el Servicio Geológico Colombiano identificará y definirá los nuevos corredores exploratorios en cuencas hidrocarburíferas priorizadas como aporte a los insumos entregados a posibles nuevas empresas contratistas que se habiliten en el marco de los ciclos de procesos permanentes de asignación de áreas (PPAA).</p>	<p>El SGC investigará el origen y localización de zonas con posible potencial hidrocarburífero enfocado en gas natural, un energético estratégico en la transición que el país proyecta a 30 años.</p>
<p>De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2022-2026 en relación con avanzar hacia la descarbonización del país al 2050, incluyendo nuevas acciones que permitan el cumplimiento de la meta de reducción del 51 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y teniendo en cuenta los compromisos nacionales adquiridos en el Acuerdo de París (2016), la Cumbre sobre la Acción Climática (2019), y la Cumbre del Clima (2022), es necesario investigar sobre las alternativas que promuevan la desaceleración del calentamiento global. En este sentido, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), como brazo técnico geocientífico del Ministerio de Minas y Energía, formula y desarrolla proyectos de investigación en geotermia, hidrógeno blanco y almacenamiento de CO₂, que aportan al conocimiento para la Transición Energética Justa en Colombia.</p> <p>En cuanto a la geotermia, el Servicio Geológico Colombiano realiza desde 1997 estudios de investigación geológica, geofísica y geoquímica, así como su integración en modelos conceptuales descriptivos, de sistemas geotérmicos de alta entalpía (hidrotermales asociados a volcanes) y, en los últimos años, la implementación de la investigación de flujo de calor terrestre, como apoyo a la investigación de recursos geotérmicos de entalpía intermedia y baja asociados a hidrocarburos, y la implementación de la investigación de recursos geotérmicos someros de baja entalpía.</p>	<p>En el marco de la planeación estratégica de la entidad, se proponen proyectos para investigar los recursos geotérmicos del territorio colombiano. De esta manera se podrá dar respuesta a las necesidades del país, principalmente al sector energético, en cuanto a la generación y uso industrial de la energía térmica o eléctrica, con lo que a su vez se podrá definir con mayor precisión el potencial energético del país relacionado a la geotermia.</p>
<p>En cuanto a la generación de conocimiento del origen, distribución y localización de áreas con posible prospección de hidrógeno natural, el SGC, en el marco regulatorio del desarrollo de proyectos de Hidrógeno Blanco, el Decreto 2235 de 2023, realizará desde el año 2023 proyectos de conocimiento geocientífico de este tipo de energético.</p>	<p>El SGC realizará investigación para aportar conocimiento en cuanto al origen y distribución del hidrógeno natural (hidrógeno blanco) en cuencas sedimentarias o sistemas montañosos, y desarrollará una metodología de investigación e identificación de áreas prospectivas, para futuras inversiones y aprovechamiento de este recurso energético.</p>
<p>En lo que respecta al almacenamiento de CO₂, el SGC realizará desde 2023 la formulación, creación y desarrollo de proyectos de investigación enfocados en la identificación de áreas con favorabilidad para almacenamiento geológico de CO₂, con base regulatoria por el Decreto de Captura, Utilización y Almacenamiento de carbono (CCUS), en el que la entidad apoya y orienta al MME en su construcción.</p>	<p>El SGC desarrollará e implementará una metodología para la evaluación regional nacional de áreas con prospectividad de almacenar CO₂, e identificará las áreas con mayor favorabilidad, contribuyendo así a la construcción de la línea base técnica nacional para la posible implementación de tecnologías relacionadas a la captura, uso, transporte y almacenamiento.</p>

Nota: basado en información tomada del CONPES 4075 de 2022.

Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026

La Ley 2294 de 2023, que adoptó el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2022-2026 “Colombia, potencia mundial de la vida”, tiene como objetivo principal sentar las bases para que el país se convierta en un líder de la protección de la vida, lo que implica la no repetición del conflicto, el cambio de nuestra forma de relacionarnos con el ambiente y una **transformación productiva basada en el conocimiento y en armonía con el medio ambiente**.

El PND define la transformación de las estructuras productivas, para que las economías limpias y biodiversas reemplacen la producción intensiva en el uso del carbono. También determina que la sostenibilidad debe ir acompañada de equidad e inclusión, con un enfoque diferencial que prioriza comunidades indígenas, afrocolombianas, palenqueras, raizales y campesinas en todos los ejes de transformación y en los ejes transversales.

El PND identificó cinco aspectos esenciales que debe tener en cuenta la economía para transitar hacia el desarrollo sostenible. El plan tiene cinco elementos constitutivos denominados ejes de transformación, y es en base a ellos que se plantea la **contribución del SGC a través de la producción de conocimiento geocientífico y nuclear**:

- I. **Ordenamiento del territorio alrededor del agua y justicia ambiental:** el Servicio Geológico Colombiano brinda al gobierno y a las organizaciones sociales y comunitarias herramientas e insumos para tomar decisiones acertadas, con criterios de sostenibilidad ambiental, en relación con el uso del suelo y el agua. Lo hace a través de metodologías, informes técnicos y mapas, proyectos de investigación y otros productos y servicios.
- II. **Seguridad humana y justicia social:** el conocimiento generado por el SGC, en relación con las amenazas de origen geológico, puede apoyar a las administraciones municipales en la toma de decisiones adecuadas en la gestión integral del riesgo de desastres y la atención de emergencias.

III. **Derecho humano a la alimentación:** el conocimiento que genera el SGC posee un gran potencial para ser utilizado en diversos sectores. Por ejemplo, puede dotar al sector agropecuario de elementos para mejorar la productividad o asegurar una producción limpia, contribuyendo a la soberanía alimentaria, el bienestar de las familias rurales, la sostenibilidad de los procesos productivos y el progreso económico del país.

IV. **Transformación productiva, internacionalización y acción climática:** conocer el potencial de minerales y materiales, así como el comportamiento del agua y sus ciclos geoquímicos, en conjunto con los análisis de riesgos, contribuye a establecer una ruta segura para el uso de esos elementos que enriquecen la reconversión o mejora de procesos productivos con criterios de adaptación al cambio climático y responsabilidad en su mitigación. En ese sentido, la creación de un grupo de trabajo en cambio climático enfocado en el estudio del período Cuaternario, en el SGC, pretende obtener nuevos conocimientos, enfocados en Colombia, sobre las dinámicas que se han dado durante los últimos dos millones de años para aportar en la construcción de estrategias nacionales y globales de adaptación.

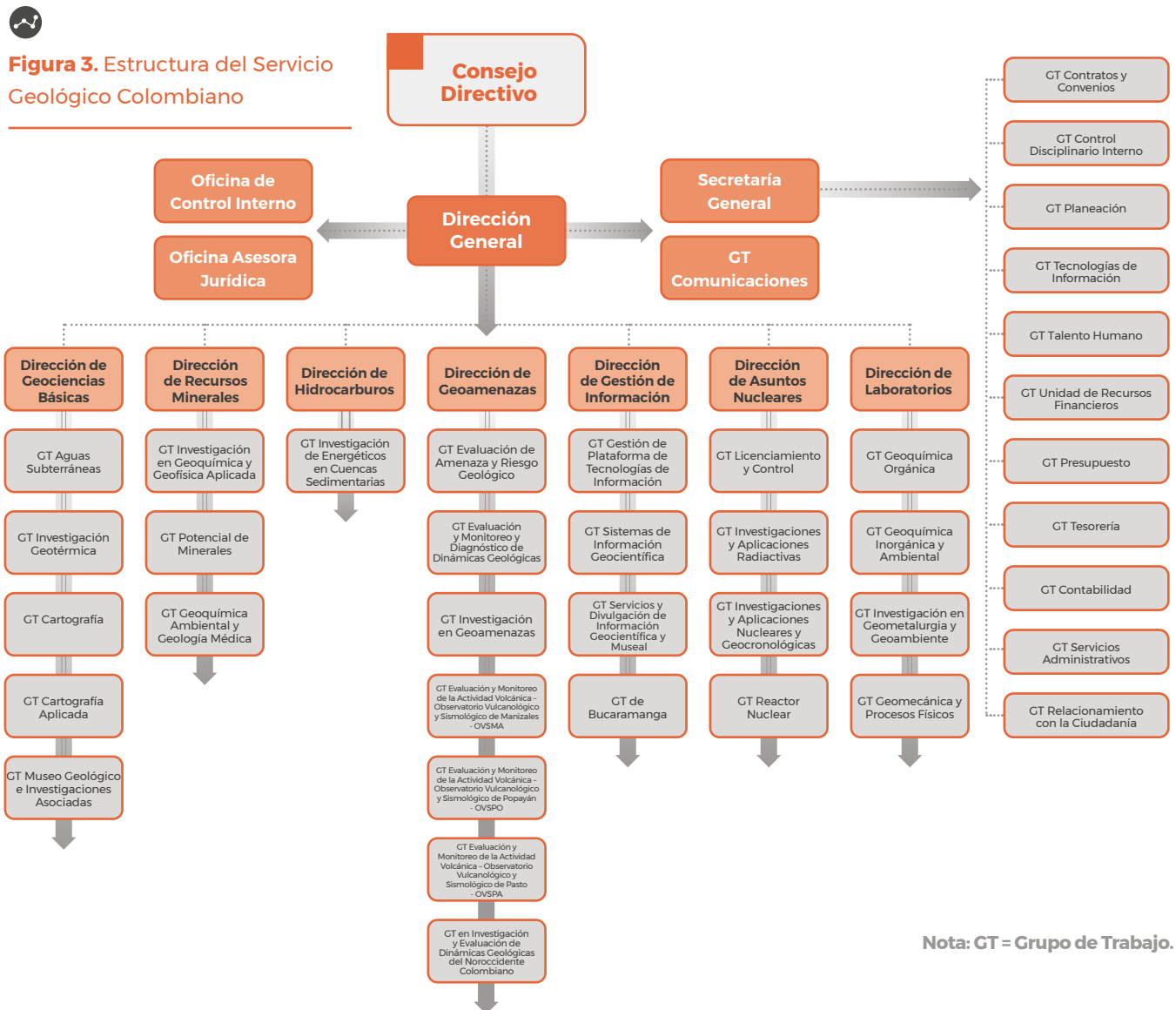
Estas transformaciones, a su vez, comprenden una serie de catalizadores que permiten alcanzar las metas (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2023).

A continuación, se presentan aspectos a considerar para la planeación estratégica, tomando en cuenta temáticas de interés para el SGC, posible financiación de proyectos, criterios de priorización de inversión y posibles usuarios del conocimiento generado.

Contexto institucional

En virtud del Decreto 4131 del 3 de noviembre de 2011, el Gobierno nacional modificó la naturaleza jurídica del Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas) de establecimiento público a Instituto Científico y Técnico, con personería jurídica, autonomía administrativa, técnica, financiera y patrimonio independiente. Desde entonces se le denominó Servicio Geológico Colombiano (SGC), una entidad adscrita al Ministerio de Minas y Energía.

Además, mediante el Decreto 2703 de 2013 se definió la estructura interna del SGC y se establecieron las funciones de sus dependencias. Posteriormente, mediante el Decreto 2704 de 2013 se definió la planta de personal para atender las funciones y cumplir con eficiencia y eficacia los objetivos, las políticas y los programas de la entidad (figura 3).





Fracturas abiertas en areniscas de la Formación Girón que pueden favorecer la infiltración y el flujo de agua subterránea en ese municipio de Santander.

Funciones

De acuerdo con el artículo 4 del **Decreto 4131 de 2011**, el SGC tiene entre sus funciones **generar conocimiento** sobre geología, recursos del subsuelo y amenazas geológicas, y asesorar a las autoridades para **formular políticas** en el ámbito de las geociencias, aplicaciones nucleares, amenazas y riesgos geológicos. Para ello, la entidad gestiona fondos documentales que sirven como referencia para estudios geológicos; adelanta el conocimiento del subsuelo colombiano, así como la identificación y la caracterización de zonas con mayor potencial de minerales y recursos energéticos del subsuelo; realiza investigación científica sobre aguas subterráneas, asuntos nucleares, y fenómenos geológicos generadores de amenazas, con su respectiva cartografía regional y nacional.

Actores e instancias

El SGC interactúa con una serie de actores e instancias interinstitucionales de los niveles técnico, ejecutivo y estratégico (figura 4).

En el nivel estratégico, participa con tres instancias:

- I. **Sistemas nacionales:** el SGC participa en cinco sistemas a nivel nacional, cada uno con un propósito específico.

- **Sistema Nacional Ambiental (SINA):** creado mediante la Ley 99 de 1993. Está constituido por orientaciones, normas, actividades, recursos, programas y entidades responsables de la política y de la acción ambiental. El SGC dota al SINA de conocimiento fundamental para la administración y el uso de elementos naturales relacionados con el subsuelo. Para eso, entrega metodologías e informes específicos para tomar decisiones relacionadas con el ordenamiento ambiental, la gestión ambiental y de riesgos.
- **Sistema Nacional de Competitividad e Innovación (SNCI):** se encarga de coordinar y orientar las actividades que realizan instancias públicas, privadas y académicas relacionadas con la formulación, implementación y seguimiento de las políticas que promuevan la competitividad e innovación del país. Su objetivo es promover el desarrollo económico, la productividad y mejorar el bienestar de la población (Decreto 1651 de 2019).
- **Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD):** es el conjunto de entidades nacionales del orden público, privado y comunitario que, articuladas con políticas, normas y recursos, tienen como objetivo llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo con el propósito de proteger a la

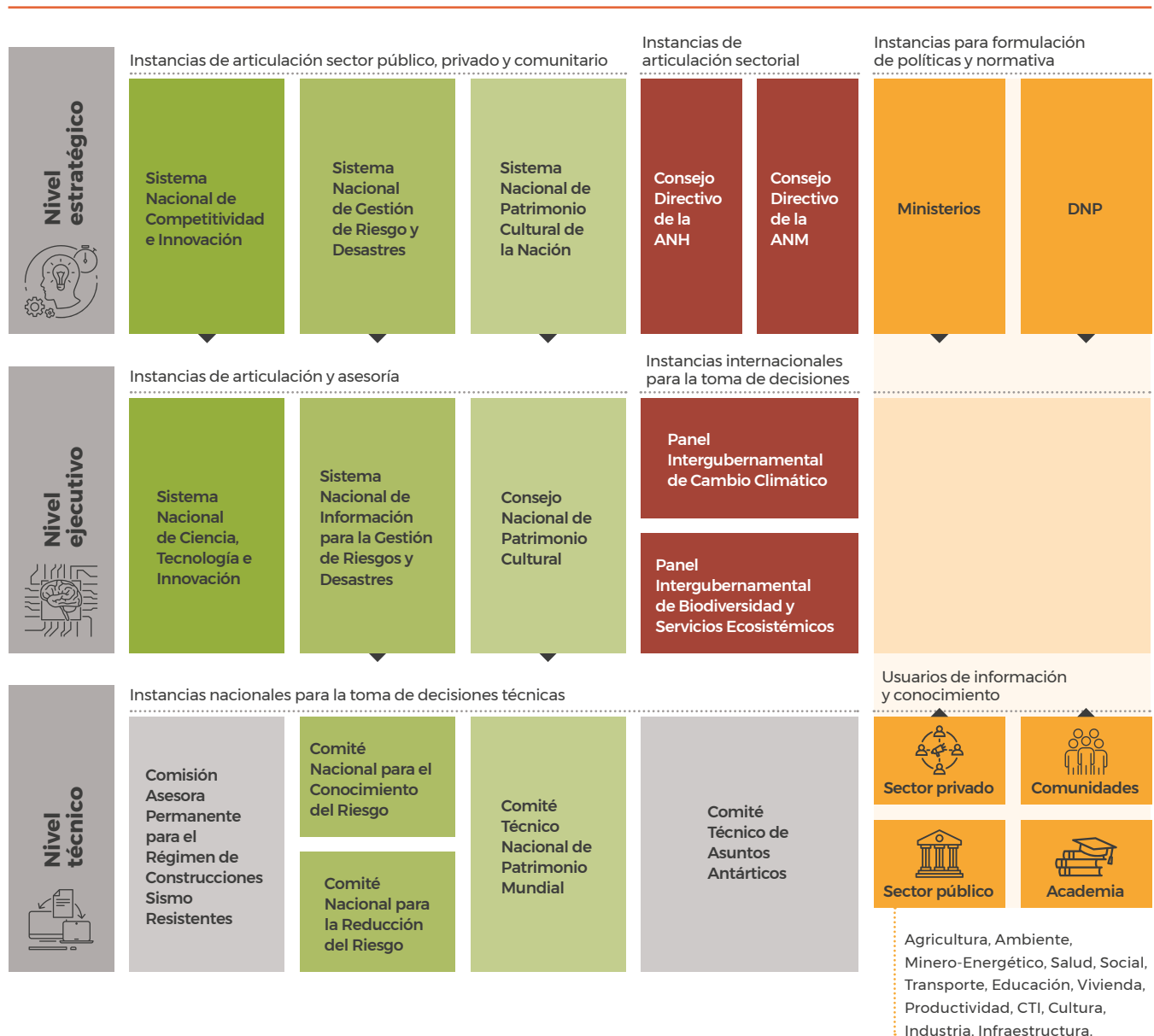
población en todo el territorio nacional y mejorar la calidad de vida, la seguridad y el bienestar de todas las comunidades colombianas (Ley 1523 de 2012).

- Sistema Nacional de Patrimonio Cultural de la Nación (SNPC):** está constituido por el conjunto de instancias públicas del nivel nacional y territorial que ejercen competencias sobre el patrimonio cultural de la Nación (Ley 1185 de 2008, artículo 2.º).

- Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA):** creado mediante la Ley 1876 de 2017, su objetivo es mejorar la productividad, competitividad y sostenibilidad del sector agropecuario colombiano. Lo hace a través de procesos de innovación soportados en acciones de investigación, desarrollo tecnológico, transferencia de tecnología, gestión del conocimiento, formación, capacitación y extensión.



Figura 4. Panorama de instancias en las que interactúa el Servicio Geológico Colombiano



II. Consejos directivos: el SGC participa en dos instancias correspondientes al sector mine-ro-energético.

- **Consejo Directivo de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH):** entre sus funciones están formular la política general de la Agencia, así como los planes y programas que deben proponerse para su incorporación a planes sectoriales y al PND; aprobar estudios técnicos y económicos que soporten la formulación de la política nacional de hidrocarburos; definir criterios de administración y asignación de áreas para la explotación y explotación de hidrocarburos de la Nación, y fijar los volúmenes de producción de petróleo de concesión que los explotadores deben vender para la refinación interna (Decreto 714 de 2012).

- **Consejo Directivo de la Agencia Nacional de Minería (ANM):** entre sus funciones están formular la política general de la Agencia, así como los planes y programas que deben proponerse para su incorporación a los planes sectoriales y al PND, definir los criterios de asignación de áreas de reserva especial y aprobar los criterios para la promoción nacional e internacional de la exploración y explotación de minerales (Decreto 4134 de 2011).

III. Instancias para la formulación de políticas y normatividad. Para que el conocimiento geocientífico y nuclear tenga impacto, el SGC interactúa con:

- **Ministerios usuarios de la información del SGC:** Minas y Energía, Vivienda, Ciudad y Territorio, Agricultura y Desarrollo Rural, Ambiente y Desarrollo Sostenible, Cultura, Transporte, Salud y Protección Social, Ciencia, Tecnología e Innovación, Comercio, Industria y Turismo, Defensa Nacional, y Relaciones Exteriores.
- **Departamento Nacional de Planeación (DNP):** es el centro de pensamiento del Go-

bierno nacional. Coordina, articula y apoya la planificación de corto, mediano y largo plazo del país y orienta el ciclo de las políticas públicas y la priorización de los recursos de inversión.

- **Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres (UNGRD):** dirige la implementación de la gestión del riesgo de desastres, atendiendo las políticas de desarrollo sostenible, y coordina el funcionamiento y el desarrollo continuo del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD).

A nivel ejecutivo, el SGC participa en tres instancias pertenecientes a los sistemas nacionales mencionados anteriormente.

- I. **Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTel):** hace parte del Sistema Nacional de Competitividad e Innovación. Es un sistema abierto del cual forman parte las políticas, estrategias, programas, metodologías y mecanismos para la gestión, promoción, financiación, protección y divulgación de la investigación científica y la innovación tecnológica, así como las organizaciones públicas, privadas o mixtas que realicen o promuevan el desarrollo de actividades científicas, tecnológicas y de innovación (Decreto 1666 de 2021, artículo 20).

- II. **Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres:** hace parte del Sistema Nacional de Riesgo y Desastres. Es un sistema abierto, público, privado y comunitario, dirigido por el Presidente de la República y por los respectivos gobernadores y alcaldes a nivel territorial. Su objetivo es garantizar la ejecución de tres procesos esenciales para el país: (i) proceso de conocimiento del riesgo, (ii) proceso de reducción del riesgo y (iii) proceso de manejo de desastres (Ministerio del Interior, 2012).

- III. **Consejo Nacional de Patrimonio Cultural (CNPC):** hace parte del Sistema Nacional de Patrimonio Cultural de la Nación y es el

órgano encargado de asesorar al Ministerio de las Culturas, las Artes y los Saberes en cuanto a la salvaguardia, protección y manejo del patrimonio cultural material e inmaterial de la Nación. Brinda asesoría en el diseño de política pública, hace recomendaciones y propone estrategias de acción con respecto al patrimonio cultural (Ley 397 de 1997).

En el nivel técnico, el SGC interactúa con las siguientes instancias:

- I. Los comités técnicos del nivel nacional en los que participa:
 - **Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo:** instancia interinstitucional del sistema nacional que asesora y planifica la implementación permanente del proceso de conocimiento del riesgo (Ley 1523 de 2012).
 - **Comité Nacional para la Reducción del Riesgo:** instancia interinstitucional del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, de carácter consultivo y asesor, adscrito a la UNGRD, que orienta la formulación de políticas de gestión ambiental, ordenamiento territorial, planificación del desarrollo y adaptación al cambio climático que contribuyan a la reducción del riesgo de desastres. También, propende por articular el proceso de reducción del riesgo con el de conocimiento del riesgo y el de manejo de desastres, entre otros (Ley 1523 de 2012).
- II. Los usuarios de la información y el conocimiento geocientífico y nuclear del SGC, los cuales se clasifican en cuatro sectores: sector público, sector privado, academia y comunidades.
 - **Comité Técnico Nacional de Patrimonio Mundial:** su propósito es evaluar, concepcionar y recomendar nuevas propuestas de inscripción de bienes nacionales en la lista de patrimonio mundial (Decreto 1550 de 2022).
 - **Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes:** fue creada para interpretar y aplicar las normas sobre construcciones sismo resistentes. Atiende las consultas, dirige y supervigila las investigaciones relacionadas y coordina seminarios sobre actualizaciones de la norma, entre otras acciones (Ley 400 de 1997).



Las diferentes formas de relieve del volcán Galeras permitieron descubrir que se ha formado a partir de varios volcanes y por eso ahora se le conoce como complejo volcánico.

Procesos

Los procesos del SGC se clasifican en cuatro categorías: estratégicos, misionales, de apoyo y de evaluación y control (figura 5). Los procesos estratégicos incluyen: direccionamiento estratégico, relacionamiento con la ciudadanía, comunicación institucional y gestión de tecnologías de información y comunicaciones.

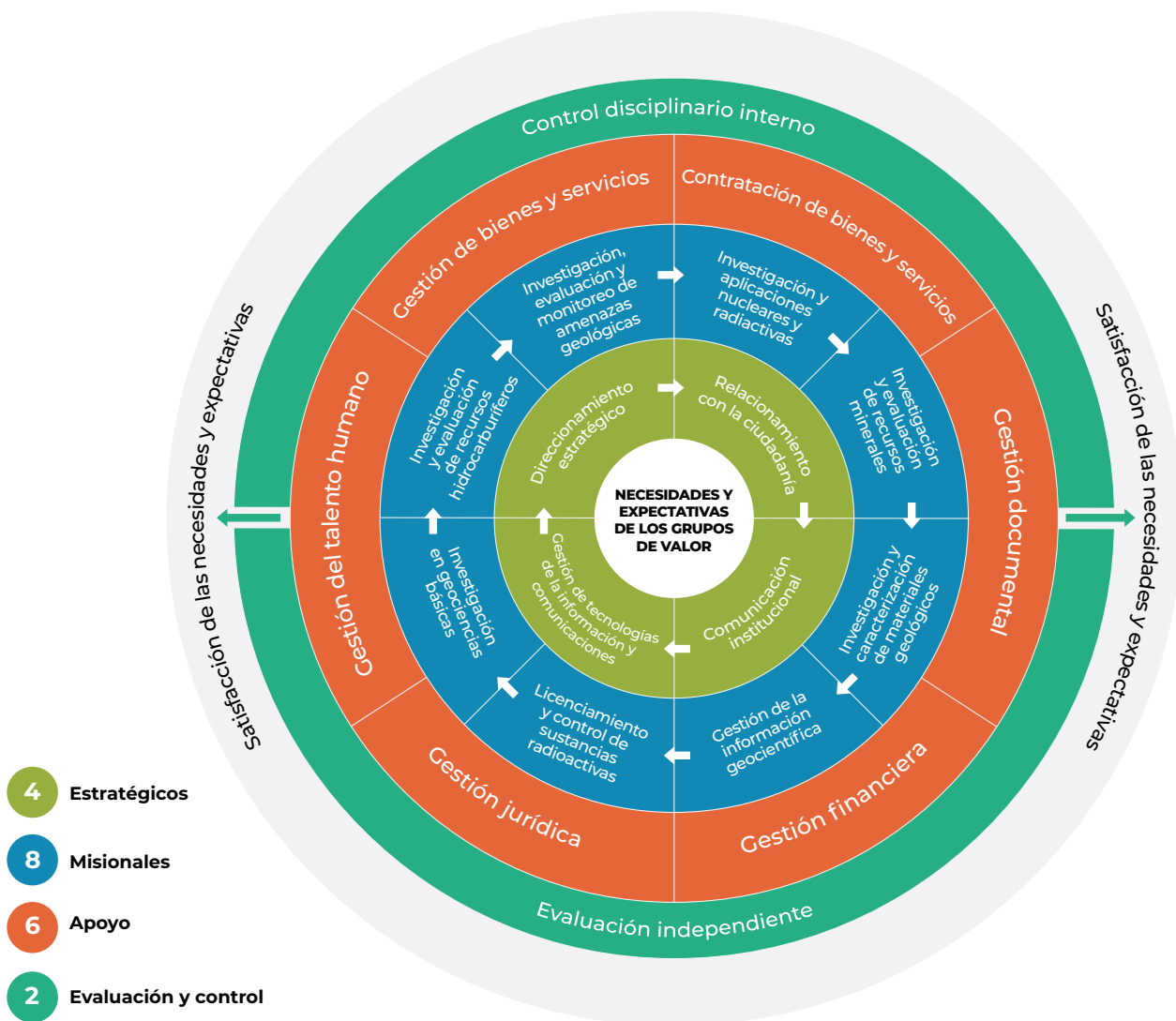
Los procesos misionales, por su parte, corresponde a investigación, evaluación y monitoreo de amenazas geológicas; investigación y aplicaciones

nucleares y radiactivas; investigación y evaluación de recursos minerales; investigación y caracterización de materiales geológicos; gestión de información geocientífica; licenciamiento y control de sustancias radiactivas; investigación en geociencias básicas e investigación y evaluación de recursos hidrocarburíferos.

Los procesos de apoyo incluyen: gestión del talento humano; contratación de bienes y servicios; gestión documental; gestión financiera; y gestión jurídica. Finalmente, los procesos de evaluación y control incluyen el control interno disciplinario y evaluación independiente.



Figura 5. Mapa de procesos del Servicio Geológico Colombiano



- 4 Estratégicos
- 8 Misionales
- 6 Apoyo
- 2 Evaluación y control

El SGC ha logrado facilitar la operatividad en sus procesos al identificar los requisitos de las partes interesadas y satisfacer sus necesidades en términos de calidad y mejoramiento continuo. De acuerdo con el marco de la Política de Fortalecimiento Organizacional y Simplificación de Procesos del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG) y los cambios que ha venido implementando según la Resolución 1239 del 15 de noviembre del 2017, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación reconoció al SGC como centro de investigación, razón por la cual ha conformado al interior de la entidad los grupos de trabajo necesarios, asignando las funciones en pro del cumplimiento de la misionalidad y el desarrollo de sus objetivos institucionales.

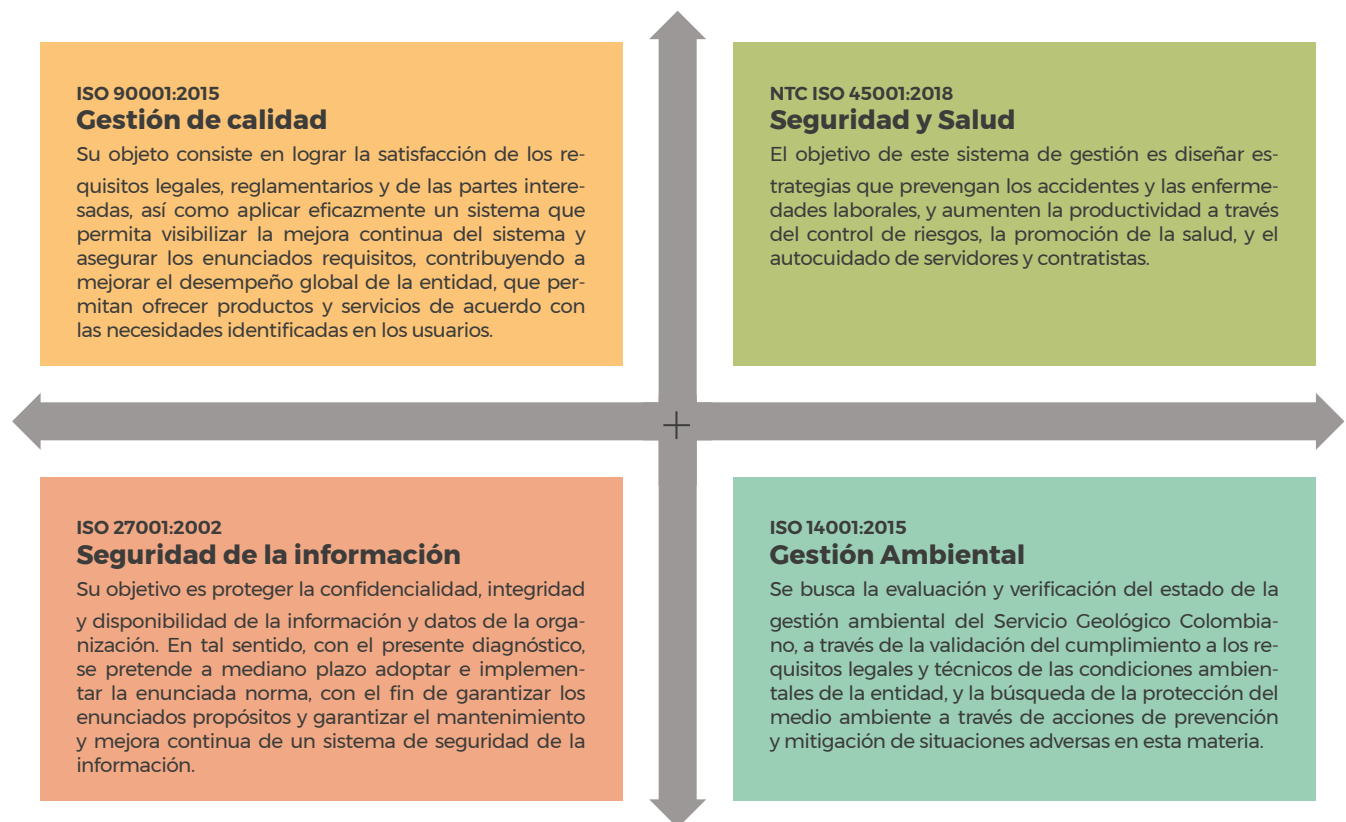
Actualmente, el SGC se encuentra acreditado mediante la norma NTC-ISO/IEC-17025, cuyo

propósito es garantizar la competencia y los requisitos técnicos que inciden sobre la mejora de calidad del trabajo realizado en los laboratorios.

En ese propósito de mejoramiento continuo es necesario que el SGC sea certificado en los sistemas de Gestión Institucional, Gestión Ambiental, Gestión de Seguridad de la Información, Sistema de Servicio al Ciudadano, y de Seguridad y Salud en el Trabajo (HSEQ), con el objetivo de que se implementen herramientas estratégicas que permitan medir la gestión y mejorar continuamente en la organización. Comprendiendo la situación actual, visualizando las metas futuras y como instrumento fundamental que permita diseñar y llevar a cabo las actividades de control del riesgo a las que se expone, la entidad tiene como objetivo la certificación en las normas que se presentan en la figura 6.



Figura 6. Sistemas de Gestión



Teniendo en cuenta los objetivos estratégicos y la estructura programática planteada, es necesario ajustar el mapa de procesos para que los aspectos contemplados en los programas habilitantes sean gestionados como **procesos estratégicos** del SGC. Eso permitiría asegurar el cumplimiento de los objetivos propuestos. En tal sentido, es importante revisar la posibilidad de realizar la siguiente modificación:

- El proceso de “relacionamiento con la ciudadanía” debe ampliarse al relacionamiento con actores estratégicos, en donde se incluyan las comunidades, la academia y el sector público y privado para aportar en instrumentos técnicos, normativos y de política pública.

de incluir el proceso de “gestión de seguridad y privacidad de la información y continuidad de la operación” dentro de este proceso propuesto:

- Mover el proceso de apoyo “gestión del talento humano” a los procesos estratégicos. Este proceso se complementa con el proceso propuesto de “relacionamiento con actores estratégicos”, teniendo en cuenta que los principales soportes de la entidad son sus empleados, sus usuarios y sus productos y servicios. Si se cuenta con empleados capacitados y con las habilidades requeridas, se obtienen productos y servicios que satisfacen las necesidades y expectativas de los usuarios (Mazzucato, 2021).

De otra parte, es necesario revisar la pertinencia



Visita del SCC al Cañón del Chicamocha, un paso significativo en el viaje hacia la conservación del patrimonio geológico de Colombia.

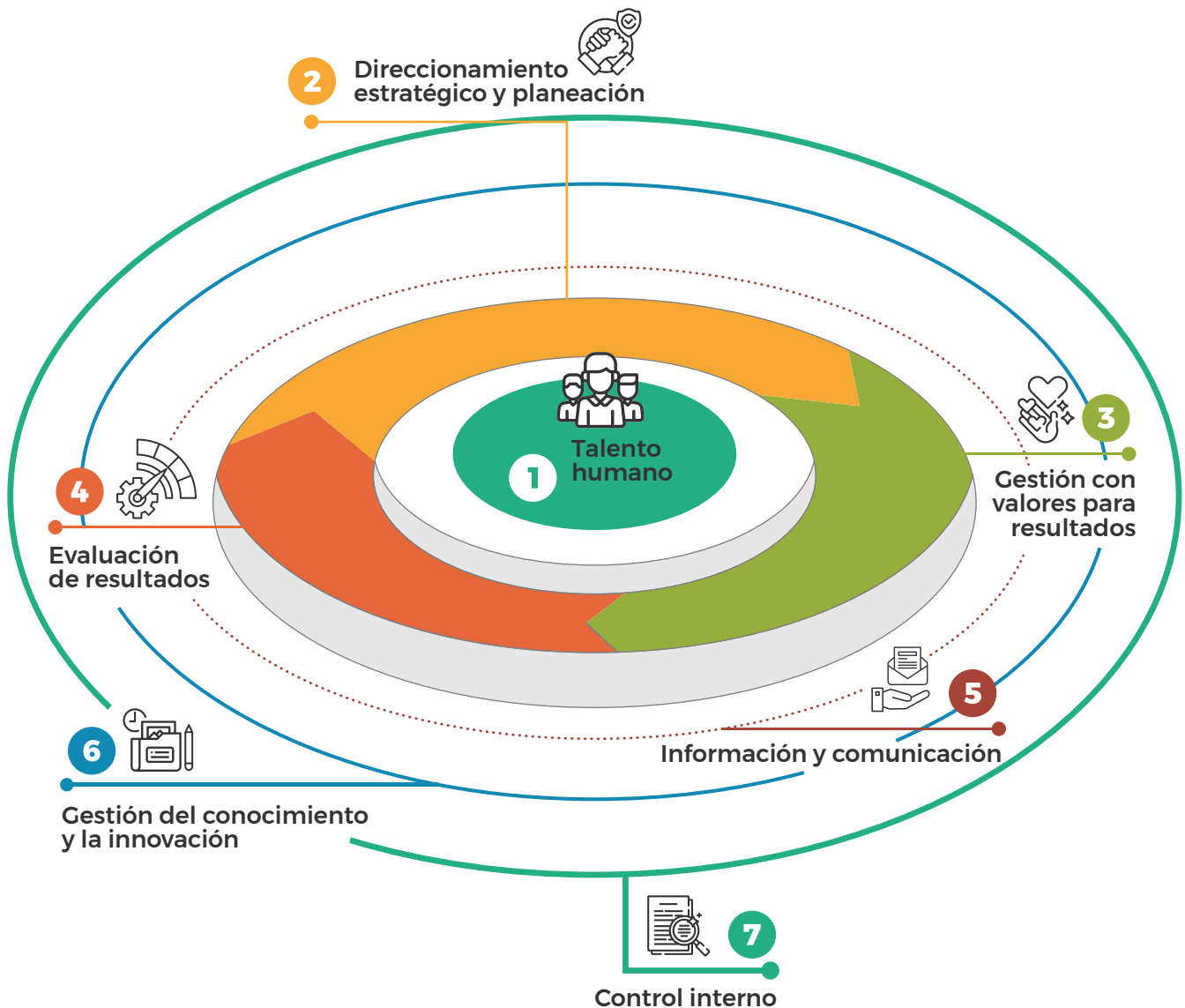
Instrumentos de planeación

El Decreto 1083 de 2015, decreto único del sector función pública, modificado por el Decreto 1499 de 2017, establece el Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG), que surge de la integración de los sistemas de desarrollo administrativo y de gestión de la calidad en un solo sistema de gestión, así como de la articulación de este con el sistema de control interno (figura 7). El SGC tiene establecido

en el Grupo de Planeación el modelo de gestión de calidad como eje fundamental para generar resultados que satisfagan las necesidades y atiendan los problemas de los ciudadanos. Esta articulación permite, dentro del MIPG y sus siete dimensiones y 19 políticas, que se cumplan la misión y la visión de la entidad en el marco del sistema de gestión de calidad y su mapa de procesos.



Figura 7. Operación del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG)



Nota: basado en Función Pública, 2017.



Las cavernas son bibliotecas del clima que, al analizarse de manera minuciosa a través de técnicas geológicas y geoquímicas, revelan misterios del pasado y sustentan proyecciones futuras sobre las condiciones ambientales del planeta.

El despliegue del MIPG se realiza a través de tres componentes: institucional, operativo y de medición. A continuación, se describe cómo están establecidos en el SGC cada uno de ellos de manera general.

Institucional

Mediante la Resolución 93 del 25 de enero de 2018 se creó el Comité Institucional de Gestión y Desempeño del SGC. Su propósito es orientar la implementación y operación del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG) en sus diferentes dimensiones, en cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 2.2.22.3.8 del Decreto 1083 de 2015. Este comité se reúne en sesión ordinaria trimestralmente y es la instancia en la que la alta dirección hace seguimiento y fija lineamientos para el logro de las metas institucionales propuestas en las diferentes herramientas de planeación de la entidad.

Operativo

Como instrumento de planeación a 10 años se tiene el presente plan decenal, que se convierte en la carta de navegación y condensa los objetivos estratégicos y las apuestas de la entidad para aportar al desarrollo del sector en el país.

El SGC dispone de una serie de instrumentos de planeación a corto, mediano y largo plazo. Entre los de corto plazo (1 a 2 años) se encuentra el Plan de Acción Anual (PAA), un proceso de planeación participativa, orientado al cumplimiento de las iniciativas alineadas con el PND.

Existen también planes institucionales contemplados en el Decreto 612 de 2018: Plan Institucional de Archivos del SGC (PINAR), Plan Institucional de Capacitación, Plan de Incentivos Institucionales, Plan Anticorrupción y de Atención al Ciudadano, Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (PETI), Plan de Tratamiento de Riesgos de Seguridad y Privacidad de la Información,

Plan de Seguridad y Privacidad de la Información, Planes Anuales de Adquisiciones, de Seguridad y Salud en el Trabajo, y de Vacantes, y Planes de Previsión y Estratégico del Talento Humano.

Como instrumento de gestión para el registro de las iniciativas de inversión y su avance, se dispone del Banco Nacional de Programas y Proyectos de Inversión Nacional (BPIN), que consolida los programas y proyectos que solicitan recursos del Presupuesto General de la Nación (con un horizonte de cinco a seis años). Como estrategia complementaria, los proyectos de la entidad se financian con recursos

del Sistema General de Regalías. Estos planes cumplen con la misión, visión y objetivos estratégicos institucionales del SGC y deben alinearse con la planeación estratégica para el logro de las metas e indicadores de impacto.

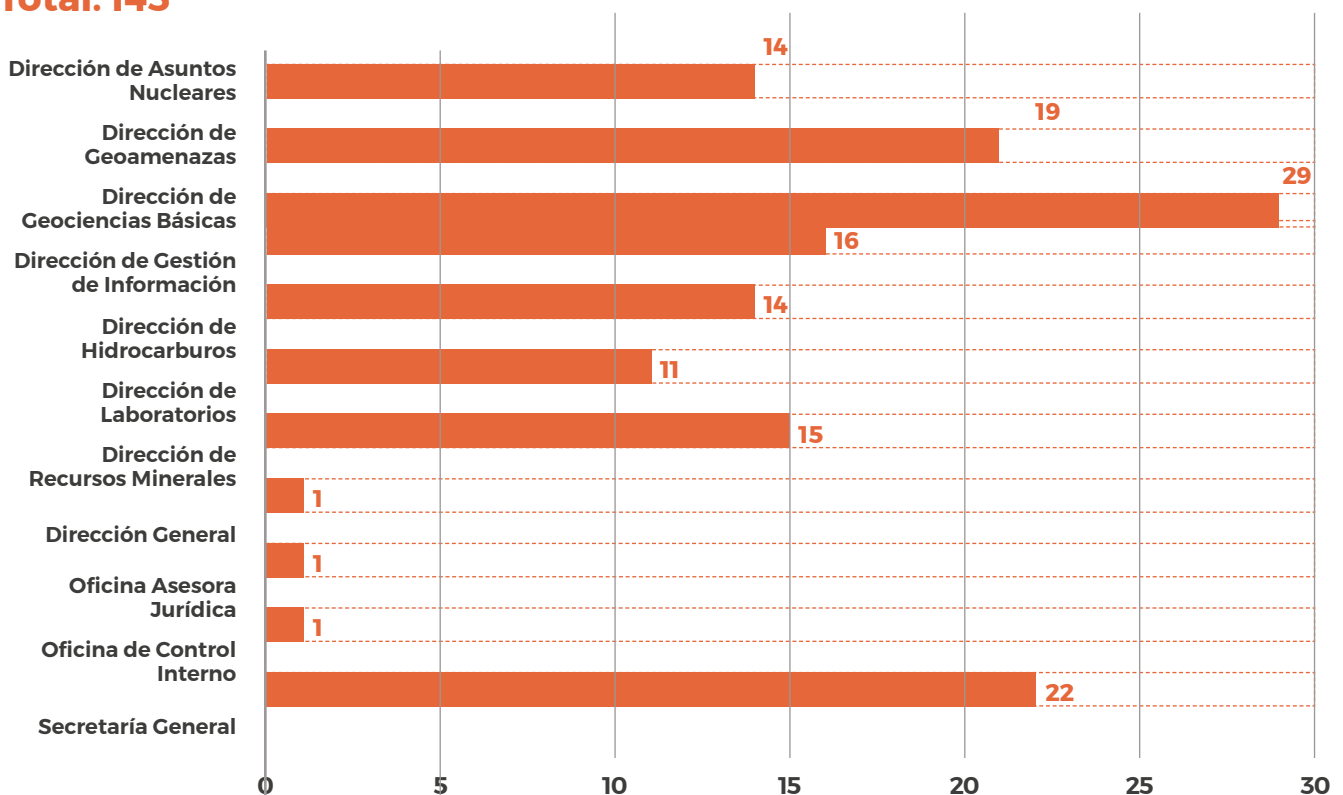
Por ejemplo, dentro del Plan de Acción para la vigencia de 2023, se ejecutaron 15 proyectos de inversión con 143 actividades a realizar por el SGC, en cumplimiento de la Ley 1474 de 2011 (artículo 74), con la respectiva distribución presupuestal y vinculando los objetivos, estrategias, proyectos, metas, responsables e indicadores de gestión (figura 8).



Figura 8. Proyectos por área del conocimiento.

Proyectos por área de conocimiento 2023

Total: 143



De medición

El SGC recolecta anualmente, por medio del Grupo de Planeación, la información que se diligencia en el Formulario Único de Reporte y Avance de Gestión (FURAG). Esta herramienta es utilizada

para el avance de la gestión y como insumo para el monitoreo, evaluación y control del desempeño institucional. También, se realiza control y seguimiento de los planes de mejoramiento y del cumplimiento de las metas propuestas.

Principales logros del SGC

El SGC cuenta con infraestructura tecnológica, equipos, instalaciones de laboratorio y personal idóneo que le han permitido avanzar significativamente en la producción y difusión de conocimiento geocientífico y nuclear. A continuación, se destacan los principales logros alcanzados a 2023:

Conocimiento geocientífico

- Evaluación de amenaza por erupción volcánica:** se ha avanzado en la evaluación de 15 de los 25 volcanes más activos del territorio nacional, lo que permite visibilizar la posibilidad de ocurrencia de erupciones que pueden causar daños y pérdidas en zonas de influencia. Al año 2023, el avance es del 65 %.
- Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia:** el SGC ha venido avanzando en el conocimiento y modelación de la amenaza sísmica para que se puedan diseñar las ciudades e infraestructuras de la mejor manera con el conocimiento disponible (Servicio Geológico Colombiano y Global Earthquake Model Foundation, 2018). A 2023 presenta un avance del 75 %.
- Mapa metalogénico:** compila información sobre la distribución espacial y temporal, las relaciones geológicas, ambiente y procesos de formación de los depósitos y ocurrencias minerales en el territorio nacional, agrupándolos en entidades metalogénicas cuando la información existente así lo permite. De este modo, se orientan las decisiones para la gestión responsable y estratégica de los minerales estratégicos del país.
- Atlas geoquímico de Colombia:** esta colección de mapas temáticos representa la distribución espacial de la concentración de elementos químicos en el territorio nacional, en suelos, sedimentos y aguas. Esta información permite complementar y ro-
- Mapa geofísico de Colombia:** compila información geofísica que provee datos indirectos sobre la presencia de estructuras y características de interés en el subsuelo, como aguas subterráneas, recursos minerales y geotérmicos, gases de interés en la transición energética y posibles elementos generadores de geoamenazas. Esta información puede ser aplicada en cartografía geológica básica, gestión del riesgo, ambiental, de recursos del subsuelo y del territorio. El avance a 2023 es del 45 % de cobertura del territorio nacional.
- La cartografía geológica de Colombia:** es un insumo para la gestión sostenible de bienes naturales y del ambiente, incluyendo la evaluación de los riesgos geológicos. Da indicios de la evolución del paisaje, la disponibilidad de agua subterránea y la presencia de minerales y energéticos, entre otros. El SGC ha avanzado en la cartografía geológica del país a diferentes escalas, particularmente 1:100.000. En este plan se dará prelación a escalas 1:25.000 o más detalladas para proporcionar información científica que permita la toma de decisiones.
- Conocimiento geotérmico del país:** el SGC ha avanzado en la investigación de esta energía renovable, obtenida mediante el calor del interior de la Tierra. Se han cubierto áreas geotérmicas hidrotermales de Paipa, Santa Rosa, Nereidas-Botero Londoño, San Diego, Cerro Machín y Azufral. También se

han confirmado anomalías térmicas mediante perforaciones de gradiente geotérmico en el área de Paipa, se ha elaborado el mapa regional de gradiente geotérmico del país y del flujo de calor en la cuenca geológica Llanos Orientales, y se ha estimado el potencial geotérmico a partir de los manantiales termales.

- **Implementación del sistema de gestión del patrimonio geológico y paleontológico de la Nación:** se ha avanzado en la caracterización, valoración y diagnóstico del estado de conservación de 13 sitios de la geodiversidad y de 23 colecciones geológicas y paleontológicas. En octubre de 2023 se radicó ante Función Pública la propuesta de resolución para establecer las medidas de gestión integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico inmueble de la Nación, de conformidad con el Decreto 1353 de 2018. Este avance permitirá establecer las declaratorias de geotopos y de Zonas de Protección Patrimonial Geológica y Paleontológica, y reglamentar el trámite de Autorización para realizar obras en Zonas de Protección Patrimonial Geológica y Paleontológica.
- **Conocimiento de fallas activas para el establecimiento de la actividad neotectónica del territorio:** se ha avanzado en la caracterización y evaluación del potencial sismogénico en el sector de la cordillera Oriental, entre el piedemonte y la Falla de Servitá, desde el municipio de Acacías (Meta) hasta el municipio de Medina (Cundinamarca). También en el Sistema de Fallas Dagua-Calima, entre los municipios de Dagua y Riofrío en el Valle del Cauca (borde oriental de la cordillera Occidental). Con estos trabajos se espera mejorar el conocimiento de amenaza sísmica para ciudades como Cali, Bogotá y Villavicencio.
- **Estudios metodológicos para la eliminación de mercurio y cianuro de la mi-**

nería aurífera: se realizan con el fin de aportar a la salud de las poblaciones que viven en las zonas de actividades de extracción y sus inmediaciones, así como a la protección del ambiente. A 2023 se han elaborado 17 estudios y 14 guías metodológicas para la eliminación del mercurio, pero se espera complementarlas e incluir la eliminación del cianuro.

- **Obtención y caracterización de nanocompuestos de carbono:** se obtienen a partir de carbones de alto rango tipo antracita y semiantracita. Sus propiedades electroquímicas los hacen idóneos en aplicaciones electrónicas, lo que permite dar un valor agregado al recurso carbonífero, generando materiales necesarios para la transición energética justa.
- **Estudio del contenido de tierras raras:** la identificación, cuantificación y determinación de tierras raras presentes en los patios de cenizas de carbón producidas en la generación de energía eléctrica son una fuente potencial en la transición energética justa y en la generación de nuevos materiales. Estos elementos son estratégicos en estas áreas mencionadas y en el marco de la economía circular.

Conocimiento nuclear y radiactivo

- **Control regulatorio del uso del material radiactivo en el territorio nacional:** se realizaron actividades de vigilancia, control y expedición de autorizaciones de licenciamiento y control de material radiactivo en el país. Se realizó el almacenamiento temporal de fuentes radiactivas en desuso que no han sido reexportadas a su país de origen, empleando la instalación centralizada de gestión de desechos radiactivos. A 2023, se ha trasladado el 99 % de las unidades del almacén transitorio de fuentes a la instalación centralizada.



Experto del SGC operando el reactor nuclear de investigación IAN-R1, ubicado en Bogotá, y que está a cargo de la entidad desde 1965.

- **Investigaciones nucleares y radiactivas:** se fortalece el aporte de las tecnologías nucleares y radiactivas en estudios orientados al entendimiento de los ciclos del agua y del carbono, de la seguridad alimentaria, del cambio climático, de la cartografía geológica y de dataciones para estimar las edades de materiales geológicos que contribuyan a la generación de conocimiento geocientífico.
- **Reactor nuclear IAN-R1:** esta instalación contribuye a la misión institucional mediante la irradiación de muestras de tipo geológico para la determinación elemental usando la técnica de Análisis por Activación Neutrónica (AAN). Además, puede usarse en el proceso de datación de muestras por huellas de fisión y, potencialmente, para la producción de algunos radioisótopos útiles en hidrología, agricultura y procesos industriales. Adicionalmente, este reactor puede servir para entrenamiento y reentrenamiento de personal en

ciencias nucleares y su promoción mediante visitas del sector académico y otras partes interesadas.

Infraestructura tecnológica

- **Alineación de la infraestructura tecnológica con los procesos misionales del SGC:** lo que permite mejorar la operación, la asignación eficiente de recursos, la toma de decisiones y la gestión de riesgos.
- **Modernización tecnológica:** para una mejor gestión de la información y del conocimiento, con el fin de facilitar su acceso y uso por parte de los diferentes usuarios.
- **Modernización de la gestión de información geocientífica:** lo que permite disponer de datos confiables y de buena calidad que sirven como insumo para las investigaciones y estudios que adelanta el SGC y para los usuarios externos.

Principales desafíos del SGC

En el marco de la metodología aplicada y con base en el contexto estratégico descrito anteriormente, se

identificaron los desafíos del país y, posteriormente, se precisaron los del SGC dentro de su misión.

Principales desafíos del país:

1. Protección de la vida de las personas y de los ecosistemas.
2. Transición energética justa, segura, confiable y eficiente.
3. Mitigación de los efectos del cambio climático.
4. Conocimiento de las aguas subterráneas como parte del ciclo del agua para una mejor adaptación al cambio climático y el bienestar de la población.
5. Uso y aprovechamiento del conocimiento nuclear y radiactivo.
6. Acceso y uso del conocimiento geocientífico por parte de la población colombiana.
7. Aprovechamiento de materiales geológicos para el desarrollo sostenible del país.
8. Desarrollo de la geología médica y la geoquímica ambiental para apoyar la toma de decisiones en ordenamiento territorial, ambiental y de riesgos.
9. Fortalecimiento institucional para recuperar la confianza de la ciudadanía.
10. Mejoras tecnológicas mediante desarrollos propios y tecnologías de datos abiertos.
11. Uso seguro y pacífico de las tecnologías nucleares y de las radiaciones ionizantes.

Desafíos del SGC:

1. Generar conocimiento geocientífico para proteger la vida y conservar o recuperar los ecosistemas.
2. Mejorar el conocimiento geocientífico en Colombia para contribuir a la transición energética justa.
3. Investigar y generar conocimiento sobre fuentes energéticas como la geotermia, el gas natural, el hidrógeno blanco y el almacenamiento de CO₂ en el subsuelo para mitigar los efectos del cambio climático.
4. Comprender integralmente el ciclo del agua superficial y subterránea para diseñar e implementar medidas que fortalezcan el abastecimiento responsable y sostenible.
5. Implementar técnicas nucleares y radiactivas en estudios para la protección del agua, el ambiente, la gestión de riesgos, la salud pública, la soberanía alimentaria y la protección del patrimonio histórico.
6. Facilitar el acceso al conocimiento geocientífico para toda la población colombiana.
7. Fortalecer la investigación básica y aplicada, así como la caracterización de materiales geológicos para el desarrollo sostenible.

- 8. Mejorar el uso y aprovechamiento de los minerales del país, considerando su relación con otros elementos naturales, sociales y productivos.
- 9. Capacitar al talento humano y estructurar una organización con vocación de servicio, tecnología e innovación orientada al cumplimiento de los objetivos planteados.
- 10. Establecer una gobernanza basada en ciencia ciudadana y aplicada, con participación efectiva y articulación con actores sociales y comunitarios, y fortalecer los grupos de investigación para responder a las necesidades sociales e institucionales.
- 11. Robustecer las actividades de licenciamiento e inspección de las instalaciones radiactivas y la gestión de desechos radiactivos.



El diapirismo de lodos es típico del llamado cinturón del Sinú, en la franja de rocas de la región costera colombiana situada entre el golfo de Urabá y Barranquilla, que incluye igualmente las zonas marinas de plataforma continental.



A desert landscape with eroded hills and a large orange diagonal graphic. The background shows a vast, arid landscape with eroded hills and a large orange diagonal graphic. The text '03' is prominently displayed in white on the orange graphic.

03

Pilares estratégicos

El Servicio Geológico Colombiano (SGC) tiene como objeto realizar la investigación científica básica y aplicada al potencial del subsuelo, adelantar el seguimiento y monitoreo de amenazas de origen geológico, administrar la información del subsuelo, garantizar la gestión segura de las instalaciones y materiales nucleares y radiactivos en el país, coordinar proyectos de investigación en aplicaciones nucleares (con las limitaciones del artículo 81 de la Constitución Política) y manejar el Reactor Nuclear de la Nación (Decreto 4131 de 2011, artículo 3).

Principios de la planeación estratégica

Se definieron los siguientes principios para la construcción de la planeación estratégica con el fin de establecer propósitos superiores a alcanzar como entidad:

1. Planeación orientada a una gestión para el bienestar de la población.
2. Producción de conocimiento geocientífico y nuclear multipropósito y con enfoque de ciencia contributiva que facilite la generación de cadena de valor.
3. Creación de valor público a través del mejoramiento de los servicios que presta a la ciudadanía y del impacto en instrumentos técnicos, normativos y de política.
4. Fortalecimiento de las TIC y de la innovación para la optimización de los productos y servicios que presta el SGC.
5. Mayor articulación con la comunidad, los sectores público y privado, y la academia para la generación, apropiación, divulgación y uso del conocimiento.



6. Transformación institucional para el logro de los objetivos planteados.
7. Mayor reconocimiento y visibilidad del SGC.

Misión

Generar y difundir conocimiento geocientífico y nuclear para el entendimiento del ciclo del agua, el cambio climático, las dinámicas geológicas, los recursos minerales y energéticos del subsuelo, el patrimonio geológico y el paleontológico, con el fin de contribuir al bienestar y equilibrio eco y geosistémico del país.

Visión

Para el año 2032, el SGC será el centro de investigación referente en la generación y apropiación del conocimiento geocientífico y nuclear, así como en la identificación y elaboración de propuestas innovadoras que contribuyan al bienestar de la población.



Cauce del río Molinos, en cercanías del sector del Valle Tumbas (Parque Nacional Natural Los Nevados). Por aquí descendieron los lahares y descargas que se produjeron por la erupción del volcán Nevado del Ruiz (13 de noviembre de 1985) y que causaron el fallecimiento de más de 2000 personas en los municipios de Villamaría y Chinchiná (Caldas).

Objetivos estratégicos

1. Generar y difundir conocimiento geocientífico y nuclear que aporte a la economía del país, mediante la generación de insumos para la planeación de actividades productivas, la reindustrialización y el aprovechamiento responsable del suelo, subsuelo, minerales y agua.
2. Aumentar el conocimiento geocientífico que contribuya al ordenamiento territorial mediante la generación de información para la gestión del riesgo y la soberanía nacional.
3. Contribuir a la Transición Energética Justa con la caracterización de todos los recursos geotérmicos del territorio nacional y con la estimación del potencial geotérmico e investigaciones sobre hidrógeno blanco, almacenamiento de CO₂ y minerales estratégicos.
4. Aportar al bienestar de la población mediante la generación de conocimiento geocientífico y nuclear para la toma de decisiones sobre seguridad alimentaria y salud pública.
5. Contribuir a la preservación del ambiente a través de la generación de información geocientífica para la mitigación del cambio climático y la regulación del ciclo del agua.
6. Aportar al mejoramiento de la infraestructura vial y la vivienda a partir de la investigación, monitoreo, evaluación de potencial e innovación en el análisis de minerales.
7. Promover la preservación del patrimonio geológico, espeleológico y paleontológico del país.
8. Lograr una transformación institucional a partir de una estructura organizacional funcional, del talento humano y del relacionamiento con actores estratégicos, para una mejor atención de las necesidades de la población.

Estrategia de innovación

Se define una estrategia que permita, entre otros: i) responder a los desafíos identificados; ii) encontrar nuevas o mejores formas de alcanzar las metas; iii) gestionar de manera eficiente y transparente los recursos, abarcando desde la identificación y aplicación de criterios de priorización y focalización, hasta la divulgación de resultados; iv) generar valor público (ESAP, 2019), y v) contemplar escenarios futuros que orienten la investigación a partir de la prospectiva en ciencia, tecnología e innovación.

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y Eurostat (2018), hay dos tipos principales de innovación: “innovaciones que cambian los productos de la organización” e “innovaciones que cambian los procesos de la organización”. Para esta sección, se tendrá en cuenta la innovación social, entendida como el desarrollo e implementación de nuevas ideas (productos, servicios y modelos) para cubrir necesidades sociales (European Commis-

sion, 2013; figura 9). De esta forma, se espera que la entidad sea impulsada por la creatividad y la experimentación, y, de este modo, se implementen las innovaciones institucionales necesarias para el logro de propósitos superiores que atiendan a los grandes desafíos que enfrenta el país.

Así, el SGC priorizará la estrategia de la innovación social con el fin de promover la apropiación social del conocimiento, el desarrollo de soluciones a partir de métodos participativos y de co-creación, y el impulso a las capacidades científicas en las comunidades y la ciudadanía en torno a la soberanía sanitaria y bienestar social, energía sostenible, eficiente y asequible, derecho a la alimentación y bioeconomía, ecosistemas naturales y territorios sostenibles. Esta estrategia de innovación se focaliza en los productos, servicios y procesos actuales que se generan en el SGC, los cuales están articulados con las Políticas Orientadas por Misiones (POM) implementadas en el PND 2022-2026. Este tipo de política reconoce que la



Figura 9. Proceso de innovación social



Nota: tomado de “Proceso de innovación social desarrollado por People & Business”.

innovación tiene un ritmo, pero también una dirección y, por lo tanto, es un medio para abordar los retos complejos de la sociedad, del ambiente y de la economía (Mazzucato, 2018).

Adicionalmente, el SGC, a nivel interno, presenta diferentes retos que fueron determinados en el autodiagnóstico del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG) en torno a la gestión de la innovación. Por eso, se deben enfocar esfuerzos en la identificación de métodos de innovación en los grupos de trabajo y en las direcciones técnicas.

También se deben llevar a cabo las siguientes acciones de mejora en torno a la innovación:

1. Implementar una estrategia de cultura organizacional orientada a la innovación en el SGC y analizar sus resultados.
2. Identificar, analizar, evaluar y poner en marcha métodos para aplicar procesos de innovación en el SGC.
3. Priorizar las necesidades de tecnología para la gestión del conocimiento y la innovación en el SGC y contar con acciones a corto, mediano y largo plazo para su adecuada gestión y evaluarlas periódicamente.



Toma de muestra para análisis fisicoquímicos y de isótopos estables en la laguna La Virgen, ubicada en el Páramo de Santurbán (Santander).



S

C

S



04

Componente programático

En esta sección se describen los programas que el Servicio Geológico Colombiano (SGC) va a ejecutar en un horizonte de 10 años, los cuales están dirigidos a impactar el bienestar de la población y el equilibrio ecológico y geosistémico. Se clasifican en misionales y habilitadores (figura 10). Por un lado, los programas misionales apuntan

a la generación de conocimiento geocientífico y nuclear. Los habilitadores, por otro lado, facilitan el cumplimiento de los programas misionales e impulsan la transformación del SGC. Ambos tipos de programas están constituidos por proyectos, y estos a su vez por componentes (anexo técnico).



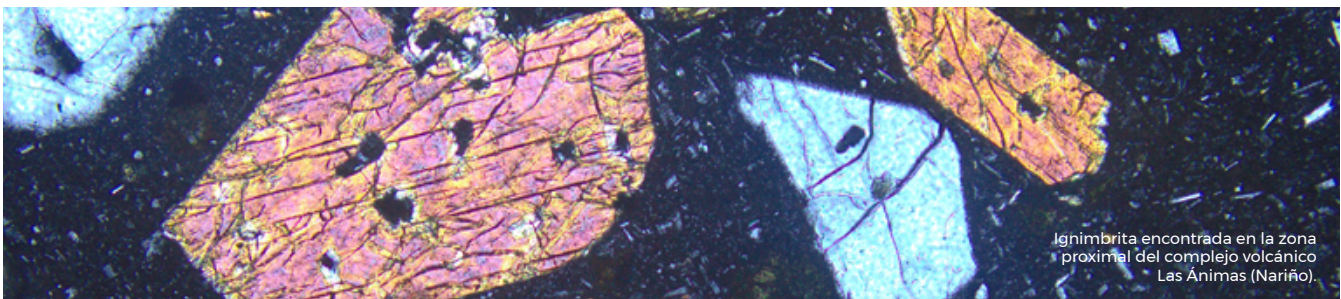
Figura 10. Mapeo de programas del Servicio Geológico Colombiano



Programas misionales

Se definieron ocho programas misionales que orientan los logros del SGC hacia el año 2032. Estos buscan dar respuesta a los desafíos sociales, ambientales y económicos identificados en su marco misional (tabla 13). La justificación, detalles, productos esperados y metas acumuladas de cada programa, junto con sus proyectos y componentes, se pueden consultar en el anexo técnico:

1. Generación de conocimiento geocientífico que contribuya a tomar decisiones para el **ordenamiento y desarrollo del territorio**, la gestión del riesgo, la soberanía nacional y la seguridad alimentaria con el fin de aportar al bienestar y el desarrollo sostenible.
2. Contribución a la **transición energética justa** por medio de la investigación y la generación de conocimiento geocientífico sobre fuentes energéticas del subsuelo como geotermia, gas natural e hidrógeno blanco, y contaminantes asociados a hidrocarburos.
3. Generación de **conocimiento geocientífico del paleoclima** para la adaptación y mitigación del cambio climático.
4. Generación de conocimiento hidrogeológico con miras a **completar el entendimiento del ciclo del agua**, para mejorar su cuidado y manejo estableciendo las interrelaciones de los acuíferos, manantiales y las zonas de recarga como aporte al cumplimiento de los ODS.
5. **Conocimiento nuclear y radiactivo** aplicado a la salud pública, la preservación del ambiente y del patrimonio natural y cultural.
6. Implementación del **Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico** de la Nación para su identificación, protección, conservación, rehabilitación y divulgación.
7. **Investigación y caracterización química y geomecánica** aplicada a las geociencias a partir de estudios y ensayos validados y de calidad que permiten obtener información básica y transversal en el conocimiento geocientífico.
8. **Investigación en minerales** para la toma de decisiones sobre su aprovechamiento responsable, desde un enfoque de seguridad alimentaria, gestión ambiental, salud pública, industrialización e infraestructura.



Ignimbrita encontrada en la zona proximal del complejo volcánico Las Ánimas (Nariño).


Tabla 13. Indicadores de impacto asociados a los programas misionales

Indicador	2023	2026	2030	2032
Número de municipios beneficiados por el fortalecimiento del conocimiento de amenazas y riesgos geológicos en su territorio	787	900	1050	1122
Sectores impactados con estudios de riesgo y de potencial minero	2 Minero-Energético y Ambiente y Desarrollo Sostenible	5 Salud, Agricultura y desarrollo rural	9 Vivienda y agua potable	11 Hacienda y Estadística
Número de distritos mineros con caracterización de huella digital de minerales de interés estratégico y ambiental	0	12	22	28
Sectores con información especializada disponible a usuarios soportada con herramientas tecnológicas	2 Minero-Energético y de hidrocarburos	4 Ambiente y Desarrollo Sostenible Aguas subterráneas Minas y energía Geotermia		
Áreas industrializadas del país con alternativa de captura de CO ₂ identificada	0	2	3	4
Nuevas alternativas para reconversión de matriz energética identificadas	1 Geotermia	1 Geotermia	2 Hidrógeno blanco	

Número de unidades productivas con alternativas para mejorar el proceso de beneficio y disposición de residuos	0	40 %	80 %	100 %
Materiales y determinación de tierras raras producidos a partir de residuos y subproductos industriales para su incorporación en cadenas productivas	0	2	3	4
Sectores que fortalecen la capacidad de gestión y productividad a partir del conocimiento de radiación ionizante	1 Salud	2 Salud Ambiente	3 Salud Ambiente Agricultura	4 Salud Ambiente Agricultura Industria



Flanco norte del volcán Pan de Azúcar, ubicado en el extremo suroriental de la Cadena Volcánica de Los Coconucos (Cauca - Huila).

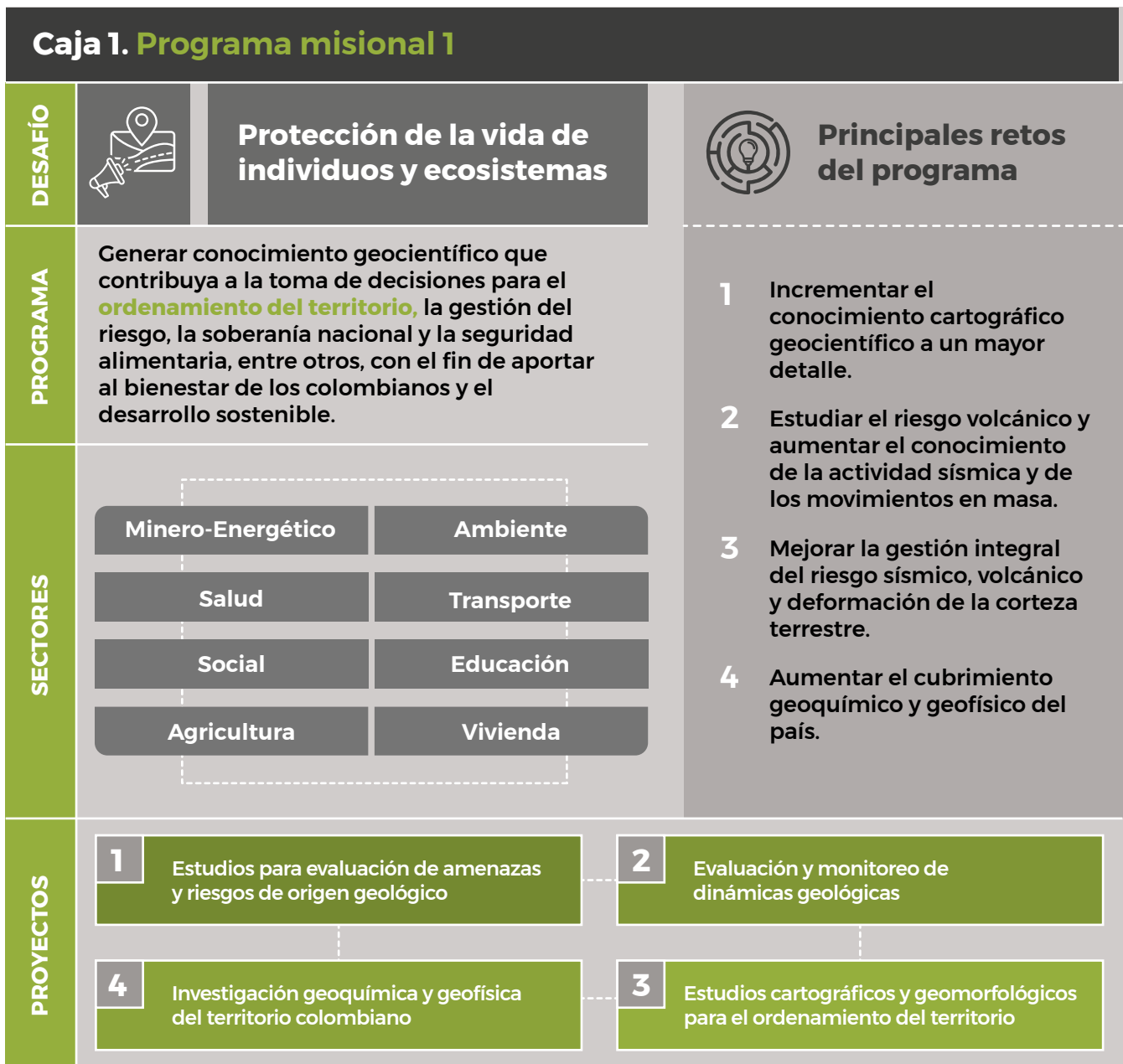
Ordenamiento territorial

Programa misional 1. Generación de conocimiento geocientífico que contribuya a tomar decisiones para el ordenamiento del territorio, la gestión del

riesgo, la soberanía nacional y la seguridad alimentaria, con el fin de aportar al bienestar de los colombianos y al desarrollo sostenible (figura 11).



Figura 11. Programa misional 1. Generación de conocimiento geocientífico para el ordenamiento territorial





Movimiento en masa ocurrido en Quetame (Cundinamarca) el 18 de julio de 2023.

Descripción del programa

El SGC busca contribuir en los planes de ordenamiento territorial y en los planes de gestión del riesgo, atendiendo las necesidades de las comunidades expuestas.

El SGC provee la base de conocimiento geocientífico de superficie (cartografía geológica, geomorfológica y del subsuelo, informes técnicos, y mapas geológicos) que permite construir modelos de evolución geológica y configuración del paisaje, reconstruir la temporalidad de eventos geológicos y entender las condiciones en las cuales se formaron las unidades geológicas. Esto con el fin de aportar a la toma de decisiones informadas relacionadas con el suelo y el subsuelo en términos de desarrollo científico, ordenamiento y soberanía del territorio, gestión del riesgo y apropiación social del conocimiento con soportes técnicos robustos.

La generación de conocimiento geoquímico y geofísico multipropósito se constituye también como referencia y fundamento para el ordenamiento territorial. La geoquímica, por ejemplo, provee datos sobre la presencia, distribución y concentración de elementos químicos, tanto de aquellos que

se consideran estratégicos como de los potencialmente peligrosos (EPP), que restringen ciertos usos del suelo y su potencial productividad. La geofísica, a su vez, genera información sobre la composición, disposición estructural y relación espacial de los diferentes componentes del subsuelo, a partir de la identificación de anomalías de diferentes propiedades físicas de este.

Con esta información integral, el Estado cuenta con herramientas geocientíficas para tomar decisiones sobre la gestión del territorio, como definir el uso del suelo de acuerdo con sus características, generar estrategias para el aprovechamiento responsable o la preservación de los recursos minerales y plantear planes de gestión ambiental y de gestión de riesgos de origen geoquímico y geológico.

Impacto al que contribuye

Municipios beneficiados por el conocimiento de amenazas y riesgos geológicos en su territorio.

Este programa se compone de cuatro proyectos y 12 componentes. La descripción de los proyectos se encuentra en el anexo 1: Programa misional 1. En la tabla 14 se muestra su estructuración, con los respectivos productos esperados y metas acumuladas.


Tabla 14. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 1

Programa 1. Generación de conocimiento geocientífico que contribuya a tomar decisiones para el ordenamiento del territorio, la gestión del riesgo, la soberanía nacional y la seguridad alimentaria, con el fin de aportar al bienestar de los colombianos y al desarrollo sostenible						
Proyecto	Componentes	Producto esperado	Metas acumuladas			
			Línea base	2026	2030	2032
1. Estudios para la evaluación de la amenaza y riesgo de origen geológico	1.1 Investigación sobre amenaza y riesgo volcánico	Documentos de investigación de amenazas y riesgos de origen geológico, que contienen: <ul style="list-style-type: none"> Investigaciones sobre amenaza y/o riesgo volcánico Investigación sobre amenaza y/o riesgo sísmico Estudios realizados por movimientos en masa 	15	51	87	105
	1.2 Investigación sobre amenaza y riesgo sísmico					
	1.3 Investigación sobre amenaza y riesgo por movimientos en masa					
	1.4 Actualización del mapa de amenaza y monitoreo para la Región Eje Cafetero	Actualización del mapa de amenaza y monitoreo para la Región Eje Cafetero	0	90 %	no aplica	no aplica
2. Evaluación y monitoreo de dinámicas geológicas	2.1. Investigación y monitoreo de la actividad volcánica	Sistema de información de amenazas y riesgos de origen geológico	10 %	46 %	86 %	100 %
	2.2. Investigación y monitoreo de la actividad sísmica					
	2.3 Investigación de la deformación de la corteza terrestre					

3. Investigación geoquímica y geofísica sobre el territorio colombiano	3.1. Investigación en geoquímica multipropósito	Nuevas actualizaciones del Mapa Geofísico de Colombia	0	1	1	0
	3.2. Investigación en geofísica multipropósito	Nuevas actualizaciones del Atlas Geoquímico de Colombia	0	1	1	0
4. Estudios cartográficos y geomorfológicos para el ordenamiento del territorio	4.1. Cartografía geológica del territorio colombiano	Mapas geológicos a escala 1:100.000 y memoria explicativa	71,60 %	71,80 %	71,80%	71,80 %
		Mapas geológicos a escala 1:25.000 y memoria explicativa	24	41	53	60
		Mapas morfológicos del fondo marino	0	2	6	8
	4.2. Estudios geológicos de la evolución y configuración del paisaje a escalas semi regionales y locales	Mapas temáticos a escala 1:50.000	10	12	12	15
		Mapas temáticos a escala 1:25.000	25	26	28	30
		Informes temáticos	17	20	22	24
	4.3. Cartografía geológica de volcanes e investigaciones vulcanológicas	Mapas de complejos volcánicos 1:25.000	10	12	13	15
		Informes sobre complejos volcánicos	10	11	12	13
	4.4. Evolución geológica del territorio colombiano mediante técnicas geocronológicas, isotópicas y geoquímicas	Proyectos con aplicación de técnicas geocronológicas, isotópicas y geoquímicas	10	13	18	24
		Prestación de servicios de datación, isotopía y geoquímica	830	900	1000	1100

Transición energética justa

Programa misional 2. Contribución a la transición energética justa por medio de la investigación y la generación de conocimiento geocientífico sobre

fuentes energéticas del subsuelo como geotermia, gas natural e hidrógeno blanco, y contaminantes asociados a hidrocarburos. (figura 12).



Figura 12. Programa misional 2. Contribución a la transición energética justa



Descripción del programa

El SGC es un aliado fundamental en la búsqueda de alternativas no convencionales para la reconversión de la matriz energética de Colombia, tanto para proyectos locales como regionales o nacionales.

Este programa responde a un requerimiento global que el Gobierno nacional ha reconocido como prioritario y estratégico para hacer frente a la necesidad que la humanidad tiene de descarbonizar la economía. Por eso resulta conveniente ampliar el conocimiento sobre alternativas que permitan complementar las fuentes de energía ya identificadas y en uso, para sustentar actividades productivas, comunitarias y familiares con opciones de bajo impacto e innovadoras. De la misma manera, se contribuye al análisis y diagnóstico técnico sobre los impactos que ha provocado el desarrollo de los combustibles fósiles, en consonancia con los principios de justicia social y ambiental durante este proceso de transición energética.

El programa busca tener un mayor conocimiento sobre las zonas con potencial energético de subsuelo, dotando a Colombia de una línea base suficiente para que el Estado continúe un proceso asertivo de evaluación de fuentes no convencionales que se

conviertan en alternativas para la reconversión del sector productivo, de vivienda, etc. Asimismo, se investigan fuentes convencionales de energía como el gas, asegurando la soberanía energética para respaldar los retos de la transición energética. Su objetivo es la reconversión de la matriz energética actual que, según cifras de 2021, muestra que el 46 % depende del petróleo y sus derivados, mientras que el 7 % depende del carbón, con el cual se atienden los sectores de mayor demanda: 44 % del transporte y 28 % de la industria. Además, en Colombia aún existen hogares sin energía eléctrica, principalmente en zonas rurales, donde se estima que entre 500 mil y 800 mil hogares, es decir, entre 1,5 y 2 millones de personas, aún no acceden al servicio, principalmente en la región Amazónica y el Pacífico.

Impacto al que contribuye

Nuevas alternativas de conversión de matriz energética identificadas.

Este programa se compone de un proyecto con cuatro componentes. La descripción del proyecto se encuentra en el anexo 1: Programa misional 2. En la tabla 15 se muestra su estructuración, con los respectivos productos esperados y metas acumuladas.



Tabla 15. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 2

Programa 2. Contribución a la transición energética justa por medio de la investigación y la generación de conocimiento geocientífico sobre fuentes energéticas del subsuelo como geotermia, gas natural e hidrógeno blanco, y contaminantes asociados a hidrocarburos						
Proyecto	Componentes	Producto esperado	Metas acumuladas			
			Línea base	2026	2030	2032
1. Investigación en fuentes energéticas no convencionales para la reconversión energética nacional que contribuya al bienestar social y la economía sostenible	1.1 Evaluación de yacimientos de gas natural	Evaluación de cuencas sedimentarias prospectivas para gas	3	6	8	10

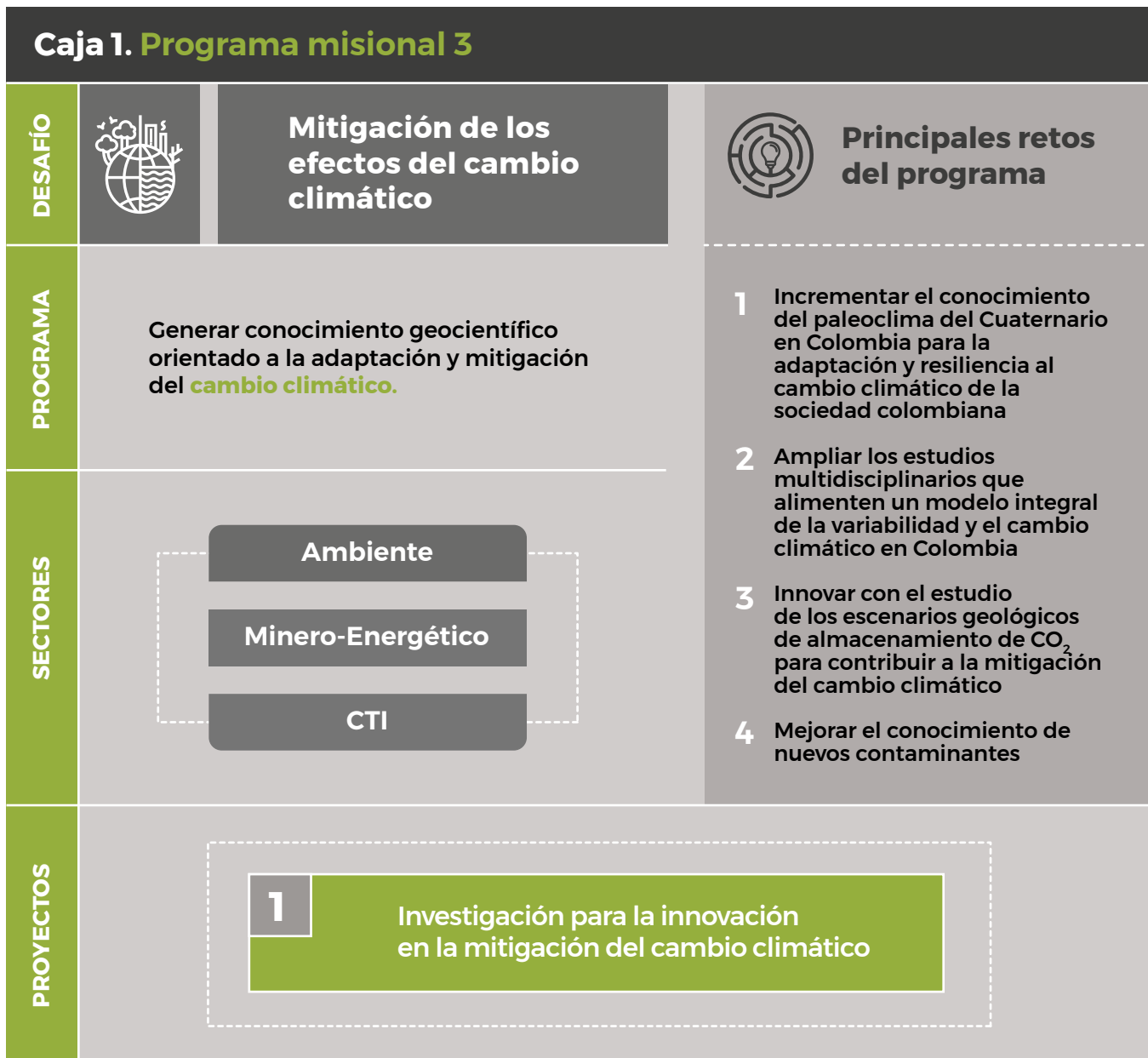
	1.2 Investigación sobre hidrógeno blanco	Evaluación de áreas prospectivas de hidrógeno blanco en cuencas sedimentarias y rocas máficas y ultramáficas	0	2	4	6
	1.3 Investigación sobre recursos geotérmicos	Modelamiento conceptual de sistemas geotérmicos hidrotermales convectivos	2	3	4	5
		Identificación de áreas con mayor favorabilidad geotérmica	1	2	2	3
		Modelamiento de áreas con potencial geotérmico somero	0	1	1	2
		Cálculo y modelamiento del flujo de calor en sistemas volcánicos y cuencas sedimentarias	1	4	5	6
	1.4. Investigación de contaminantes asociados a hidrocarburos	Investigación del origen de manifestaciones superficiales de hidrocarburos	0	2	3	5
		Investigación de contaminante en rocas generadoras de hidrocarburos	0	2	3	4

Paleoclima y cambio climático

Programa misional 3. Generación de conocimiento geocientífico del paleoclima para la adaptación y mitigación del cambio climático (figura 13).



Figura 13. Programa misional 3. Generación de conocimiento geocientífico orientado a la adaptación y mitigación del cambio climático





Las estalactitas y estalagmitas (rocas que nacen del techo y del suelo, respectivamente), se producen por la interacción permanente entre el agua y ciertos minerales. Su composición revela, por ejemplo, cómo fueron los sistemas de vientos y de lluvias hace miles de años.

Descripción del programa

Los efectos del cambio climático ya son perceptibles: el incremento de la temperatura media anual, fenómenos climatológicos extremos como sequías o inundaciones asociados a ENSO cada vez más frecuentes, el ascenso del nivel medio del mar, la acidificación de los océanos, la desaparición de glaciares, la modificación de ecosistemas, la aparición de plagas, el aumento de enfermedades por propagación de vectores en lugares donde antes no existían y la disminución de la productividad agroindustrial, entre otros. Estos efectos intensifican la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria, el acceso al agua, la salud y, en últimas, el desarrollo económico y social de Colombia.

Para que los tomadores de decisiones actúen de manera adecuada en el diseño de medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, es necesario contar con información científica robusta que permita entender cómo han interactuado los componentes del sistema climático en el pasado reciente, particularmente el Holoceno, y cómo fueron sus variaciones a nivel nacional y local. Esto se logra a través de la investigación en archivos climáticos naturales como sistemas glaciares, sedimentarios (como sedimentos de lagunas, marinos o eólicos) y sistemas kársticos (cuevas y cavernas), que permitan mejorar los modelos nacionales y globales de cambio climático.

Adicionalmente, el estudio del clima a través de la generación de conocimiento del ciclo de carbono y los gases de efecto invernadero permite entender las dinámicas inmediatas del cambio climático y nos proporciona herramientas para enfocarnos en cómo Colombia puede disminuir su huella de carbono.

Los proyectos que se describen a continuación contienen los estudios propuestos por el SGC para contribuir al entendimiento del paleoclima y el cambio climático. Sin embargo, es fundamental articularse con los sectores de medio ambiente, clima, océano, salud, gestión del riesgo, entre otros, para que la información que se produzca a través de las investigaciones se materialice en recomendaciones de política pública, que contribuyan a la mitigación y adaptación al cambio climático, así como a mejorar la calidad de vida de los colombianos.

Impacto al que contribuye

Estas investigaciones aportarán a diversos sectores como el agropecuario, salud, ambiente, energía, infraestructura, entre otros. En general, los estudios de paleoclima y cambio climático beneficiarán a las regiones, especialmente en torno a la disponibilidad de agua.

Este programa se compone de un proyecto con cuatro componentes. La descripción de los proyectos se encuentra en el anexo 1: Programa misional 3. En la tabla 16 se muestra su estructuración, con los respectivos productos esperados y metas acumuladas.



Tabla 16. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 3

Programa 3. Generación de conocimiento geocientífico del paleoclima para la adaptación y mitigación del cambio climático						
Proyecto	Componentes	Producto esperado	Metas acumuladas			
			Línea base	2026	2030	2032
1. Investigación en paleoclima y cambio climático para la adaptación y mitigación del cambio climático	1.1 Investigación en almacenamiento geológico de CO ₂ para la descarbonización industrial	Caracterización y análisis de favorabilidad de futuros desarrollos de almacenamientos subterráneos para CO ₂	0	2	3	5
	1.2. Investigaciones paleoclimáticas y de cambio climático en sistemas sedimentarios	Documentos de investigación de paleoclima en sedimentos lacustres, marinos y eólicos	0	1	2	3
		Documentos de investigación de paleoclima en sistemas cársticos y evaporitas	0	1	2	3
	1.3. Investigaciones paleoclimáticas en sistemas glaciares	Documentos de investigación de paleoclima en hielos de glaciares colombianos	0	1	2	2



Expertos y expertas del SGC estudiando los recursos geotérmicos del país en la Laguna Verde del volcán Azufral (Nariño).

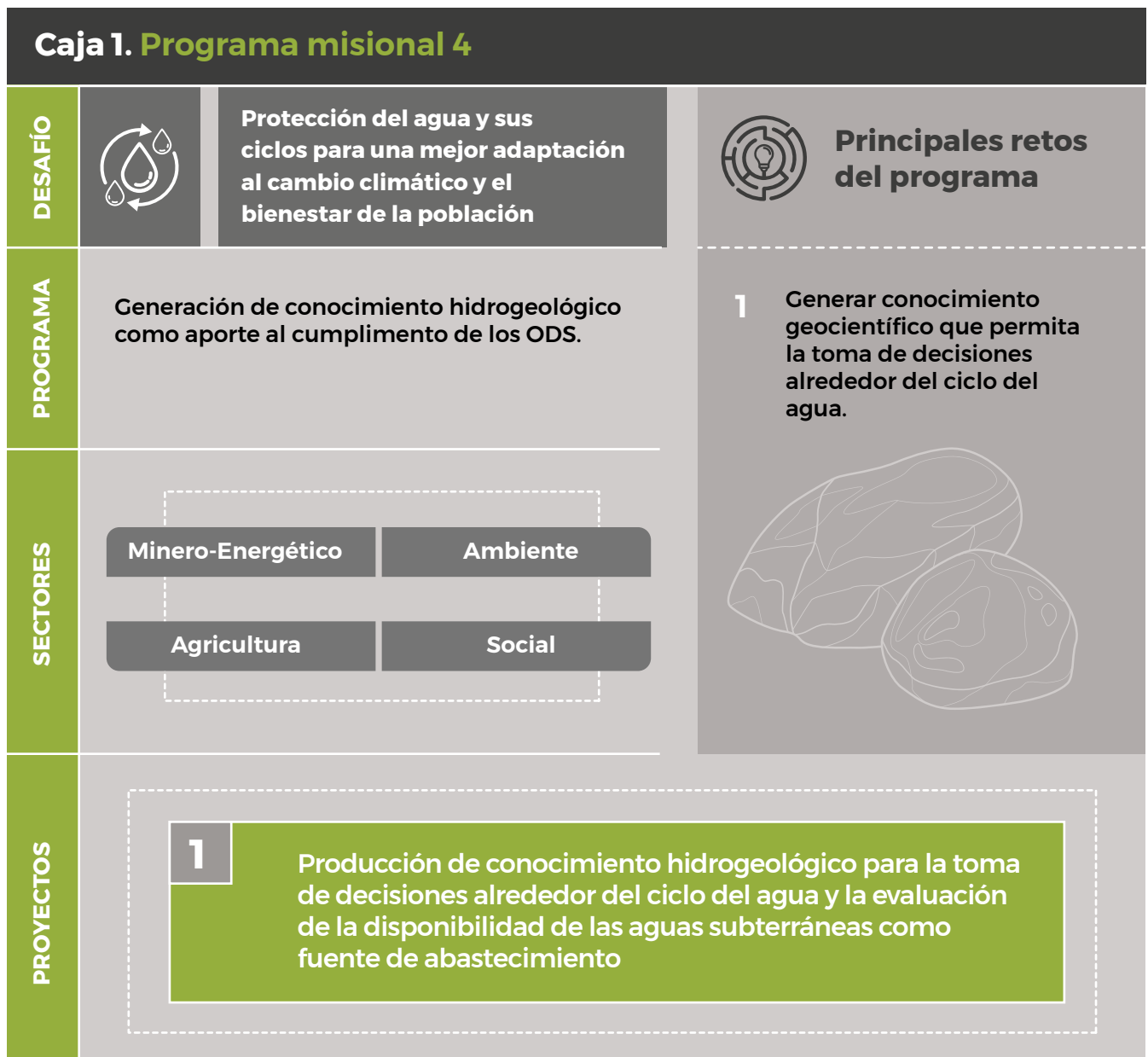
Agua subterránea en el ciclo del agua

Programa misional 4. Generación de conocimiento hidrogeológico como aporte al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (figura 14). Este programa genera insumos en temáticas relacionadas con el agua subterránea como fuen-

te de abastecimiento y eje ordenador del territorio, sirviendo como soporte técnico al desarrollo de instrumentos de planificación y de política pública que orienten su uso racional, cuidado y gestión.



Figura 14. Programa misional 4 Generación de conocimiento hidrogeológico como aporte al cumplimiento de los ODS





En Maicao (La Guajira) colaboradores del SGC realizan estudios hidrogeoquímicos en un pozo para identificar la calidad del agua subterránea y su potencial de aprovechamiento.

Descripción del programa

Conocer el comportamiento de las aguas subterráneas dentro del ciclo del agua es esencial para diferentes sectores responsables de tomar decisiones para facilitar y orientar la gestión integral (uso, manejo, aprovechamiento y protección sostenible) de las aguas subterráneas. Al mismo tiempo, la ocurrencia de eventos hidroclicmatológicos extremos, como humedad excesiva o sequía, cada vez más frecuentes, exige que los tomadores de decisiones cuenten con información hidrogeológica suficiente para crear e implementar proyectos en diversos sectores socioeconómicos y regiones del país.

Por otra parte, es cada vez más importante entender el ciclo del agua y el ordenamiento ambiental del territorio incluyendo aspectos hidrogeológicos. Por ello, el SGC está trabajando en

el fortalecimiento institucional y de su infraestructura, buscando ampliar la generación de conocimiento hidrogeológico en zonas priorizadas ambiental y socialmente, como páramos, áreas de recarga de acuíferos, acuíferos estratégicos y municipios priorizados por problemas de abastecimiento de agua. Así, se aporta al ordenamiento del territorio alrededor del agua y al cumplimiento de los ODS.

Impacto al que contribuye

Municipios y regiones que han tenido situaciones de desabastecimiento o falta de cuidado del agua.

Este programa se compone de un proyecto con tres componentes. La descripción de los proyectos se encuentra en el anexo 1: Programa misional 4. En la tabla 17 se muestra su estructuración, con los respectivos productos esperados y metas acumuladas.


Tabla 17. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 4

Programa 4. Generación de conocimiento hidrogeológico como aporte al cumplimiento de los ODS						
Proyecto	Componentes	Producto esperado	Metas acumuladas			
			Línea base	2026	2030	2032
1. Proyecto Conocimiento hidrogeológico para la toma de decisiones alrededor del ciclo del agua y la evaluación de la disponibilidad de las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento	1.1. Generación de conocimiento hidrogeológico multiescala para la toma de decisiones alrededor del ciclo del agua	Estudios hidrogeológicos multiescala	1	2	3	4
	1.2. Aguas subterráneas como fuente de abastecimiento	Modelos hidrogeológicos	82	84	85	87
	1.3. Contaminación de origen geológico y antrópico de las aguas subterráneas	Investigación de contaminación de las aguas subterráneas	0	1	3	4



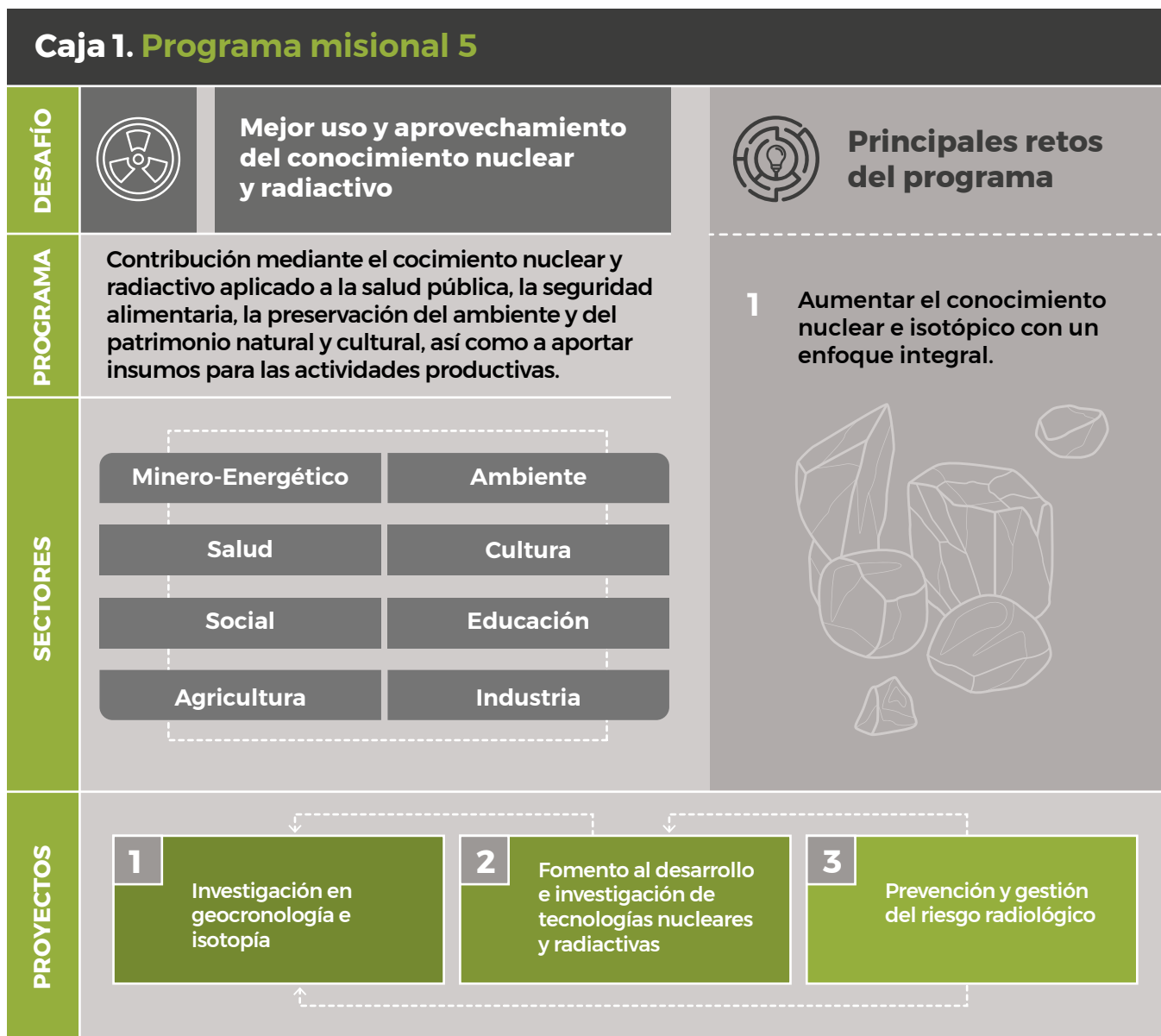
Expertos del SGC socializan con comunidades Wayú los resultados del estudio de aguas subterráneas realizado en más de 100 pozos que utilizan en esta región.

Conocimiento nuclear y radiactivo

Programa misional 5. Conocimiento nuclear y radiactivo aplicado a la salud pública, la preservación del ambiente y del patrimonio natural y cultural (figura 15).



Figura 15. Programa misional 5. Conocimiento nuclear y radiactivo aplicado a la salud pública, la preservación del ambiente y del patrimonio natural y cultural



Descripción del programa

El conocimiento nuclear y radiactivo tiene el potencial de aportar significativamente a la salud pública, la conservación del ambiente y la preservación del patrimonio natural y cultural.

Son varios los aspectos en los que este tipo de conocimiento juega un papel crucial. En primer lugar, contribuye a la salud pública al respaldar el avance de la medicina nuclear, que se utiliza en diagnósticos y tratamientos médicos avanzados. Además, el conocimiento radiactivo se aplica en la preservación del ambiente mediante técnicas de monitoreo y análisis que ayudan a evaluar y abordar la contaminación nuclear y sus impactos en los ecosistemas.

La caracterización de material geológico permite reconstruir la temporalidad de eventos geológicos y comprender los fenómenos de conformación de depósitos cuaternarios que, a su vez, ayudan a entender la relación entre el ser humano y la evolución de ambientes continentales. También permite conocer el origen, las fuentes de recargas y la interacción de diferentes fuentes de agua con las cuencas hídricas, así como comprender los ciclos biogeoquímicos y entender el contexto en el cual se formaron diferentes fuentes de minerales estratégicos o fuentes alternativas de energía.

El SGC cuenta actualmente con técnicas nucleares y radiactivas con capacidades operativas limitadas para estudiar líneas estratégicas como salud, seguridad alimentaria, medio ambiente y conservación del patrimonio natural, geológico y cultural. El programa se abordará mediante tres proyectos orientados a:

1. Investigación en geocronología e isotopía.
2. Fomento al desarrollo e investigación de las tecnologías nucleares y radiactivas.
3. Prevención y gestión del riesgo radiológico derivado del uso de fuentes radiactivas artificiales.

Impacto al que contribuye:

Sectores de salud, agropecuario y ambiente que fortalecen su capacidad de gestión y productividad a partir del conocimiento de radiación ionizante.

Este programa se compone de tres proyectos y seis componentes. La descripción de los proyectos se encuentra en el anexo 1: Programa misional 5. En la tabla 18 se muestra su estructuración, con los respectivos productos esperados y metas acumuladas.



Tabla 18. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 5

Programa 5. Conocimiento nuclear y radiactivo aplicado a la salud pública, la preservación del ambiente y del patrimonio natural y cultural						
Proyecto	Componentes	Producto esperado	Metas acumuladas			
			Línea base	2026	2030	2032
1. Investigación en geocronología e isotopía	1.1. Fortalecimiento del centro de geocronología	Ampliación de las capacidades analíticas de los laboratorios	14	19	23	25

	1.1. Uso de técnicas isotópicas para estudios ambientales	Documentos de investigación en medición de contaminantes ambientales	5	8	9	10
2. Fomento al desarrollo e investigación de las tecnologías nucleares y radiactivas	2.1. Trazabilidad metrológica y uso de radiaciones ionizantes con enfoque en salud pública, protección ambiental, patrimonio cultural y seguridad alimentaria	Documentos de investigación de radiaciones ionizantes en salud pública, protección ambiental, patrimonio cultural y seguridad alimentaria	3	7	10	12
		Metodologías en técnicas radiactivas y nucleares implementadas	23	26	27	28
	2.2. Mapa Nacional de Material Radiactivo de Origen Natural (NORM)	Mapa Nacional de Material Radiactivo de Origen Natural	0	3	4	5
	2.3. Fortalecimiento de las capacidades operativas del reactor nuclear e instalaciones radiactivas para investigación en aplicaciones nucleares	Servicios de laboratorios habilitados	12	14	15	17
		Documentos de investigación en aplicaciones nucleares	0	3	6	8
3. Fomento al desarrollo e investigación de las tecnologías nucleares y radiactivas	3.1. Gestión segura de fuentes radiactivas en desuso o sin control regulatorio	Informe sobre el estado nacional de fuentes radiactivas	1	5	9	11
		Informe de gestión de las fuentes en desuso	1	5	9	11
	Control del riesgo radiológico mediante la autorización de las prácticas	82 %	90 %	94 %	95 %	

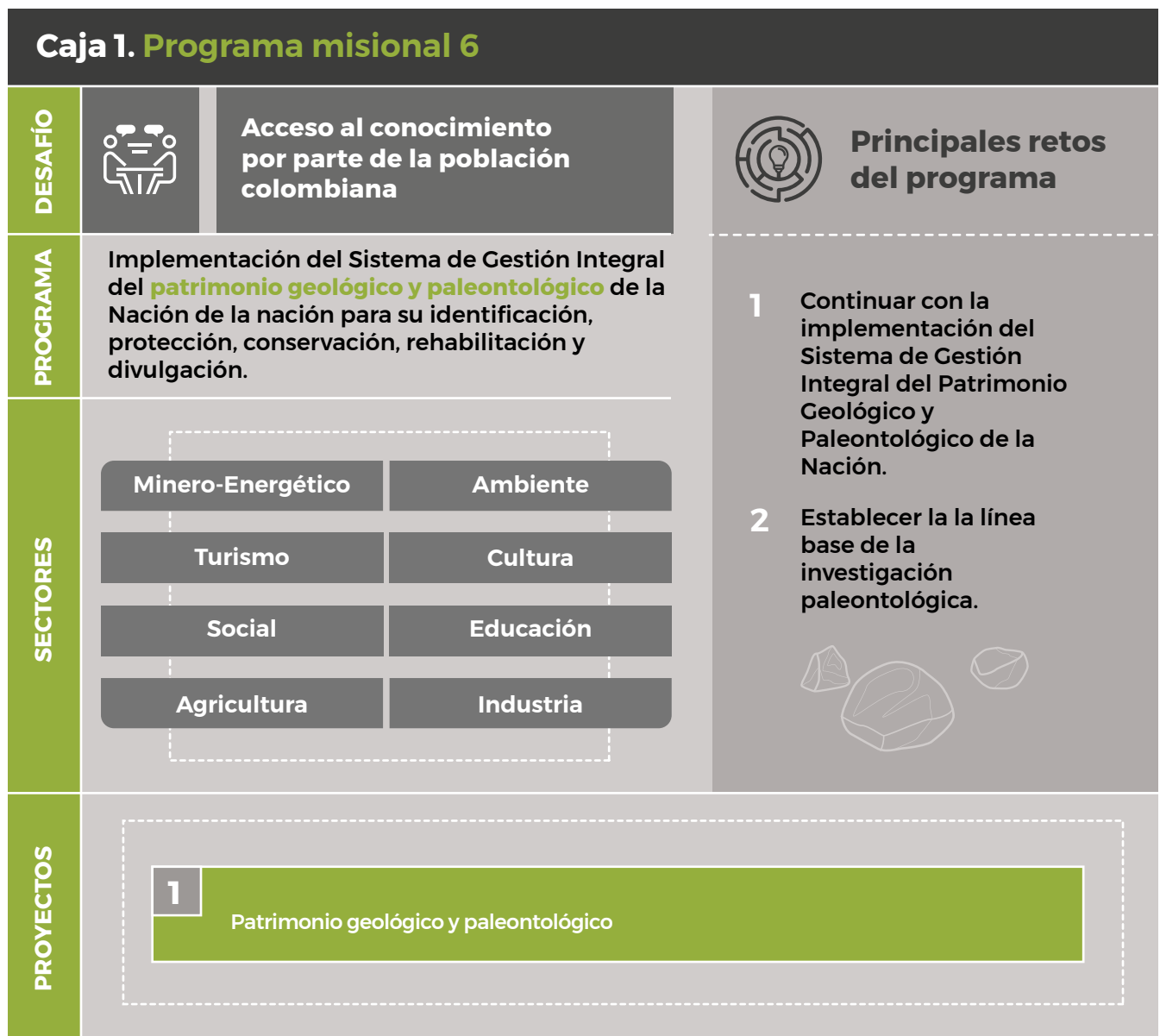
Patrimonio geológico y paleontológico

Programa 6. Implementación del Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico de la Nación para su identificación,

protección, conservación, rehabilitación y divulgación (figura 16).



Figura 16. Programa misional 6. Implementar el Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico de la Nación



Descripción del programa

El Decreto 1353 de 2018 define el patrimonio geológico como “el conjunto de lugares geológicos que poseen valores propios de naturaleza patrimonial con características científicas, culturales y/o educativas y que permiten conocer, estudiar e interpretar: el origen y evolución de la Tierra, los procesos que la han modelado, los climas y paisajes del pasado y presente, el origen y evolución de la vida”. En este decreto se relaciona el patrimonio paleontológico como la “parte constituyente del patrimonio geológico integrada por el conjunto de restos directos o indirectos (resultado de su actividad biológica) de organismos que se han conservado en el registro geológico y a los cuales se les ha asignado un valor científico, didáctico o cultural. Está integrado por los fósiles y los yacimientos donde se encuentran, que permiten conocer, estudiar e interpretar la evolución de la historia geológica de la Tierra”.

En 2011, el Gobierno nacional promulgó el Decreto 4131, que asignó al SGC la competencia de velar por el patrimonio geológico y paleontológico de la Nación. Posteriormente, el Decreto 2703 de 2013 definió en su artículo 2.º que la Dirección General del SGC tiene como funciones: realizar las actividades necesarias para desarrollar e implementar políticas de protección del patrimonio geológico y paleontológico del país; promover las acciones de competencia de la entidad en materia de la protección del patrimonio geológico y paleontológico del país; e identificar, evaluar y establecer zonas de protección del patrimonio geológico y paleontológico del país.

De acuerdo con el Decreto 1353 de 2018, el SGC lidera el Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico y es el ente encargado de gestionar, a nivel nacional, todos los procesos orientados a garantizar su protección. En este sentido, la entidad define las políticas, lineamientos, protocolos y metodologías adecuadas para manejar y proteger este tipo de patrimonio a nivel nacional, así como generar y comunicar el conocimiento geocientífico.

El SGC ha materializado esta responsabilidad por medio del reconocimiento y estudio de sitios de interés geológico, así como de colecciones geológicas y paleontológicas representativas de la geodiversidad colombiana. Asimismo, ha avanzado en el posicionamiento del tema a nivel nacional como parte de

la Comisión Intersectorial Nacional del Patrimonio Mundial, que integra a todas las entidades involucradas en el manejo, cuidado y protección del patrimonio cultural y natural de la Nación. Esto, teniendo en cuenta la función del SGC frente al tema y lo dispuesto en la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural de la Unesco. En este sentido, la entidad también hizo parte del convenio de cooperación para prevenir y contrarrestar el tráfico ilícito del patrimonio cultural colombiano.

Este programa busca continuar con la implementación del Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico con el fin de proporcionar un marco para la documentación, el estudio y la catalogación de hallazgos geológicos y paleontológicos, lo que contribuye al avance del conocimiento en estas disciplinas. Además, pretende identificar y proteger este patrimonio, promoviendo una mayor responsabilidad y el compromiso de la sociedad colombiana hacia su uso responsable, dando apoyo a diversas entidades, como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la protección del patrimonio espeleológico de Colombia.

Impacto al que contribuye

Gestión del patrimonio geológico y paleontológico de la Nación.

Este programa se compone de un proyecto y tres componentes. La descripción de los proyectos se encuentra en el anexo 1: Programa misional 6. En la tabla 19 se muestra su estructuración, con los respectivos productos esperados y metas acumuladas.



Fósil de un *Miocochillius anomopodus* (pequeño mamífero cuadrúpedo, herbívoro, ramoneador y pastador extinto) encontrado en el yacimiento paleontológico de La Venta (Huila).


Tabla 19. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 6

Programa 6. Implementación del Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico de la Nación para su identificación, protección, conservación, rehabilitación y divulgación						
Proyecto	Componentes	Producto esperado	Metas acumuladas			
			Línea base	2026	2030	2032
1. Patrimonio geológico y paleontológico	1.1. Investigación paleontológica y bioestratigráfica, y fortalecimiento de laboratorios de micropaleontología, paleoflora y paleofauna	Documentos de investigación paleontológica	300	306	318	324
	1.2. Gestión, apropiación social y difusión de las geociencias en el Museo Geológico Nacional José Royo y Gómez sede central y demás sedes	Documentos de gestión e investigación de colecciones, de productos y servicios de divulgación geocientífica y de apoyo a entes territoriales, museos y comunidades	47	62	75	82
	1.3. Desarrollo e implementación de estrategias de geoconservación para la gestión integral del patrimonio geológico, espeleológico y paleontológico	Informes de caracterización e informes de valoración de patrimonio geológico y paleontológico	44	62	94	110



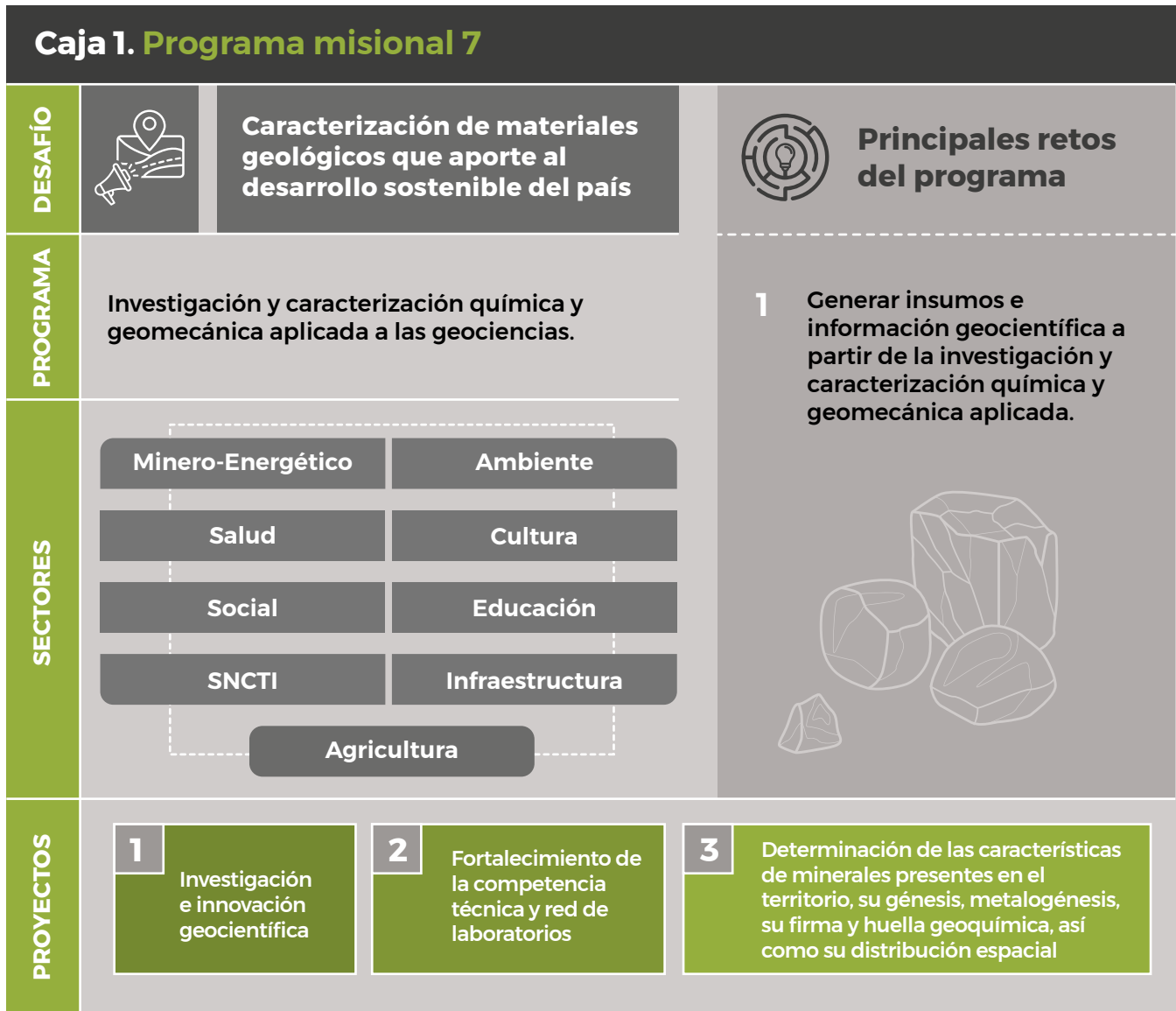
Molde externo de un amonoiideo que presenta elementos conocidos como costillas, una de las características fundamentales para clasificar este tipo de cefalópodos.

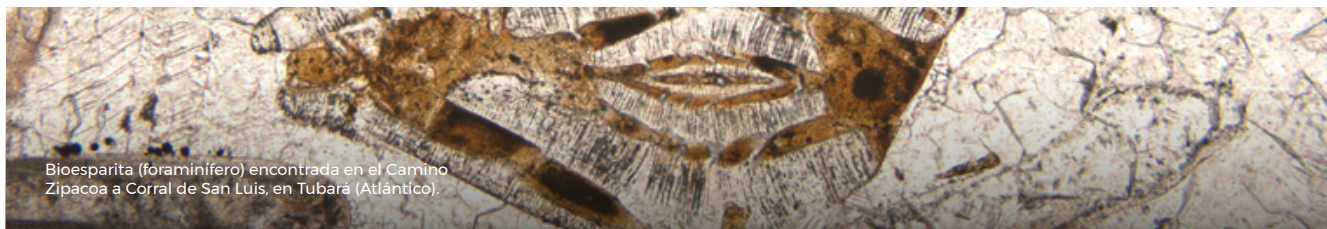
Gestión responsable de suelo, subsuelo y agua

Programa misional 7. Investigación y caracterización química y geomecánica aplicada a las geociencias (figura 17).



Figura 17. Programa misional 7. Investigación y caracterización química y geomecánica aplicada a las geociencias





Biosparita (foraminífero) encontrada en el Camino Zipacoa a Corral de San Luis, en Tubará (Atlántico).

Descripción del programa

Este programa tiene como objetivo fundamental generar información geocientífica crítica, enfocada en la identificación y caracterización química, mineralógica, geológica y geomecánica de materiales geológicos presentes en el territorio nacional, así como su distribución espacial, génesis o fuente, contexto geológico, propiedades físicas, químicas y radiactivas, huella geoquímica y procesos de transformación y degradación, a través de la observación, experimentación y análisis de datos. Esta información es fundamental para contribuir, de forma estratégica, a proyectos enfocados en la conservación ambiental, la generación de conocimiento geocientífico del país y la gestión responsable de minerales, brindando apoyo y soporte a la toma de decisiones que beneficien a la comunidad en general.

Con una visión institucional renovada, el programa busca generar conocimiento y alternativas para el uso responsable y óptimo del subsuelo, suelo y agua. Además, se enfoca en fortalecer la infraestructura tecnológica, las técnicas y las metodologías analíticas que cumplan con los más altos estándares de calidad, facilitando el avance de los proyectos misionales del SGC. Este esfuerzo se complementa con los procesos de validación, sistemas de gestión de calidad y acreditación de metodologías analíticas.

El programa se articula a través de tres proyectos orientados a:

1. Investigación e innovación geocientífica en caracterización y síntesis de materiales y nuevos materiales.
2. Fortalecimiento de la competencia técnica y la red de laboratorios.

3. Determinación de las características de los minerales presentes en el territorio, su génesis, metalogénesis, firma y huella geoquímica, así como su distribución espacial.

Impacto al que contribuye

- **Innovación productiva:** facilitar a las unidades productivas alternativas avanzadas para mejorar el proceso de beneficio y disposición de residuos.
- **Desarrollo de materiales sostenibles:** producción de materiales y nanomateriales a partir de residuos y subproductos industriales para su incorporación en cadenas productivas.
- **Trazabilidad de minerales:** establecimiento de huella de minerales de interés estratégico y ambiental que permitan su seguimiento efectivo.
- **Soporte decisorio basado en datos:** ampliación del conocimiento geocientífico sobre la ocurrencia, distribución y características de los depósitos minerales del país, que permita tomar decisiones responsables sobre la gestión de los recursos minerales del país.
- **Estudios de impacto ambiental:** investigación sobre los mecanismos e impactos de la transformación y degradación de minerales y materiales geológicos.

Este programa se compone de tres proyectos y nueve componentes. La descripción de los proyectos se encuentra en el anexo 1: Programa misional 7. En la tabla 20 se muestra su estructuración, con los respectivos productos esperados y metas acumuladas.



Tabla 20. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 7

Programa 7. Investigación y caracterización química y geomecánica aplicada a las geociencias						
Proyecto	Componentes	Producto esperado	Metas acumuladas			
			Línea base	2026	2030	2032
1. Caracterización de materiales de interés geológico	1.1. Estudios de síntesis de nuevos materiales y productos innovadores a partir del carbón como fuentes potenciales en las aplicaciones a la transición energética, seguridad alimentaria y cuidado del ambiente	Generación de nuevos materiales y determinación de tierras raras	0	2	3	4
	1.2. Caracterización geomecánica de materiales en Colombia	Metodología para construir cartas de clasificación de materiales finos asociados a la génesis	1	3	4	5
	1.3. Generación de información geocientífica sobre el beneficio de minerales socio-ambientalmente manejable	Documentos de lineamientos técnicos	18	21	27	33
2. Fortalecimiento de la competencia técnica y la red de laboratorios	2.1 Caracterización de materiales del subsuelo, suelo y agua e implementación de nuevas metodologías analíticas	Documentos de lineamientos técnicos	131	141	148	151
	2.2. Estudios de movilidad química y especiación de elementos potencialmente peligrosos	Acreditación de métodos de ensayo	3	6	10	13

	2.3. Consolidación de la Red de Laboratorios Geocientíficos	Consolidación de la Red de Laboratorios Geocientíficos	0	1	no aplica	no aplica
3. Determinación de las características de los minerales presentes en el territorio, su génesis, metalogénesis, firma y huella geoquímica, así como su distribución espacial	3.1. Investigación de huella digital de minerales	Validación e implementación método de caracterización de huella digital de minerales	50 %	100 %	no aplica	no aplica
		Distritos mineros con definición y caracterización de la huella digital de oro	0	12	22	28
	3.2. Investigación en metalogenia	Nuevas actualizaciones del Mapa Metalogénico de Colombia	0	1	1	0
	3.3. Investigación en minerales de meteorización	Informe de estudio de tefrocronología y procesos de meteorización con desarrollo de metodología y exposición de implicaciones ambientales y en gestión de riesgo	0	2	5	8



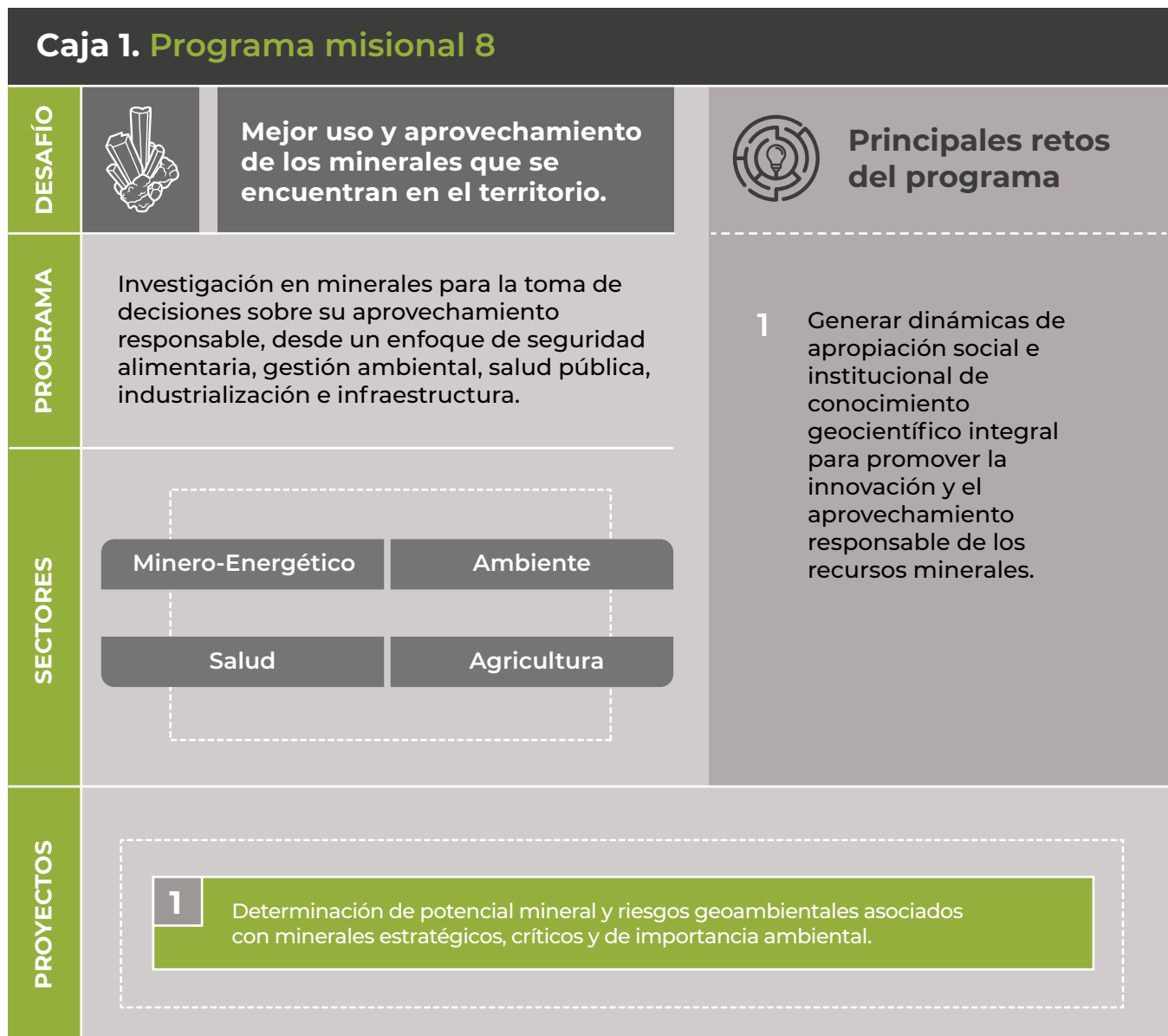
Capacitación en métodos y herramientas de identificación mineral dictada a miembros de la Brigada contra la Explotación Ilicita de Yacimientos Mineros del Ejército Nacional.

Aprovechamiento responsable de minerales

Programa misional 8. Investigación en minerales para la toma de decisiones para su aprovechamiento responsable, desde un enfoque de seguridad alimentaria, gestión ambiental, salud pública, industrialización e infraestructura (figura 18).



Figura 18. Programa misional 8. Investigación en minerales para la toma de decisiones sobre su aprovechamiento responsable, desde un enfoque de seguridad alimentaria, gestión ambiental, salud pública, industrialización e infraestructura.



Descripción del proyecto

El propósito de este programa es proveer conocimiento geocientífico que soporte el aprovechamiento responsable, preservación o manejo de los diferentes minerales en el territorio colombiano a través de la integración de información geológica, geoquímica, geofísica y metalogénica, y de los medios con los que se relaciona el potencial mineral y sus posibles impactos al ambiente, a la salud humana y a los ecosistemas.

El programa se abordará mediante la evaluación del potencial de minerales estratégicos y de los riesgos geoambientales asociados, lo que incluye la identificación y caracterización de amenazas geoquímicas en agua, suelo, roca, sedimentos y aire, con origen mineral.

En relación con el proyecto de evaluación del potencial de minerales estratégicos, y de acuerdo con el artículo 229 del PND 2022-2026, se busca avanzar en el conocimiento geocientífico, determinando y evaluando el potencial mineral en áreas definidas por la autoridad minera nacional. Estas áreas se plantean como necesarias para la transición energética justa, la industrialización, la seguridad alimentaria, el desarrollo de la infraestructura crítica, la asociatividad y el autoabastecimiento para las cadenas productivas.

En el marco de las metas del Sistema Nacional de Evaluación de Gestión y Resultados (SINERGIA) del PND actual, se establece como meta realizar 30 evaluaciones del potencial de minerales estratégicos para la asignación de zonas reservadas con potencial (ZRP) alto por parte de la ANM. Adicionalmente, para el resto del decenio (periodo 2027-2032) se propone una meta de 40 evaluaciones adicionales, considerando la articulación interinstitucional y las necesidades del país.

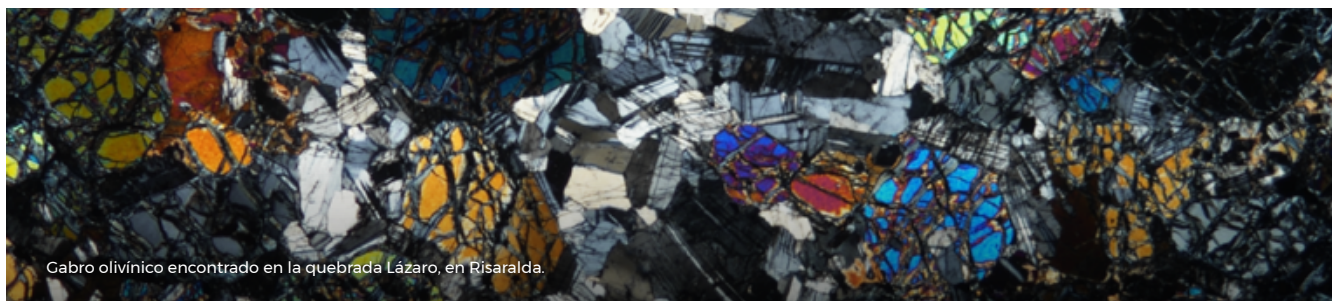
Dentro de los informes de evaluación del potencial de minerales estratégicos, se lleva a cabo la identificación de amenazas de carácter geoquímico. Es decir, se identifica la presencia de elementos potencialmente peligrosos que, dada su concentración y las fases minerales a las que están asociados, podrían representar un peligro para los ecosistemas y/o la salud humana, particularmente si se da la extracción de dichos minerales.

El segundo proyecto consiste en la identificación y caracterización de amenazas geoquímicas en agua, suelo, roca, sedimentos y aire con origen mineral, y en la subsecuente evaluación y mitigación del riesgo a la salud y al ambiente por exposición, en exceso o en déficit, a minerales y elementos de interés para la salud y los ecosistemas. El propósito de estos componentes es proveer información geocientífica a las autoridades competentes para identificar, monitorear y gestionar dichos riesgos.

Impacto al que contribuye

- Sectores impactados con estudios de riesgo y de potencial minero.
- Evaluación del potencial mineral para habilitar procesos de asignación selectiva y estratégica por parte de la autoridad minera.
- Evaluación y mitigación de riesgos e impactos de carácter geoquímico a la salud y al ambiente.

Este programa se compone de un proyecto con tres componentes. La descripción de los proyectos se encuentra en el anexo 1: Programa misional 8. En la tabla 21 se muestra su estructuración, con los respectivos productos esperados y metas acumuladas.



Cabro olivínico encontrado en la quebrada Lázaro, en Risaralda.



Tabla 21. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa misional 8

Programa 8. Investigación en minerales para la toma de decisiones sobre su aprovechamiento responsable, desde un enfoque de seguridad alimentaria, gestión ambiental, salud pública, industrialización e infraestructura						
Proyecto	Componentes	Producto esperado	Metas acumuladas			
			Línea base	2026	2030	2032
1. Determinación de potencial mineral y riesgos geoambientales asociados con minerales estratégicos, críticos y de importancia ambiental	1.1. Evaluación del potencial mineral	Áreas adicionales con evaluación de potencial mineral	0	30	30	15
	1.2. Definir, documentar e implementar métodos, procesos y estándares de calidad de evaluación de riesgos a la salud y al ambiente por exposición a elementos potencialmente peligrosos	Informe de evaluación riesgo geoambiental	0	3	6	8
		Mapa zonificación riesgo geoambiental	0	3	6	8
	1.3. Documentar métodos y procedimientos para realizar pruebas de mitigación de riesgo en laboratorio e <i>in situ</i>	Informe de recomendación de mecanismos de mitigación de riesgo geoquímico	0	1	3	4



Prueba de carbonatos con ácido clorhídrico en calizas de la formación Hondita, en Tesalia (Huila).



En la Litoteca Nacional del Servicio Geológico Colombiano (Bucaramanga) se almacenan más de siete millones de muestras extraídas, desde 1924, tanto de la superficie como del subsuelo del país

Programas habilitantes

Se definieron dos programas habilitantes para facilitar los programas misionales:

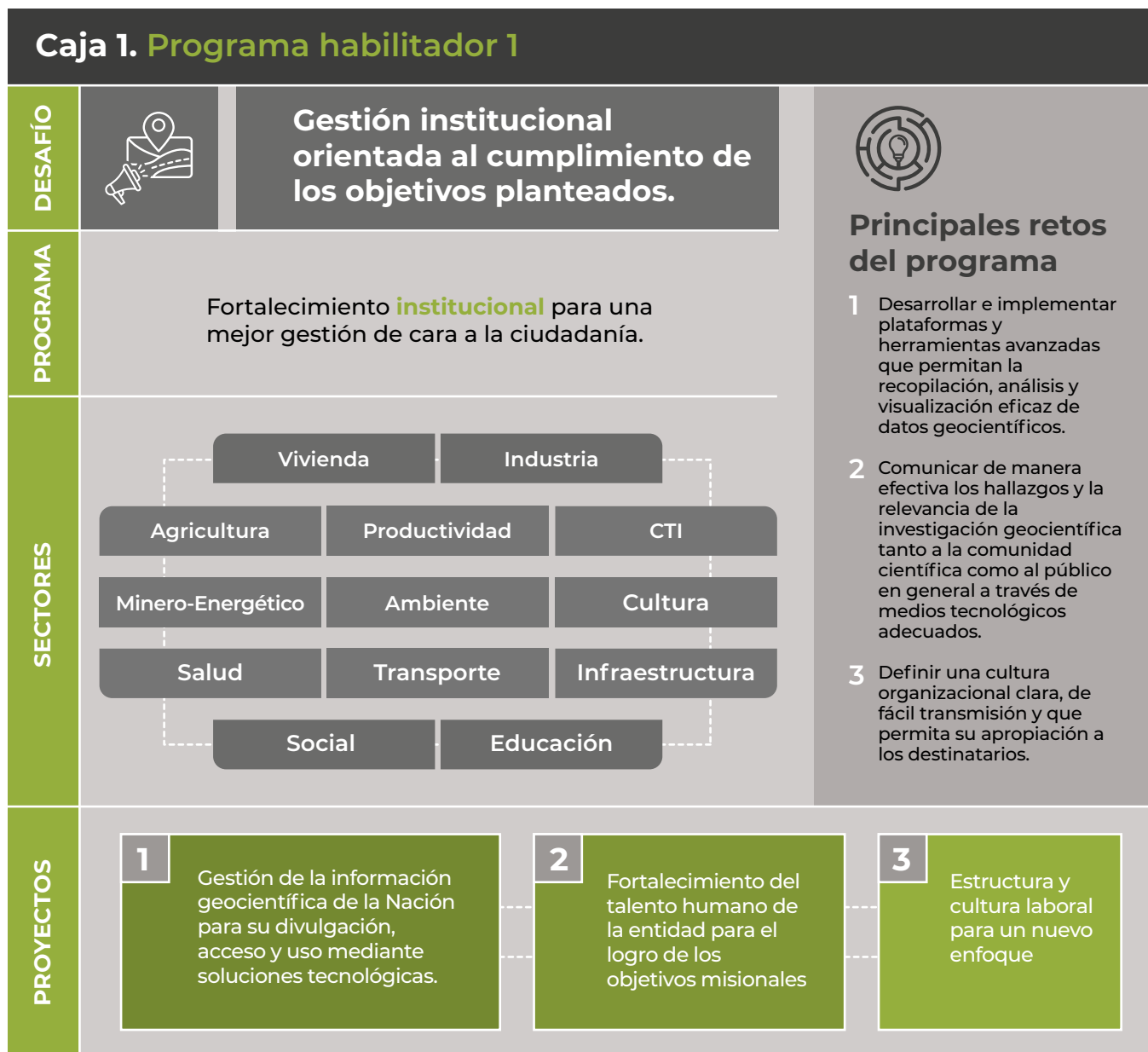
1. Gestión institucional para una respuesta eficiente y oportuna a la ciudadanía.
2. Fortalecimiento de la gobernanza institucional de la ciencia, tecnología e innovación para la apropiación social del conocimiento geocientífico generado.

Gestión institucional para una respuesta eficiente y oportuna a la ciudadanía

Programa habilitante 1. Gestión institucional para una respuesta eficiente y oportuna a la ciudadanía (figura 19).



Figura 19. Programa habilitante 1. Gestión institucional para una respuesta eficiente y oportuna a la ciudadanía



Principales retos del programa

- 1 Desarrollar e implementar plataformas y herramientas avanzadas que permitan la recopilación, análisis y visualización eficaz de datos geocientíficos.
- 2 Comunicar de manera efectiva los hallazgos y la relevancia de la investigación geocientífica tanto a la comunidad científica como al público en general a través de medios tecnológicos adecuados.
- 3 Definir una cultura organizacional clara, de fácil transmisión y que permita su apropiación a los destinatarios.

Descripción del programa

Este programa consta de tres proyectos:

- Gestión de la información geocientífica de la Nación para su divulgación, acceso y uso mediante soluciones tecnológicas.
- Fortalecimiento del talento humano del SGC para lograr los objetivos misionales.
- Estructura y cultura laboral para un nuevo enfoque.

El primero se refiere a la gestión de información que garantice la disponibilidad y difusión del conocimiento geocientífico generado por el SGC a los diferentes grupos de interés. El volumen de datos sigue creciendo de manera constante y proviene de diversas fuentes, lo que implica desarrollar soluciones tecnológicas integrales que abarquen el ciclo de vida de datos e información, además de establecer políticas y lineamientos basados en mejores prácticas que aseguren el cumplimiento de la normativa en gestión de información.

La infraestructura tecnológica agrupa y organiza los elementos tecnológicos que soportan y apoyan el cumplimiento del quehacer institucional, por lo que es necesario modernizar la gestión estratégica de tecnologías de información para alinear de ma-

nera efectiva las soluciones tecnológicas y de innovación con los objetivos y metas de la organización. Esto permitirá optimizar los recursos disponibles y aprovechar al máximo las oportunidades que brinda la tecnología y la innovación, mediante el uso de tecnologías e innovaciones disruptivas.

El segundo proyecto de este programa busca implementar acciones sistémicas que doten a los servidores del SGC de mayores capacidades para el desarrollo de sus funciones y competencias, de forma que contribuyan de manera determinante a los objetivos y la misión institucional.

Esto incluye la formación y el desarrollo del talento humano para generar capacidades esenciales que sustenten la misionalidad, y las acciones concernientes al bienestar y al buen ambiente laboral dentro del SGC. En el tercer proyecto, se abordarán las acciones que permitan crear una nueva estructura y cultura laboral para tener un enfoque integral de la gestión del SGC.

Impacto al que contribuye

Sectores con información especializada disponible para los usuarios, soportada con herramientas tecnológicas y una estructura organizacional implementada.

Este programa se compone de tres proyectos y seis componentes. La descripción de los proyectos se encuentra en el anexo 1: programa habilitante 1. En la tabla 22 se muestra su estructuración, con los respectivos productos esperados y metas acumuladas.



Tabla 22. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa habilitante 1

Programa 1. Gestión institucional para una respuesta eficiente y oportuna a la ciudadanía						
Proyecto	Componentes	Producto esperado	Metas acumuladas			
			Línea base	2026	2030	2032
1. Gestión de la información geocientífica de la Nación para su divulgación, acceso y uso mediante soluciones tecnológicas	1.1. Transformación tecnológica, gobierno de tecnología e innovación	Modernización e incremento de capacidades de operabilidad de la infraestructura tecnológica y ciberseguridad	40 %	60 %	90 %	95 %

	1.2. Gestión de la información para la generación de conocimiento y su divulgación	Administración de bases de datos y sistemas de información que produce, custodia y gestiona el SGC para garantizar su calidad, oportunidad y disponibilidad	40 %	60 %	90 %	95 %
	1.3. Divulgación de conocimiento	Gestión de información de fondos documentales	20 %	50 %	100 %	No aplica
		Inclusión de nuevas tecnologías de <i>software</i> , <i>hardware</i> libre y de código abierto para una ciencia digna, abierta y vinculante	20 %	50 %	100 %	No aplica
2. Fortalecimiento del talento humano de la entidad para dar cumplimiento a los objetivos misionales	2.1. Formación y desarrollo del talento humano para la generación de capacidades esenciales que sustentan la misionalidad del SGC	Incremento de las personas capacitadas en temáticas misionales del SGC	163	115	107	115
	2.2. Bienestar y ambiente laboral para la vida del talento humano del Servicio Geológico Colombiano para el cumplimiento los objetivos misionales					
3. Estructura y cultura laboral para un nuevo enfoque	3.1. Modernización de la estructura organizacional	Planta de personal provista	87 %	80 %	80 %	80 %



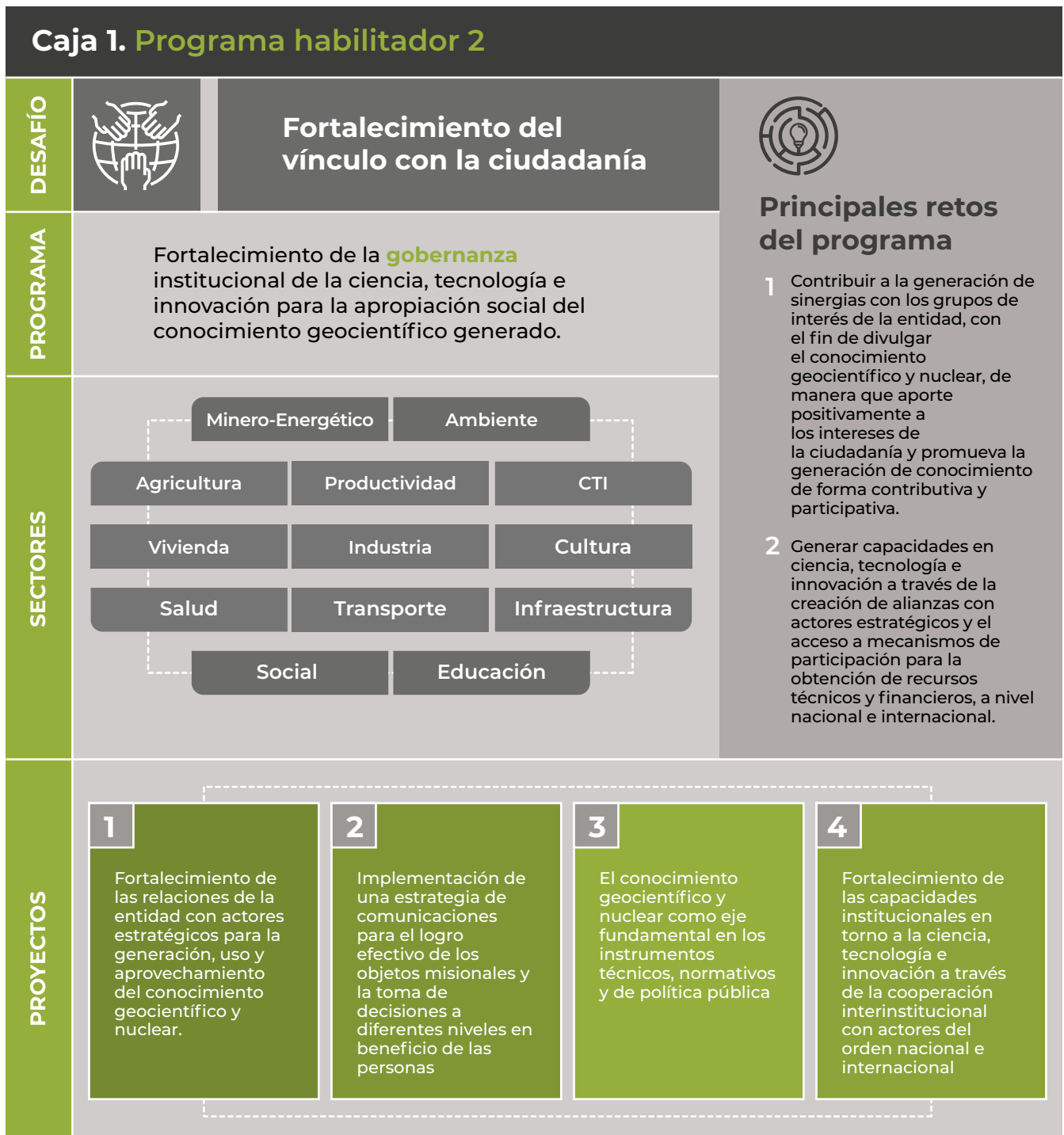
Expertos y expertas del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales en una estación de monitoreo del volcán Nevado del Ruiz.

Fortalecimiento de la gobernanza institucional

Programa habilitante 2. Fortalecimiento de la gobernanza institucional de la ciencia, tecnología e innovación para la apropiación social del conocimiento geocientífico generado (figura 20).



Figura 20. Programa habilitante 2. Fortalecimiento de la gobernanza institucional de la ciencia, tecnología e innovación para la apropiación social del conocimiento geocientífico generado



Principales retos del programa

- 1 Contribuir a la generación de sinergias con los grupos de interés de la entidad, con el fin de divulgar el conocimiento geocientífico y nuclear, de manera que aporte positivamente a los intereses de la ciudadanía y promueva la generación de conocimiento de forma contributiva y participativa.
- 2 Generar capacidades en ciencia, tecnología e innovación a través de la creación de alianzas con actores estratégicos y el acceso a mecanismos de participación para la obtención de recursos técnicos y financieros, a nivel nacional e internacional.

Descripción del programa

El objetivo de este programa es contribuir a la generación de sinergias con los grupos de interés del SGC, con el fin de divulgar el conocimiento geocientífico y nuclear para que aporte de manera positiva a los intereses de la ciudadanía y promueva la generación de conocimiento de manera contributiva y participativa. El programa está conformado por cuatro proyectos:

1. Fortalecimiento de las relaciones del SGC con actores estratégicos para generar, usar y aprovechar el conocimiento geocientífico y nuclear.
2. Implementación de una estrategia de comunicaciones para posicionar al SGC ante sus diferentes públicos de interés.

3. El conocimiento geocientífico como eje fundamental en la normatividad, las políticas públicas y los instrumentos técnicos de gestión.
4. Fortalecimiento de las capacidades institucionales en torno a la ciencia, tecnología e innovación a través de la cooperación interinstitucional con actores del orden nacional e internacional.

Impacto al que contribuye

Estructura organizacional implementada.

Este programa se compone de cuatro proyectos y seis componentes. La descripción de los proyectos se encuentra en el anexo 1: programa habilitante 2. En la tabla 23 se muestra su estructuración, con los respectivos productos esperados y metas acumuladas.



Tabla 23. Proyectos, componentes, productos y metas acumuladas del programa habilitante 2

Programa 2. Fortalecimiento de la gobernanza institucional de la ciencia, tecnología e innovación para la apropiación social del conocimiento geocientífico generado						
Proyecto	Componentes	Producto esperado	Metas acumuladas			
			Línea base	2026	2030	2032
1. Fortalecimiento de las relaciones de SGC con actores estratégicos para la generación, uso y aprovechamiento del conocimiento geocientífico y nuclear	1.1. Articulación de conocimientos y saberes para la pedagogía del conocimiento geocientífico y nuclear con enfoque diferencial	Material cocreado con actores sociales y comunitarios para la divulgación del conocimiento	4	7	11	13
		Capacitaciones internas y/o externas para el fortalecimiento de la gestión socioambiental	1	12	28	72
		Espacios de participación ciudadana	6	14	22	30

2. Implementación de una estrategia de comunicaciones para posicionar al SGC ante sus diferentes públicos de interés	2.1. Divulgación del conocimiento geocientífico y nuclear generado por el SGC, y de la gestión institucional, en los canales de comunicación interna	Boletines internos para divulgar el conocimiento geocientífico y nuclear generado por el SGC, y la gestión institucional, al interior de la misma	40	160	320	480
		Informe sobre la optimización de la comunicación interna del SGC	0	3	7	9
		Encuesta de percepción sobre la comunicación interna del SGC	0	3	7	9
		Banco institucional de imágenes y videos	0 %	25 %	50 %	75 %
	2.2. Divulgación del conocimiento geocientífico y nuclear generado por el SGC, y la gestión institucional, en los canales de comunicación externa	Acciones y productos para potenciar las habilidades en comunicación del personal del SGC	5	20	40	60
		Informe de la presencia del SGC en medios de comunicación	1	4	9	11
		Informe de la presencia y alcance del SGC en redes sociales	0	3	7	9
		Informe de optimización de contenidos del portal web del SGC	0	3	7	9
		Informe de comunicaciones dirigidas a actores estratégicos del SGC	0	3	7	9
		Encuesta de reconocimiento de marca del SGC	0	2	4	5

3. El conocimiento geocientífico como eje fundamental en la construcción de instrumentos normativos, técnicos y de política pública.	3.1. Revisión y actualización del marco normativo	Lista de normas identificadas como obsoletas, en desuso, desactualizadas o nuevas	0	4	8	10
		Lista de políticas públicas sectoriales que se puedan impactar con el conocimiento generado por el SGC	0	4	8	10
		Listado de instrumentos técnicos que se puedan impactar con el conocimiento geocientífico	0	4	8	10
4. Fortalecimiento de las capacidades institucionales en torno a la ciencia, tecnología e innovación a través de la cooperación interinstitucional con actores del orden nacional e internacional	4.1. Herramientas de formación y orientación para ampliar el alcance de los grupos de investigación	Instrumento de Política de Ciencia, Tecnología e Innovación	0	100%	N/A	N/A
		Talleres internos para el fortalecimiento de las capacidades científicas y de gestión de la investigación del personal científico del SGC	5	16	32	48
		Convocatorias nacionales en las que participa el SGC	4	8	12	20
	4.2. Consolidación de la estrategia de cooperación internacional para potenciar el conocimiento geocientífico y nuclear del país	Instrumentos de cooperación internacional firmados y perfeccionados	4	8	18	24
		Convocatorias internacionales en las que participa el SGC	4	9	15	20



An aerial photograph of a vast mountain range with rolling hills and valleys. A prominent teal diagonal graphic element, resembling a large arrow pointing downwards, is overlaid on the right side of the image. The number '05' is printed in white on the teal background.

05

Seguimiento y evaluación

El componente de seguimiento y evaluación del Plan Estratégico 2023-2032 del Servicio Geológico Colombiano (SGC) se basa en las orientaciones de la “Guía Metodológica para el Seguimiento y la Evaluación a Políticas Públicas”, formulada por la Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas del Departamento Nacional de Planeación (Departamento Nacional de Planeación, 2014). Busca el monitoreo costo-efectivo de la ejecución, de manera que permita evaluar, ajustar y fortalecer procesos de implementación para que atiendan los desafíos identificados.

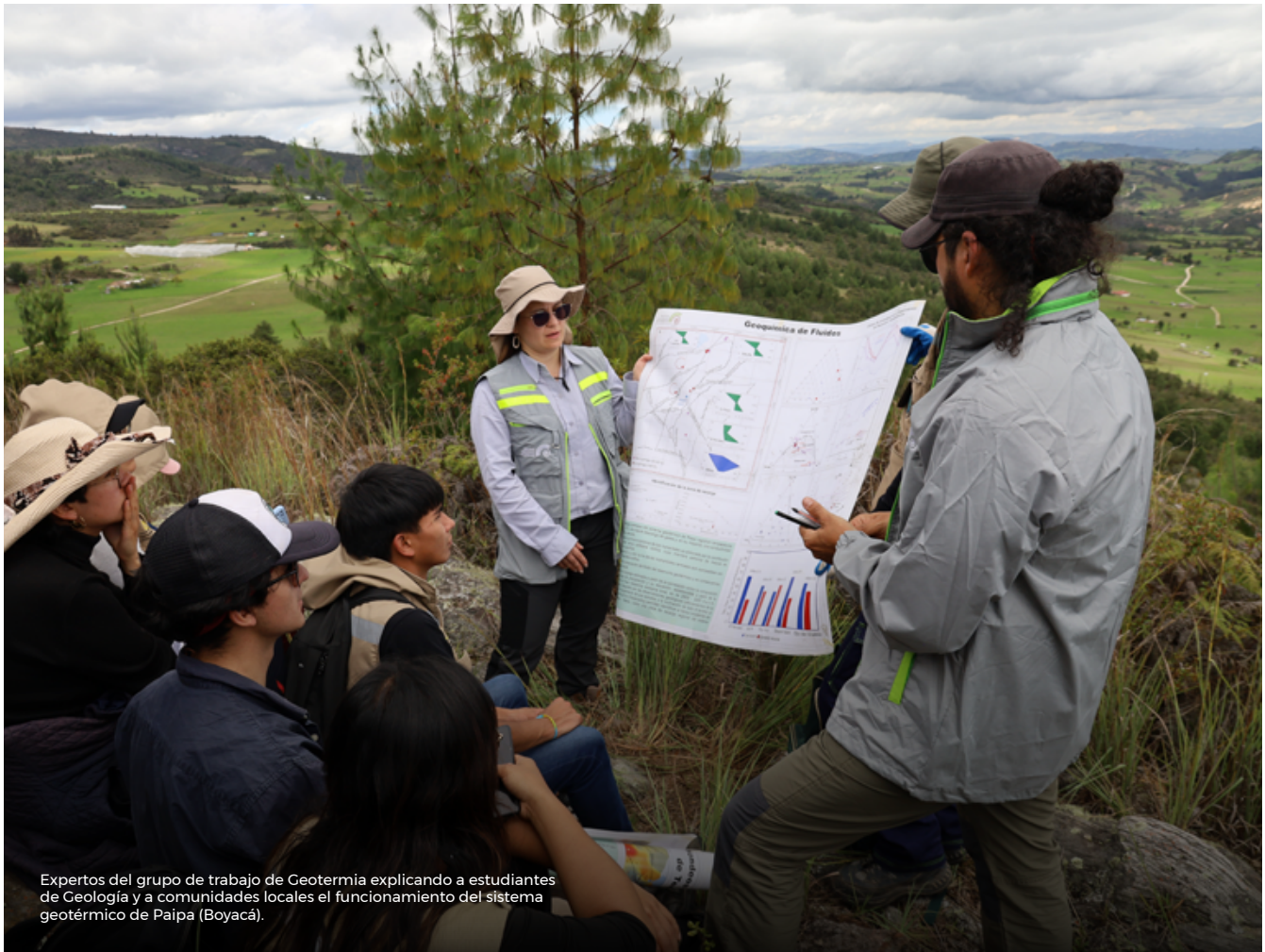
Se ha estructurado un cuadro de mando integral para el seguimiento de la alta dirección, de manera que esta se pueda concentrar en el seguimiento a la estrategia de implementación a través de cuatro perspectivas y unos resultados de impacto. Los niveles técnicos, de coordinación y los grupos de trabajo se encargarán de hacer seguimiento a las

tareas derivadas de los proyectos y el logro de los resultados de gestión y/o producto.

Las perspectivas establecidas para el cuadro de mando integral del Plan Estratégico son las siguientes:

1. Respuesta territorial
2. Soporte sectorial
3. Desarrollo institucional
4. Fortalecimiento financiero

El despliegue de cada una de las perspectivas tendrá metas e indicadores que serán el resultado de la agregación y/o ponderación de los aportes que las diferentes metas de los proyectos hacen a las transformaciones o logros de misiones.



Expertos del grupo de trabajo de Geotermia explicando a estudiantes de Geología y a comunidades locales el funcionamiento del sistema geotérmico de Paipa (Boyacá).

Perspectivas del cuadro de mando integral

1. **Respuesta territorial:** esta perspectiva considera el esfuerzo institucional en la producción de informes, conceptos técnicos, la prestación de asistencia técnica, la realización de estudios, la generación de mapas, documentos y lineamientos. Su objetivo es que las autoridades, comunidades y sectores productivos de los territorios puedan tomar decisiones informadas en relación con el uso del suelo, el ordenamiento territorial, la protección del ambiente, la gestión de riesgos, la prestación de servicios públicos, el diseño y construcción de infraestructura y equipamientos, el manejo de residuos sólidos y líquidos, y el uso de nuevas tecnologías y energías no convencionales.
2. **Soporte sectorial:** metodologías, protocolos, trámites para la operación de organizaciones, informes técnicos de localización, evaluación de potencial y medios de manejo, asesoría técnica, liderazgo, participación y/o promoción de redes físicas y/o institucionales u organizacionales. Estos elementos permiten a entidades públicas y privadas, así como a sistemas nacionales sectoriales, tomar decisiones y, con ello, formular o soportar políticas públicas, definir y/o adoptar normas técnicas, orientar inversiones públicas y privadas, consolidar líneas base y fortalecer capacidades. Todo esto contribuye a la consolidación de los procesos sectoriales y, con ello, al bienestar social y a la reducción del impacto negativo en el ambiente.
3. **Desarrollo institucional:** esta perspectiva incluye todo lo relacionado con el fortalecimiento del SCC: el talento humano, su bienestar, la estabilidad del empleo, una estructura organizacional ajustada a los requerimientos de la Nación, la mejora de procesos y procedimientos con validación de resultados, infraestructura y tecnología

de punta, innovación y desarrollo e implementación de instrumentación de bajo costo, redes modernas con amplia cobertura y adecuada resolución espacial y temporal, esquemas participativos para la generación de conocimiento y rendición de cuentas, y una respuesta eficiente a los requerimientos de actores públicos, privados y comunitarios. Todo esto permite valorar los avances y la consolidación de la entidad.

4. **Fortalecimiento financiero:** este aspecto incluye la distribución de recursos para el desarrollo y/o apoyo a la implementación de tecnología de bajo costo; la ampliación y/o modernización de redes, investigación aplicada, minerales y/o materiales con identificación de nuevas posibilidades en cadenas productivas, y recursos adicionales obtenidos a través de entidades u organizaciones de sectores no tradicionales. Se evaluará la oportunidad y el cumplimiento de la planeación presupuestal - compromisos y pagos - para consolidar una estrategia de acceso y administración de recursos económicos para su operación, así como la capacidad de gestión con otras entidades gubernamentales u organismos nacionales e internacionales, asegurando que la ejecución cumpla el propósito misional de la entidad.

En cada periodo de administración, se establecerán los planes de acción correspondientes, determinando cada actividad, proyecto y programa según los indicadores de impacto y su contribución a la meta general, así como el avance esperado en cada vigencia y periodo de ejecución del Plan.

Para este ejercicio, la Secretaría General, a través del Grupo de Trabajo de Planeación, formulará a partir de las cadenas de valor de los diferentes programas, la estrategia y el mecanismo de seguimiento y evaluación, siempre orientado a establecer los avances de los impactos esperados, para su cierre, ajuste o mejora continua.



CAP 2 TON

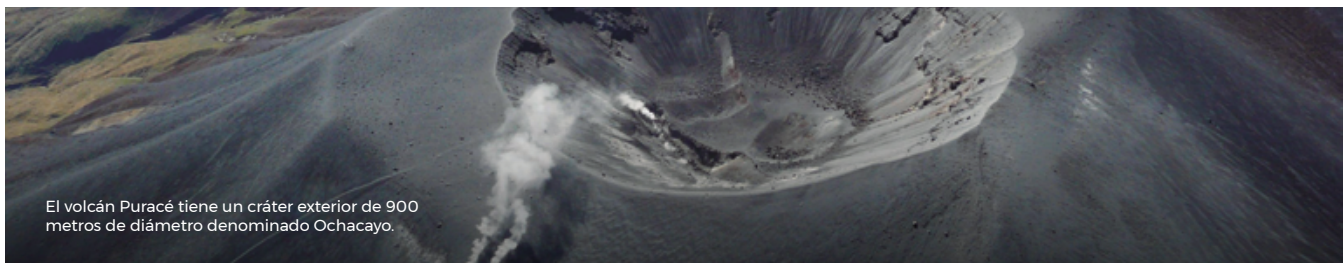
06

Bibliografía y anexos

Bibliografía

- **Ayala-García, J. y Ospino-Ramos, K. (2023).** Desastres naturales en Colombia: Un análisis regional. *Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana* (317).
- **Calvo, J. P. (2008).** Contribución de los servicios geológicos al desarrollo de las ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16(1), 17-22.
- **Departamento Nacional de Planeación. (2014).** *Guía metodológica para el seguimiento y la evaluación a políticas públicas*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/Cartilla%20Guia%20para%20Seguimiento%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20Ago%2013.pdf>
- **Departamento Nacional de Planeación. (2022).** *Visión Colombia 2050*.
- **Departamento Nacional de Planeación. (2023).** *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026*.
- **Escuela Superior de Administración Pública. (2019).** *Innovación en el sector público*.
- **European Commission. (2013).** *Guide to Social Innovation*. https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/guides/2013/guide-to-social-innovation
- **Grupo Banco Mundial. (2023).** *Informe sobre clima y desarrollo del país*. <https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/099072023124015474/p1781040f920a400809a2c09e70149f435b>
- **Hill, P. R., Lebel, D., Hitzman, M., Smelror, M. y Thorleifson, H. (2020).** The changing role of geological surveys: Introduction. *Geological Society, London, Special Publications* 499, 1-15. <https://doi.org/10.1144/sp499-2020-19>
- **Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2022).** *Estudio Nacional del Agua*.
- **Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2017).** *Tercera Comunicación Nacional de Colombia a la convención marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático*. <http://www.ideam.gov.co/web/siac/infonalclimatico>
- **Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (s.f.).** *Colombia, un país con una diversidad de suelos ignorada y desperdiciada*. <https://antiguo.igac.gov.co/es/noticias/colombia-un-pais-con-una-diversidad-de-suelos-ignorada-y-desperdiciada>
- **Mazzucato, M. (2018).** Mission-oriented innovation policies: challenges and opportunities. *Industrial and Corporate Change*, 27(5), 803-815. <https://doi.org/10.1093/icc/dty034>
- **Mazzucato, M. (2021).** *Misión Economía: Una guía para cambiar el capitalismo*. Penguin Random House Grupo Editorial.
- **Ministerio del Interior. (2012).** *Sistema Nacional de Información para la Gestión de Riesgos y Desastres*.

- **Servicio Geológico Colombiano y Global Earthquake Model Foundation. (2018).** *Modelo Nacional de Amenaza Sísmica para Colombia*. Servicio Geológico Colombiano (SGC) – Grupo de Amenaza Sísmica y Fundación Global Earthquake Model (GEM). <https://libros.sgc.gov.co/index.php/editorial/catalog/book/38>
- **Smelror, M. (2020).** *Geology for society in 2058: Some down-to-earth perspectives*. Geological Society, London, Special Publications 499, 17–47. <https://doi.org/10.1144/SP499-2019-4>
- **Organización de las Naciones Unidas. (2015).** *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*.
- **Organización de las Naciones Unidas. (2017a).** *Convenio de Minamata sobre el Mercurio*.
- **Organización de las Naciones Unidas. (2017b).** *Nueva Agenda Urbana*. Secretaría de Hábitat III.
- **Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2014).** *Estudios de la OCDE de las Políticas de Innovación: Colombia*.
- **Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y Eurostat. (2018).** *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*, OECD Publishing, Paris/Eurostat, Luxembourg. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- **Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2019).** *Perspectivas regionales de la OCDE*.
- **Departamento Nacional de Planeación. (2023).** *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026*.
- **Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N. E., Almanza, M. F., Alcárcel, F. A. y Madrid, C. A. (2015).** *Notas explicativas: Mapa Geológico de Colombia*. En: Gómez, J. y Almanza, M. F. (Editores), *Compilando la geología de Colombia: Una visión a 2015*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 33, p. 9–33. Bogotá.
- **Mazzucato, M. (2023).** *Cambio transformacional en América Latina y el Caribe: Un enfoque de política orientada por misiones*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48298-cambio-transformacional-america-latina-caribe-un-enfoque-politica-orientada>
- **Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (s.f.).** *Gasto interior bruto en I+D*. <https://data.oecd.org/rd/gross-domestic-spending-on-r-d.htm>
- **Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2012).** *Crecimiento Verde Incluyente para el Futuro que Deseamos*.
- **Servicio Geológico Colombiano. (2016).** *Mapa de Anomalías Geofísicas de Colombia*. <https://www2.sgc.gov.co/ProgramasDeInvestigacion/DireccionTecnicaRecursosMinerales/Paginas/Mapa-geofisico-de-Colombia.aspx>
- **Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. (2016).** *Análisis de los Conflictos de Ordenamiento Territorial*.



El volcán Puracé tiene un cráter exterior de 900 metros de diámetro denominado Ochacayo.



Programas misionales

Programa 1. Generación de conocimiento geocientífico que contribuya a tomar decisiones para el ordenamiento del territorio, la gestión del riesgo, la soberanía nacional y la seguridad alimentaria, con el fin de aportar al bienestar de los colombianos y al desarrollo sostenible

Proyecto 1. Estudios para la evaluación de la amenaza y riesgo de origen geológico

El Servicio Geológico Colombiano (SGC) ha adelantado estudios para evaluar amenazas y riesgos geológicos, los cuales sirven como insumo para asesorar al Gobierno Nacional en la formulación de políticas, la orientación de acciones de monitoreo y seguimiento del riesgo, la formulación y evaluación de la Estrategia Nacional de Respuesta a Emergencias, y la toma de decisiones sobre el ordenamiento territorial (enmarcado en el Decreto 4131 de 2011 y la Ley 1523 de 2012). Por esta razón, se requiere seguir ampliando el conocimiento geocientífico de las geoamenazas para gestionar el riesgo. Es decir, para disminuir el número de ele-

mentos expuestos, muertes, personas afectadas, pérdidas económicas y daños en la infraestructura. Además, para identificar y analizar escenarios de riesgo y orientar la preparación para la respuesta ante emergencias. Para ello, se abordarán tres componentes orientados a la investigación sobre las amenazas geológicas: riesgo volcánico, sísmico y movimientos en masa.

| Componente 1.1. Investigación sobre amenaza y riesgo volcánico

En Colombia, aproximadamente la tercera parte de la población se encuentra asentada en la cordillera Central y en el sur de la cordillera Oc-

cidental, en áreas de influencia de volcanes activos y campos volcánicos monogenéticos. Esto ha marcado las vidas de miles de personas. Los flujos de lodo generados en la erupción del Nevado del Ruiz el 13 de noviembre de 1985 dejaron heridas a cerca de 5 mil personas y sin hogar a otras 10 mil.

En total, los daños fueron estimados en US\$246 millones que representaron 0,70 % del PIB. La emergencia y rehabilitación costó US\$14,7 millones (0,04 % del PIB); la reconstrucción cerca de US\$360 millones (1,02 % del PIB); y los gastos de funcionamiento fueron tasados en US\$95,1 millones (0,27 % del PIB). (Celis, 2015, párr. 7)

Además los volcanes de lodo, evento natural que se manifiesta en forma de eyección de gases tóxicos e inflamables y lodo, que puede alcanzar entre decenas y cientos de metros desde su foco de emisión, o formar nuevos “volcanes”, también representan una amenaza para las poblaciones ubicadas en su área de influencia.

Aunque el país ha avanzado en estudios de amenaza sobre estos eventos, aún hace falta abarcar otros territorios. Por esta razón, es necesario adelantar estudios detallados que permitan evaluar la amenaza asociada a volcanes activos y volcanes de lodo. Asimismo, es necesario elaborar y actualizar mapas de amenaza volcánica que sirvan como insumo para la evaluación del riesgo, lo que aportará en la implementación de programas de gestión del riesgo y en el adecuado manejo de las crisis por estos eventos.

| Componente 1.2. **Investigación sobre amenaza y riesgo sísmico**

Se calcula que el 87 % de la población del país se encuentra en centros urbanos localizados en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta. Sumado a esta condición de exposición, el diseño y la construcción sismo resistente del país se reglamentó solo hasta 1984 y la vigilancia de las curadurías empezó a aplicarse en 1996. Además, tanto la construcción informal como la no tecnificada corresponden a un 90 % del total de edificaciones residenciales en áreas urbanas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Todo este escenario ha llevado a que eventos sísmicos recientes generen grandes pérdidas económicas y de vidas.

Adicionalmente, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) señala que las capitales y ciudades con más de 100 mil habitantes, localizadas en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, deben alinear los instrumentos de planificación para el ordenamiento territorial con estudios de microzonificación sísmica. Tan solo el 25 % de las capitales lo han hecho (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

El país cuenta con estudios e investigaciones en amenaza y riesgo sísmico, orientados a entender la dinámica de la Tierra en Colombia y en zonas vecinas, que permiten soportar una adecuada gestión del riesgo y planeación del territorio. No obstante, se requiere actualizar el Modelo Nacional de Amenaza Sísmica para Colombia (MNAS) y consolidar el Modelo Nacional de Riesgo Sísmico. También es necesario evaluar efectos de sitio en ciudades priorizadas con mayor amenaza y/o riesgo sísmico que no dispongan de estudios actualizados de zonificación de respuesta sísmica acorde con el Reglamento NSR-10.

El país cuenta con estudios e investigaciones en amenaza y riesgo sísmico, orientados a entender la dinámica de la Tierra en Colombia y en zonas vecinas, que permiten soportar una adecuada gestión del riesgo y planeación del territorio. No obstante, se requiere actualizar el Modelo Nacional de Amenaza Sísmica para Colombia (MNAS) y consolidar el Modelo Nacional de Riesgo Sísmico. También es necesario evaluar efectos de sitio en ciudades priorizadas con mayor amenaza y/o riesgo sísmico que no dispongan de estudios actualizados de zonificación de respuesta sísmica acorde con el Reglamento NSR-10.

| Componente 1.3. **Investigación sobre amenaza y riesgo por movimientos en masa**

En Colombia, el 88 % de los desastres son de origen hidrometeorológico (movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales). Estos eventos de alta recurrencia generan pérdidas que retrasan el desarrollo económico, social y ambiental del país. De acuerdo con el Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades, el 75 % de los departamentos y el 47 % de los municipios presentan estos tipos de amenaza, y unos 18 millones de personas están expuestas a los impactos (Departamento Nacional de Planeación, 2018). Se calcula que, cada año durante los últimos 20 años, este tipo de desastres ha causado la muerte de unas 160 personas y la destrucción de 2800 viviendas. Por otro lado, vías, acueductos, centros educativos y comunitarios, puentes y viviendas son los elementos expuestos más afectados por movimientos en masa y avenidas torrenciales (UNGRD, 2023).

→ **Producto e indicador proyecto 1:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
<p>Documentos de investigación sobre amenazas y riesgos de origen geológico, que incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Investigaciones sobre amenaza y/o riesgo volcánico • Investigación sobre amenaza y/o riesgo sísmico • Estudios realizados por movimientos en masa 	15	51	87	105

| Componente 1.4.

Actualización del mapa de zonificación de amenaza volcánica y monitoreo para la Región Eje Cafetero

El Eje Cafetero es una de las zonas colombianas más activas desde el punto de vista sísmico y volcánico, ya que se encuentra cerca del límite de dos placas tectónicas (Caribe y Nazca) y alberga al volcán más activo de Colombia en la actualidad (Nevado del Ruiz). Además, allí se ubican dos de los volcanes más explosivos del país (Cerro Machín y Cerro Bravo). Por otra parte, ha sido escenario de grandes sismos en los últimos cien años, como los ocurridos en Armenia, Pereira y Manizales. Por esta razón, es necesario contar con un mapa integrado de amenaza volcánica para esta región, así como con un sistema

de monitoreo sísmico y volcánico actualizado, con tecnología de punta, para poder proporcionar información geocientífica oportuna y veraz que permita a los tomadores de decisiones y a la comunidad en general contar con una herramienta para una mejor gestión del riesgo volcánico.

→ **Producto e indicador del proyecto 1.4:**

Documentos de investigación sobre amenazas y riesgos de origen geológico, que incluyen: contienen información técnica y científica compilada cada año para generar conocimiento en temas que involucran sismos, volcanes, movimientos en masa y sus respectivos subtemas de amenaza y riesgo, y deformación de la corteza terrestre.

→ **Producto e indicador componente 1.4:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Actualización del mapa de amenaza y monitoreo para la Región Eje Cafetero	0	90 %	no aplica	no aplica

Proyecto 2. Evaluación y monitoreo de dinámicas geológicas

La complejidad geológica y estructural del territorio colombiano provoca la acumulación de energía en la corteza terrestre, lo que produce deformaciones, sismos y la generación de volcanes. Estos fenómenos pueden impactar en el desarrollo social y económico del país debido a la pérdida de vidas humanas, infraestructura y otros bienes materiales.

Respondiendo a este contexto, el SGC ha generado conocimiento e información sobre la actividad volcánica durante más de 35 años, a través de los observatorios vulcanológicos y sismológicos de Manizales, Popayán y Pasto. También ha monitoreado la actividad sísmica durante unos 30 años mediante la Red Sismológica Nacional de Colombia y la Red Nacional de Acelerógrafos y de Deformación de la Corteza Terrestre, así como a través de la Red Nacional de Estaciones Geodésicas Satelitales (GNSS) con Propósitos Geodinámicos (GeoRED) durante 20 años. Desde 2014, además, se han implementado redes regionales de monitoreo en diversas zonas, y se han planeado proyectos piloto de investigación integral (PPII). A partir de los datos adquiridos por estas redes, se han generado líneas base del comportamiento de los eventos volcánicos, que son referentes en la evaluación de la actividad asociada y en la emisión de alertas tempranas.

Nuestro contexto geológico genera eventos amenazantes. En este sentido, la configuración de diferentes escenarios de riesgo hace necesario que el país avance en la investigación, evaluación y monitoreo de la deformación de la corteza, la actividad sísmica y las estructuras volcánicas (incluidos diapiros o “volcanes de lodo”). Esto se logra a través de redes de vigilancia que contribuyan a pronosticar la ocurrencia de amenazas asociadas, a generar alertas tempranas y a obtener un mayor conocimiento de estos procesos geológicos, su evolución en el tiempo y el espacio, y las causas asociadas a su origen. El objetivo es facilitar la gestión del riesgo, la planificación territorial sostenible y la definición de determinantes ambientales. Para ello, se considerarán tres componentes: investigación y monitoreo de la actividad volcánica, investigación y monitoreo

de la actividad sísmica, y deformación de la corteza terrestre.

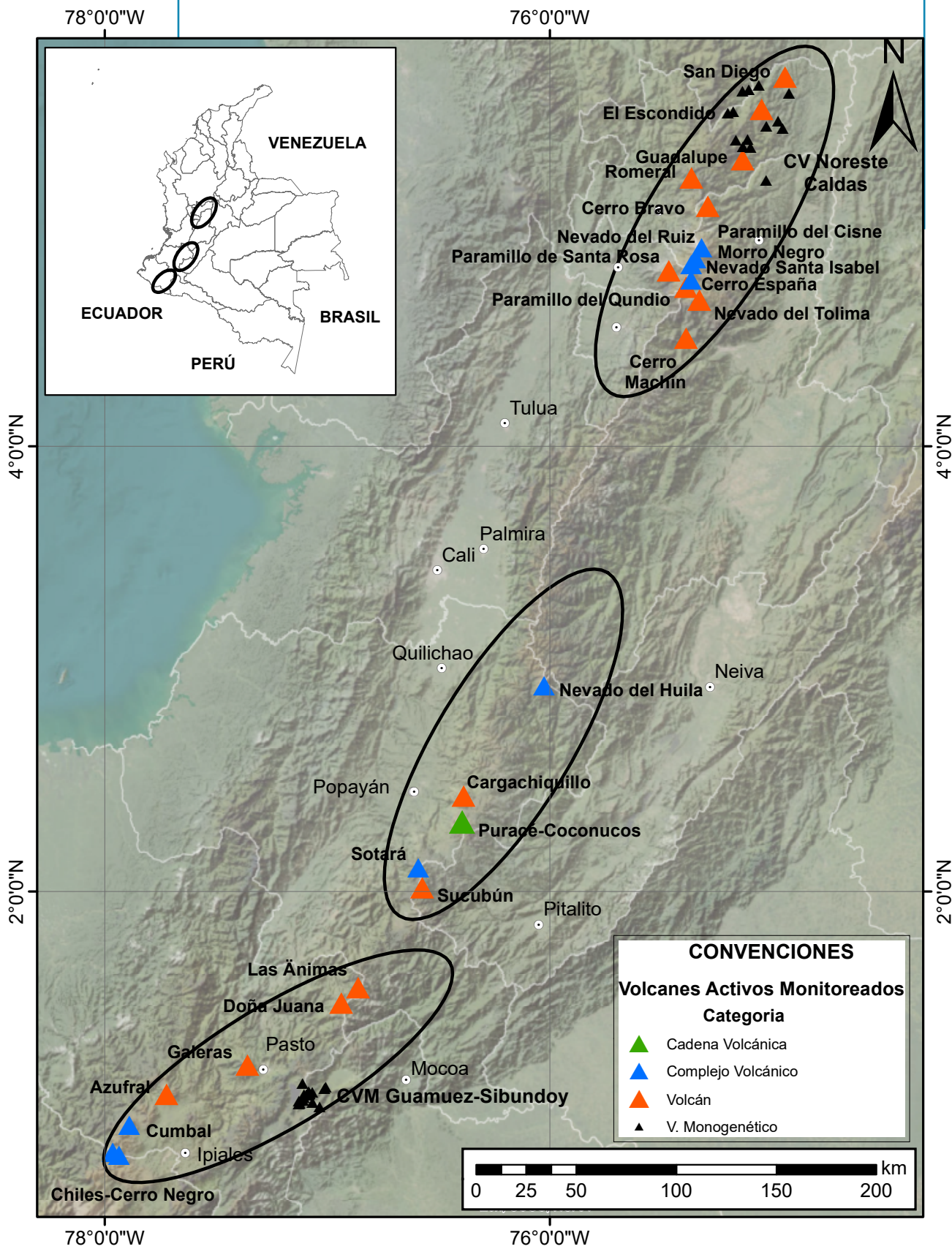
| Componente 2.1. Investigación y monitoreo de la actividad volcánica

La erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985, catalogada como una de las más mortíferas del siglo XX, puso de manifiesto la necesidad de implementar un monitoreo continuo en los volcanes activos, alrededor de los cuales se asientan centros poblados, con el fin de suministrar información oportuna a la población y a los tomadores de decisiones, así como evaluar su amenaza. La figura 1 presenta la ubicación de las estructuras volcánicas que se encuentran monitoreadas por el SGC.

Por otra parte, erupciones volcánicas de lodo, como las acontecidas en 1992 en los diapiros de lodo Cacahual, en San Pedro de Urabá (Antioquia), en 2017 en San Diego-La Lorenza (Córdoba) y en 2021 en la localidad de Palmares-La Ceniza (Antioquia) y en la región Caribe, han causado heridos, muertos y daños que incluyen pérdida de terrenos y edificaciones con levantamientos, hundimientos y agrietamientos potencialmente peligrosos para la vida de los habitantes.

El monitoreo continuo y la investigación de la actividad volcánica, incluyendo la asociada con diapirismo de lodo, mediante la implementación y ampliación de redes multiparámetro, permiten informar en tiempo real sobre la actividad de estos eventos y obtener conocimiento geocientífico que contribuya a la gestión del riesgo. Por ello, el SGC necesita mantener en operación y fortalecer la red instrumental de monitoreo multiparámetro e investigación, involucrando sus observatorios vulcanológicos y sismológicos con sede en Manizales, Popayán y Pasto. También requiere adelantar investigaciones que fortalezcan el monitoreo y el conocimiento de sus amenazas asociadas. En particular, necesita actualizar el sistema de monitoreo volcánico y sísmico del Eje Cafetero, donde se encuentra el volcán Nevado del Ruiz, actualmente (2023) en un proceso eruptivo con erupciones menores que pueden cambiar repentinamente a erupciones mayores y que afectarían a gran parte de la población del centro de Colombia.

→ Figura 1. Mapa de estructuras volcánicas monitoreadas en Colombia



| Componente 2.2. Investigación y monitoreo de la actividad sísmica

Colombia es un país con alta actividad sísmica. Desde 1993 se han registrado cerca de 300 mil sismos gracias a la operación y el monitoreo de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) (figura 2). Según los estudios de amenaza sísmica del SGC, las zonas de mayor riesgo corresponden a las de mayor población, como el Pacífico colombiano, el Eje Cafetero y el borde llanero, así como los departamentos de Arauca, Norte de Santander y Santander, donde se han experimentado eventos sísmicos históricamente destructivos como el de Cúcuta y Villa del Rosario en 1875 (6.8 Mw), Tumaco en 1906 (8.8 Mw), y el del Eje Cafetero en 1999 (6.1 Mw).

También hay casos como el de la población de Puerto Gaitán (Meta), que a partir de 2013 ha percibido un aumento significativo de sismicidad en zonas con registro de inyección de fluidos (disposición final o recobro mejorado) asociado con actividades de explotación de hidrocarburos y generación de energía hidroeléctrica. El SGC inició un proyecto de monitoreo de sismicidad inducida por exploración y explotación de hidrocarburos y ya se han identificado algunas zonas en las cuales ahora hay una sismicidad que no existía antes, como La Loma (Cesar) y Puerto Gaitán. Este último presentó un sismo de magnitud 5.0 en 2022. Por esta razón, es importante el monitoreo de la sismicidad inducida por actividades antrópicas, tales como la exploración y explotación de hidrocarburos, minería, represas, geotermia, entre otros.

→ Figura 2. Estación para el monitoreo de sismos



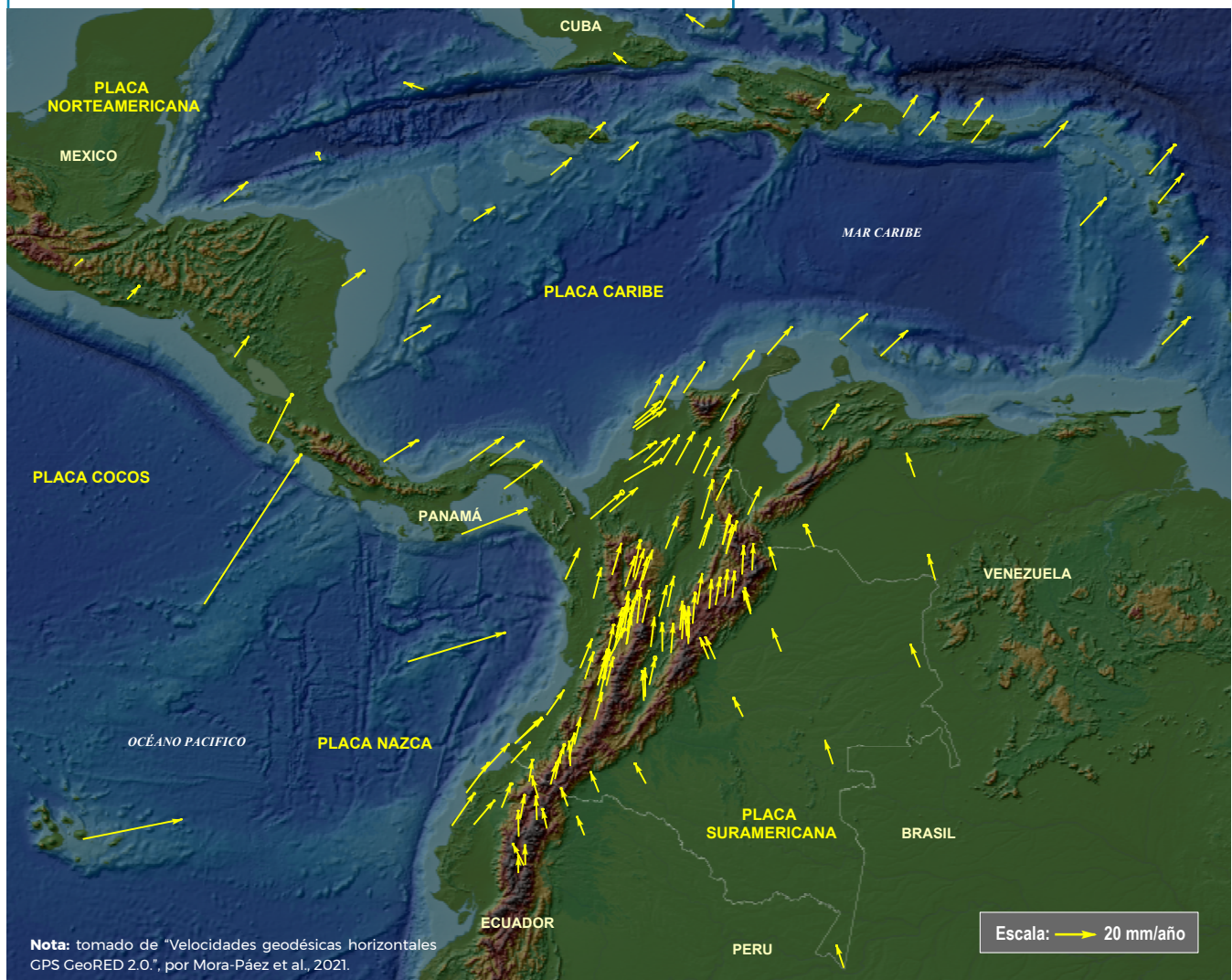
Estación sísmológica de La Uribe, Meta - URMC, instalada en 2018 con infraestructura modular.

El SGC mantiene y actualiza continuamente la red de monitoreo sismológico RSNC, mediante la implementación de metodologías y tecnologías modernas que permiten disponer de información relevante sobre la ocurrencia de sismos, fundamental para tomar decisiones y gestionar el riesgo asociado durante las primeras horas después de un evento de este tipo. Además de esta red, se necesita un monitoreo constante de zonas en las que puede desencadenarse sismicidad inducida debido a actividades antrópicas, así como herramientas encaminadas a mitigar sus posibles impactos. Para eso se requiere la implementación de redes sísmicas locales.

Componente 2.3. Investigación de la deformación de la corteza terrestre

La complejidad tectónica de la esquina noroccidental de Suramérica, el sureste de Centroamérica y la región Caribe (resultado de la interacción de las placas tectónicas de Nazca, Caribe, Suramérica y Cocos, así como de los bloques geológicos Norte de los Andes, Panamá, Chocó, Triangular de Maracaibo y Bonaire, acuñados entre dichas placas) genera la necesidad de determinar el estado actual de deformación de la corteza terrestre. Esto se puede lograr a través de un monitoreo sistemático que emplee

→ Figura 3. Velocidades geodésicas con respecto al Marco Internacional Terrestre de Referencia 2014



técnicas y métodos interdisciplinarios, con énfasis en aplicaciones geodésicas (figura 3). Bajo esta premisa, se requiere que Colombia mantenga, fortalezca y opere el sistema de observación geodésica existente, basado principalmente en la aplicación de técnicas de geodesia de posicionamiento GNSS y geodesia InSAR o de imágenes. Estos datos son útiles para propósitos geocientíficos, para el monitoreo permanente de eventos asociados a la dinámica de la Tierra y para investigación. Además, permiten establecer el estado actual de la deformación de la corteza terrestre en el país y en regiones vecinas.

Se han instalado 119 estaciones geodésicas GNSS permanentes de operación continua, pero solo el 34 % transmiten datos en tiempo real. De igual manera, los datos de geodesia InSAR, orientados principalmente a estudios de movimientos verticales, abarcan de manera parcial, con resolución de 3 m, solamente a Bogotá, Cartagena y Barranquilla, y con resolución más baja (15 m), e

igualmente parcial, la región de la Sabana de Bogotá, Santa Marta y Villavicencio.

El sistema de información de amenazas y riesgos de origen geológico permitirá integrar contenidos de dinámicas geológicas territoriales para fomentar la generación y el uso de la información sobre el riesgo de desastres, su reducción y la respuesta a emergencias en el territorio nacional, así como ofrecer la información que demandan los gestores de riesgo en todos los niveles de gobierno. Además, contiene información sobre el uso de las estaciones de monitoreo con las que se obtiene la información asociada a fenómenos geológicos que generan amenaza.

Esa información sirve como fuente para adelantar investigaciones específicas en sismología, geodinámica, geodesia, volcanes y movimientos en masa. Se cuenta con cuatro redes de monitoreo establecidas: red sísmica, red de acelerógrafos, red de deformación de la corteza y red de monitoreo volcánico.

➔ **Producto e indicador proyecto 2:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Sistema de información de amenazas y riesgos de origen geológico	10 %	46 %	82 %	100 %

Proyecto 3. Investigación geoquímica y geofísica sobre el territorio colombiano

Este proyecto consiste en generar conocimiento geocientífico sistemático, de carácter geofísico y geoquímico, en áreas de interés del territorio nacional. La geoquímica y la geofísica son dos herramientas complementarias que proveen la cuantificación y caracterización del estado de los componentes del suelo y el subsuelo desde estas dos perspectivas. Su objetivo es proveer líneas base o referencias espaciotemporales a las escalas requeridas en cada caso, como fundamento para desarrollar otros estudios con propósitos

específicos, tales como diagnósticos y monitoreos ambientales, identificación y caracterización de amenazas geológicas, evaluaciones de potencial mineral, apoyo a la identificación de estructuras, componentes del subsuelo y aguas subterráneas, entre otros.

El conjunto de datos geofísicos y geoquímicos que describen el estado del suelo y el subsuelo es el punto de partida para llevar a cabo monitoreos y gestión ambiental, gestión del riesgo, ordenamiento territorial y la definición de estrategias para aprovechar o preservar los recursos minerales y energéticos. Uno de los retos para que esta información sea útil es promover la

apropiación intersectorial de estas herramientas para asegurar su uso y aprovechamiento.

En este contexto, el SGC ha avanzado en la elaboración del Atlas Geoquímico y el Mapa Geofísico de Colombia, que presentan un avance parcial del 30 % para determinados elementos químicos, y del 45 % de cubrimiento del territorio continental colombiano, respectivamente. Con el fin de dar continuidad a estos logros, este proyecto comprende dos componentes: I) investigación en geoquímica y II) investigación en geofísica.

| Componente 3.1. Investigación en geoquímica multipropósito

La información geoquímica permite obtener un panorama del estado de los componentes químicos presentes en el subsuelo y la superficie, de sus interacciones y procesos fisicoquímicos potenciales o en curso, y de sus implicaciones en términos ecosistémicos, para la salud y la economía. Las líneas base obtenidas permiten definir y delimitar las problemáticas, áreas y procesos geológicos de interés para realizar otros estudios intersectoriales y plantear estrategias gubernamentales o comunitarias que aborden las problemáticas identificadas, como los conflictos socioambientales.

Asimismo, el SGC cuenta con el Atlas Geoquímico de Colombia, que identifica los principales dominios geoquímicos existentes a escala 1:6.000.000. Para su construcción se utilizaron datos de concentración de 57 elementos químicos en sedimentos finos activos de corriente y sedimentos finos de lecho seco, a partir de los cuales se elaboraron 228 mapas de distribución y concentración geoquímica. La versión 2020 se encuentra respaldada por el análisis de más de 70.000 muestras y comprende información geoquímica con cobertura de hasta el 30 % del territorio nacional para elementos base como cobre, plomo y zinc. Para el resto de elementos, esta cobertura es menor, oscilando entre el 5 y 20 %. Con este componente se espera alcanzar un avance del 35 %.

También se proyecta generar productos de cartografía geoquímica mediante la combinación de metodologías tradicionales y herramientas como la inteligencia artificial y nuevas tecnologías de la información, con el fin de obtener el máximo provecho de la información analítica obtenida durante más de 100 años de existencia del SGC y alcanzar objetivos como la predicción de tendencias y fenómenos geoquímicos en el territorio.

Para fortalecer la investigación conjunta, la integración de información multidisciplinaria, el intercambio de conocimiento y la validación de los productos de este componente, se hace fundamental la cooperación con instituciones nacionales e internacionales expertas, con conocimientos complementarios o en mayor grado de avance, por ejemplo, en protocolos de muestreo, procesamiento y análisis de datos, en la generación de cartografía y predicción de procesos geoquímicos (IDEAM, IGAC, entre otros).

De igual manera, se plantea la investigación geoquímica aplicada a la exploración del potencial de minerales estratégicos, definidos por la Agencia Nacional de Minería (ANM) (Resolución 1006 del 30 de noviembre de 2023), en atención a las necesidades sectoriales y el Plan Nacional de Desarrollo (PND).

| Componente 3.2. Investigación en geofísica multipropósito

La información geofísica provee insumos para entender la disposición espacial y las estructuras de los componentes del subsuelo. La entidad ha avanzado en la elaboración del Mapa Geofísico de Colombia, que abarca cerca de 590.422 km² distribuidos en 22 bloques localizados en las zonas Caribe (Serranía del Perijá), Andina, Santander (Macizo y Santander) y Oriental (Llanos Orientales y Amazonía). La información geofísica comprende algo más de 1 millón de kilómetros lineales de información de magnetometría y gammaspectrometría aerotransportada, cubriendo el 45 % del territorio continental colombiano.

→ Producto e indicador proyecto 3:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Nuevas actualizaciones del Mapa Geofísico de Colombia	0	1	1	0
Nuevas actualizaciones del Atlas Geoquímico de Colombia	0	1	1	0

Proyecto 4: Estudios cartográficos y geomorfológicos para el ordenamiento del territorio

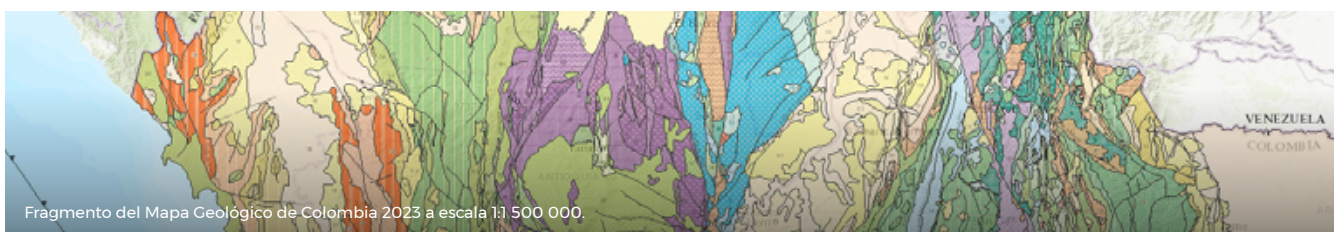
El conocimiento geocientífico integral del territorio nacional es clave para generar nuevas estrategias para el desarrollo económico, social y político de las regiones. Por lo tanto, es necesario que este se constituya en una base para tomar decisiones sobre las estrategias para el desarrollo del país, especialmente los estudios a escalas más detalladas que 1:100.000, las cuales minimizan el grado de incertidumbre geológica para diseñar y construir grandes obras de infraestructura estratégicas, y que proveen los insumos necesarios para la óptima formulación de los planes de ordenamiento territorial, en los que el uso del suelo para los diferentes fines productivos es de gran importancia.

Por otro lado, el conocimiento geocientífico detallado e integral del territorio colombiano favorece la evaluación y definición del potencial del país en recursos hídricos y geotérmicos, y direcciona los proyectos de investigación requeridos para suplir las necesidades de la nación en relación con el conocimiento geológico básico del territorio. La investigación científica enfocada en la resolución de problemas geológicos específicos permite generar nuevo

conocimiento a partir de la adquisición de datos y muestras en campo, así como la interpretación de análisis de laboratorio y la integración de información geofísica, estructural y estratigráfica. Todo esto facilita la elaboración de mapas temáticos, los cuales son un insumo primordial para realizar estudios aplicados, entender el desarrollo del paisaje con miras a comprender el territorio y planear una adecuada interacción hombre-naturaleza.

Dentro de los estudios de investigación relacionados con cartografía se tienen aquellos que detallan la superficie y los que involucran un modelado 3D del subsuelo, con base en la información geofísica adquirida por métodos aerotransportados, satelitales o terrestres, así como los que están almacenados en el Banco de Información Petrolera y en la Litoteca Nacional. También se elaboran estudios detallados de los reservorios de agua en el subsuelo, complementando así una parte relevante del ciclo del agua, y otros para entender el flujo de calor proveniente del subsuelo, pensando en un potencial aprovechamiento geotérmico.

Para cumplir este proyecto se contemplan, principalmente, dos componentes: cartografía geológica del territorio colombiano a escalas detalladas y elaboración de estudios geológicos de la evolución y configuración del paisaje a escalas adecuadas.



Fragmento del Mapa Geológico de Colombia 2023 a escala 1:1 500 000.

| Componente 4.1.

Cartografía geológica del territorio colombiano

El SGC cuenta con cartografía geológica a escalas 1:500.000, 1:200.000 y 1:100.000, que permite identificar rasgos geológicos regionales. Para 2023, el país contaba con un cubrimiento de la cartografía geológica del territorio continental colombiano del 71,6 % a escala 1:100.000 y de 24 mapas geológicos a escala 1:25.000.

Esto evidencia que el avance del conocimiento geocientífico a escalas detalladas es insuficiente. Es imperativo continuar aumentando este cubrimiento, que sirve como insumo para tomar decisiones asociadas al subsuelo, según lo priorizado en los planes de gobierno, de ordenamiento territorial (especialmente en municipios pequeños), de gestión del riesgo, de soberanía nacional, de uso del suelo, de planeación de la infraestructura y de desarrollo energético.

De acuerdo con lo anterior, se requiere incrementar la generación del conocimiento geocientífico detallado en el territorio colombiano. Para eso se espera terminar la cartografía geológica de 2245,5 km² a escala 1:100.000, es decir, pasar de 71,6 % a 71,8 % de cubrimiento, y, con ello, se cumplirá con las acciones relacionadas con el cubrimiento de cartografía a esta escala establecidas en la Resolución 40109 de 18 de marzo de 2022, teniendo en cuenta las restricciones de seguridad y accesibilidad existentes en el territorio no cubierto. Por su parte, para la cartografía a escala 1:25.000, se proyecta cumplir con 3936,11 km², y así pasar de 24 mapas geológicos a 60 para el año 2032.

A través de este proyecto se adelantarán investigaciones geocientíficas a escalas detalladas, con el fin de evaluar aspectos geológicos del subsuelo en cuanto a sus características composicionales, estructurales, deformacionales y geocronológicas. Todo esto para elaborar modelos geológicos detallados que se conviertan en un insumo base para proyectos específicos de transición energética (geotermia, hidrógeno blanco y almacenamiento de CO₂), del conocimiento del ciclo del agua relacionado con acuíferos, del entendimiento del cambio climático y de la evolución del paisaje.

La cartografía detallada también será priorizada en la costa pacífica colombiana, donde se propone investigar y proporcionar información y conocimiento geológico, geofísico, geomorfológico y geotécnico básico que sirva como insumo para reconocer amenazas geológicas de origen marino y costero: erosión costera y remoción en masa, licuefacción de suelos, suelos expansivos, terremotos, tsunamis, mares de leva, cambio del nivel del mar, subsidencia y salinización de acuíferos.

En las zonas en las que está proyectado producir mapas geológicos se incluirán las áreas marinas, que representan el 46 % del territorio del país. Esta amplia área territorial carece de cartografía morfológica, geomorfológica y geológica. Los estudios de geomorfología y geología del fondo marino son esenciales para el desarrollo del país en áreas como infraestructura, ordenamiento del territorio, soberanía y gestión del riesgo de desastres. El conocimiento de la estructura, conformación y disposición de las formas y geoformas marinas permitirá el entendimiento de procesos como deslizamientos submarinos, tsunamis, materiales susceptibles a remoción por sismos, procesos de diapirismo y volcanismo de lodo, y explosiones o fugas submarinas de metano y otros gases.

Estos datos contribuirán a la planificación del territorio y de las poblaciones ribereñas, a la caracterización de riesgos naturales submarinos, a planificar la construcción de infraestructuras en alta mar o a responder eficazmente a accidentes en el mar como vertidos de petróleo, accidentes aéreos o naufragios. También tienen un papel importante en la evaluación de los efectos futuros del cambio climático, ya sea el aumento de la temperatura o la subida del nivel del mar (La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2022). Estos aportes geocientíficos se convierten en insumos básicos para el conocimiento del país y para atender los retos y las metas establecidas a nivel nacional y mundial.

Además, se intentará compilar, analizar y adquirir información geológica en las fajas costeras, en las zonas insulares y en los fondos marinos, con miras a generar conocimiento geocientífico que permita entender las dinámicas en los territorios influenciados por los dos océanos que nos circundan.

→ **Producto e indicador componente 4.1:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Mapas geológicos a escala 1:100.000 y memoria explicativa	71,6 %	71,8 %	71,8 %	71,8 %
Mapas geológicos a escala 1:25.000 y memoria explicativa	24	41	53	60
Mapas morfológicos del fondo marino	0	2	6	8



Desde la sala de monitoreo de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) se hace seguimiento a la actividad sísmica del país durante las 24 horas de todos los días del año.

| Componente 4.2.
Estudios geológicos de la evolución y configuración del paisaje a escalas semi regionales y locales

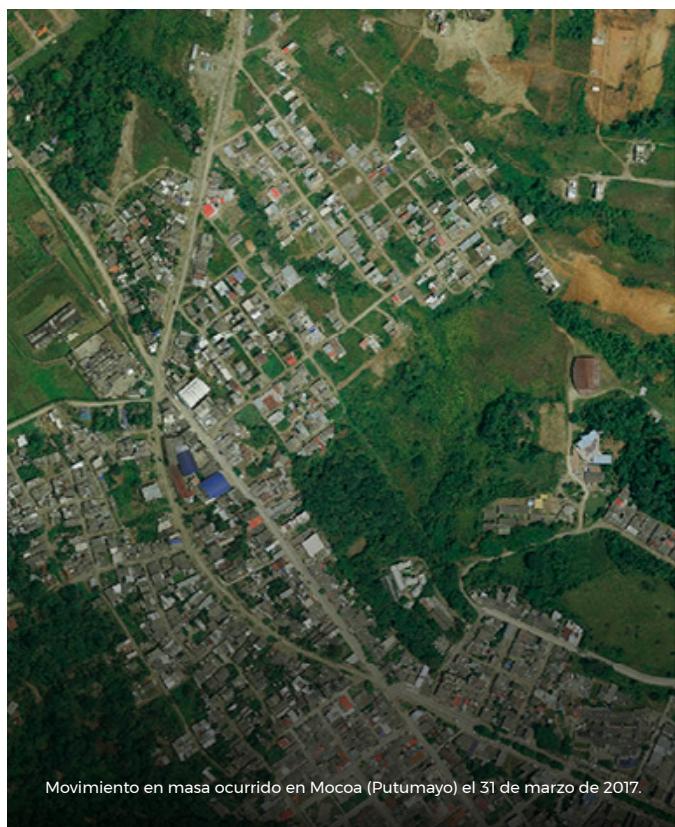
La configuración geológica del territorio colombiano se caracteriza por extensas llanuras, cordilleras, valles y plataformas que tienen cambios constantes como respuesta a la evolución geológica. Tres cuartas partes

de la población colombiana vive en zonas montañosas o intramontañosas susceptibles a actividad sísmica y volcánica, así como a deslizamientos y avenidas torrenciales causados por factores geológicos que influyen en la evolución del paisaje. Debido a esto, las zonas montañosas tienen importantes pliegues y fallas activas, como las de Algeciras, Ibagué, Uramita, Garrapatas, Dagua-Calima, Palestina, Santa Marta-Bucaramanga, Servitá y Guaicaramo, entre otras.

En Colombia, las poblaciones tienden a ubicarse frecuentemente en áreas de incidencia de las fallas y también en abanicos fluvio-torrenciales o terrazas aluviales, como es el caso del Piedemonte Llanero. También en depósitos volcánicos primarios y secundarios, como los presentes en el valle del río Cauca y el valle medio del Magdalena. Además, estas áreas son propensas a movimientos en masa debido a la liberación de esfuerzos en zonas de falla, o a las altas tasas de levantamiento, subsidencia y denudación. Por estas razones, es indispensable desarrollar estudios que involucren componentes estratigráficos, geomorfológicos, estructurales y vulcanológicos a escalas adecuadas, con el fin de aportar conocimiento básico y aplicado para identificar y mitigar riesgos potenciales, o generar conocimiento que pueda ser usado por la comunidad para posibles desarrollos económicos. Esto, al final, se traduce en información apropiada para el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades y de la adecuada relación con el entorno. Los estudios geológicos de la evolución y configuración del paisaje a diversas escalas proporcionarán un insumo clave para tomar decisiones accionables, conscientes, reales

y responsables para la evaluación de los riesgos geológicos, la planificación territorial y la gestión sustentable y sostenible de los recursos naturales. La geodinámica, en particular, permite identificar las zonas de mayor riesgo sísmico y la ubicación de fallas activas. La estratigrafía, por su parte, permite entender la historia geológica del país y la distribución de sus recursos. La vulcanología, finalmente, contribuye a entender el comportamiento de los volcanes y sus respectivas historias eruptivas. Conocer estos aspectos ayuda a evaluar el geopotencial asociado y las amenazas de origen geológico, así como a conocer la influencia de los procesos climáticos que modifican los diferentes paisajes.

Todos los aspectos geológicos son piezas clave para una planificación territorial y una gestión de riesgos adecuada en Colombia. Solo a través del estudio riguroso de los procesos causantes de la evolución del paisaje, sus periodos de recurrencia y los rasgos geológicos asociados a sus efectos, es posible identificar aquellas zonas con mayor potencial de afectación y/o preservación. La ejecución de estos estudios implica el análisis y caracterización de



Movimiento en masa ocurrido en Mocoa (Putumayo) el 31 de marzo de 2017.



las estructuras y la generación de patrones estratigráficos, así como la construcción de conocimiento sobre la composición y edad de las rocas, y sobre procesos geológicos como el tectonismo, que han tenido lugar a lo largo del tiempo, han dado forma al paisaje actual y han influido en el desarrollo de las comunidades.

Para lo anterior, es necesario implementar y articular líneas de investigación de las geociencias básicas como geología estructural, geodinámica, estratigrafía y vulcanología, para aunarlas con el uso de métodos geofísicos, geoquímicos, petrográficos, bioestratigráficos, geodésicos, geomáticos, estadísticos, analíticos y computacionales de última generación.

La geodinámica, la estratigrafía y la vulcanología son áreas del conocimiento esenciales para el desarrollo de un proyecto que analice la evolución del paisaje en Colombia y, a su vez, contribuya a la identificación del riesgo y al ordenamiento territorial. Actualmente, hay un déficit de información geológica que respalde el análisis de la amenaza sísmica relacionada con fallas activas superficiales y ciegas, y que permita caracterizar y distribuir unidades geológicas, caracterizar zonas con inestabilidades de terreno asociadas a cambios y basculamientos del relieve, cuantificar periodos de recurrencia de dichos procesos y establecer la razón por la que estos factores detonan eventos geológicos potencialmente

peligrosos para la población y la infraestructura del país. Por esta razón, es necesario adelantar proyectos de evolución del paisaje para identificar zonas con mayor susceptibilidad ante procesos geológicos asociados a dicha evolución.

En este sentido, este componente busca caracterizar factores geológicos asociados a la evolución del paisaje, sus tasas de activación o periodos de recurrencia, y el potencial que estos tienen en temas de sismicidad, inestabilidad y movilidad del terreno, ocurrencia de avenidas torrenciales y actividad volcánica. Esto se logrará a través de estudios regionales (mayores a escalas 1:100.000) y subregionales (caracterización a escala 1:50.000) que permitirán identificar zonas susceptibles a amenazas, en las cuales se realizarán estudios detallados (a escalas 1:25.000) para evaluar eventos geológicos asociados a la evolución del paisaje.

Se realizarán estudios para identificar y caracterizar fallas activas con potencial sismogénico, así como para analizar detalladamente las unidades litoestratigráficas, los productos volcánicos y los factores que afectan la evolución del paisaje. Los resultados incluirán mapas morfotectónicos superficiales y del subsuelo, mapas de horizontes de interés, modelos de evolución del paisaje, columnas estratigráficas, perfiles morfoestratigráficos y modelos predictivos de recurrencia de eventos.

→ Producto e indicador componente 4.2:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Mapas temáticos a escala 1:50.000	10	12	13	15
Mapas temáticos a escala 1:25.000	25	26	28	30
Informes temáticos	17	20	22	24

| Componente 4.3. Cartografía geológica de volcanes e investigaciones vulcanológicas

Según el análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia, realizado por el Banco Mundial (2012), el segundo evento que puede generar el escenario más crítico desde el punto de vista financiero y de pérdidas de vidas, con base en registros históricos, corresponde a una erupción volcánica. Este aparece por debajo de un gran terremoto y por encima de un episodio de La Niña. Asimismo, establece que la exposición de ciudades y poblaciones a erupciones volcánicas no ha sido estimada para todos los volcanes en términos de impactos humanos y económicos. Sin embargo, datos parciales de los volcanes que cuentan con mapas de amenaza indican que hay por lo menos 1,9 millones de personas en las zonas de influencia. El SGC determinó que los efectos volcánicos más desastrosos han sido consecuencia de lahares o flujos de lodo en zonas de influencia de los volcanes Ruiz, Galeras y Huila (Banco Mundial, 2012).

Por estas razones, la cartografía geológica de los volcanes colombianos, así como el estudio de su historia eruptiva, son primordiales para entenderlos y tomar decisiones en materia de ordenamiento territorial y gestión del riesgo. Actualmente se conocen las características morfológicas, composicionales y de historia eruptiva de alrededor del

25 % de los volcanes activos. No obstante, los menos estudiados o desconocidos podrían representar un mayor riesgo para las comunidades. Adicionalmente, los volcanes colombianos representan un gran interés en el desarrollo de proyectos asociados al desarrollo de la geotermia como energía no convencional y limpia. En ese sentido, ahondar en el conocimiento de la vulcanología del territorio nacional permitirá apoyar la toma de decisiones oportuna y responsable de la mano con las comunidades en una integración de saberes.

En este contexto, el proyecto tiene como propósito elaborar cartografía geológica de volcanes y realizar investigación vulcanológica con el fin de suministrar insumos cartográficos e información geovulcanológica básica para investigaciones posteriores sobre geopotencial y patrimonio geológico asociados a los volcanes colombianos, así como para la evaluación de la amenaza en áreas de influencia.

Para ello, se plantea el desarrollo de mapas, a escala 1:25.000, de áreas de influencia de edificios volcánicos. Estos llevarán la respectiva documentación geomorfológica, estructural, estratigráfica, petrográfica, geoquímica, geocronológica y de historia eruptiva, que servirá como insumo para posteriores estudios de caracterización de sistemas geotérmicos, geopotencial energético, geoturístico y patrimonial asociado a estas estructuras geológicas, así como para la evaluación de la amenaza volcánica.

→ Producto e indicador componente 4.3:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Mapas de complejos volcánicos 1:25.000	10	12	13	15
Informes sobre complejos volcánicos	10	11	12	13

| **Componente 4.4.** **Evolución geológica del territorio colombiano mediante técnicas geocronológicas, isotópicas y geoquímicas**

Las técnicas geocronológicas, isotópicas y geoquímicas son esenciales para profundizar en el conocimiento de la evolución geológica de Colombia. Estas herramientas analíticas son fundamentales para precisar eventos clave, como la formación de cordilleras, cuencas sedimentarias, actividad ígnea y procesos tectónicos que han dado forma a la compleja geología del país.

Los estudios geocientíficos proporcionan información crucial para evaluar y mitigar riesgos geológicos que afectan diversas regiones como movimientos sísmicos, deslizamientos y actividad volcánica. El análisis isotópico de sedimentos, suelos y fósiles permite reconstruir condiciones ambientales y climáticas pasadas, lo que ayuda a comprender los cambios ecosistémicos y a proyectar escenarios futuros frente al cambio climático. Además, la asignación de recursos a estas disciplinas fomenta el desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas nacionales, formando talento humano especializado que contribuye al avance del conocimiento y a la toma de decisiones informadas en pro del desarrollo sostenible de Colombia.

La sostenibilidad ambiental, el ordenamiento territorial eficiente y el crecimiento económico y tecnológico del país en beneficio de la sociedad, dependen inevitablemente de la generación sólida de conocimiento geocientífico. Este conocimiento, obtenido mediante la investigación geocronológica, isotópica y geoquímica, proporciona información indispensable para gestionar el suministro seguro de energía, agua potable y minerales estratégicos, así como para garantizar la seguridad alimentaria. Estas técnicas geocientíficas respaldan la planificación adecuada y el aprovechamiento responsable de los recursos naturales, sentando bases sólidas para asegurar el suministro energético, hídrico y alimentario en el presente y futuro del país.

En este contexto, información básica como la cartografía geológica debe basarse en datos cuantitativos que soporten la información recolectada

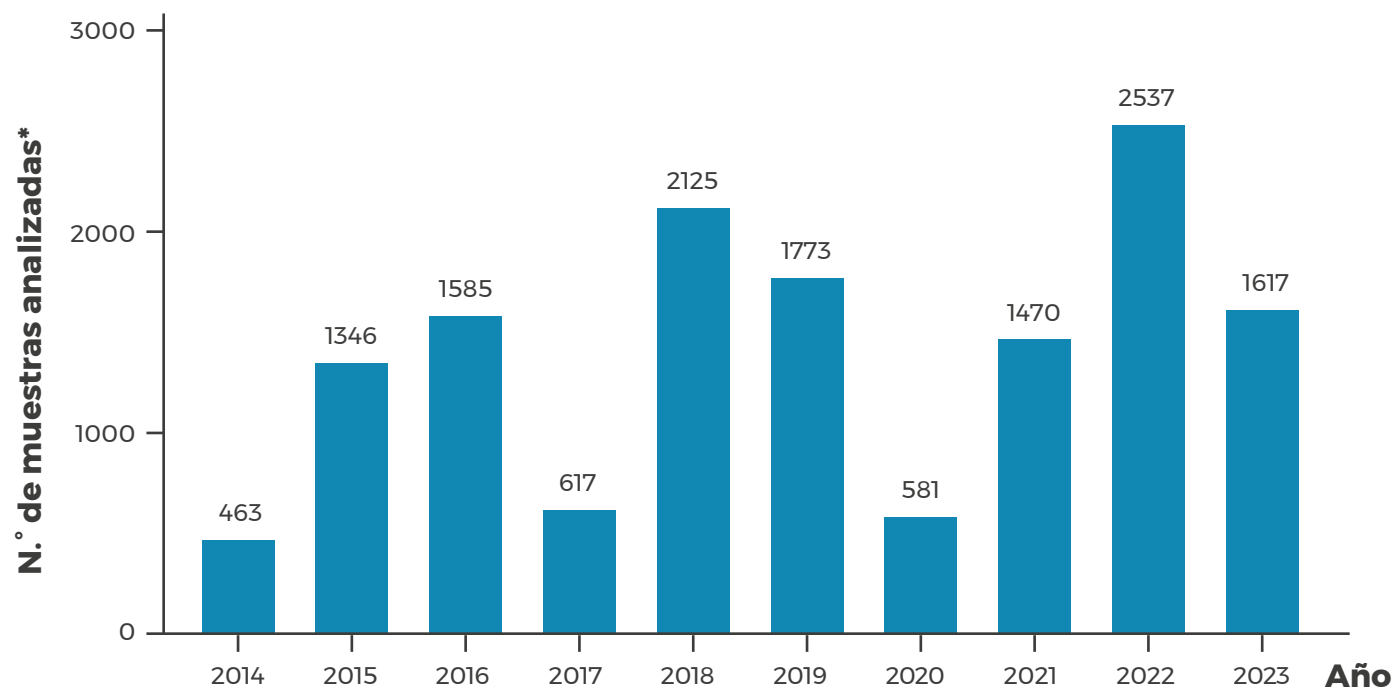
en campo, por lo cual se plantea el uso de las tecnologías geocronológicas (dataciones U/Pb, U-Th/He, C-14, huellas de fisión), isotópicas (^{13}C , ^{15}N , ^2H , ^3H , ^{18}O) y geoquímicas para analizar diferentes matrices como rocas, sedimentos y suelos, entre otros, mediante técnicas como espectrometría de masas unido a ablación láser, análisis por activación neutrónica a través del reactor de investigación IAN-R1, microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) y microsonda electrónica.

Lo anterior, permite obtener datos sobre: i) edades de formación de las rocas o depósitos, estudios de proveniencia de sedimentos, edades de metamorfismo y edades de exhumación y erosión, datos con los que es posible reconstruir eventos geológicos y obtener información como el levantamiento o erosión de sistemas montañosos, la evolución del paisaje, la exhumación de bloques de basamento, la evolución tectónica y termal de cuencas sedimentarias, la ocurrencia de eventos volcánicos o sísmicos y la posible reactivación de fallas; ii) composición química e isotópica de diferentes materiales para comprender el contexto termodinámico bajo el cual se formaron, la composición y dinámica de los elementos químicos en la Tierra y la distribución y movilidad en la hidrósfera, atmósfera, biósfera y geósfera. Esto permite entender y comprender procesos paleoambientales, procesos de interacción agua-roca y del ciclo del carbono, así como mecanismos de formación y prospección de minerales estratégicos y de fuentes de energía renovables como las fuentes geotérmicas.

La figura 4 muestra la distribución anual de muestras analizadas en los laboratorios de aplicaciones nucleares, geocronológicas e isotópicas del SGC entre los años 2014 y 2023. Se puede observar una tendencia general creciente en el número de muestras analizadas durante este periodo, con un pico máximo de 2537 muestras en el año 2022. Esta gráfica de barras permite visualizar de manera clara los cambios en la cantidad de muestras procesadas anualmente en estos laboratorios especializados, lo cual refleja la demanda y el nivel de actividad durante la última década.

Por lo anterior, es necesario dar continuidad a investigaciones relacionadas con geociencias para fo-

→ Figura 4. Distribución de muestras anuales en los laboratorios de aplicaciones nucleares, geocronológicas e isotópicas



Fuente: Bases de datos Oficina de Recepción de Muestras (ORMS) Servicio Geológico Colombiano, sede CAN entre el 2014 y 2023

*Los análisis incluyen: U/Pb, C14, IAAAN, SEM, LAIEL, LIES - U/Pb: Uranio/Plomo -C14: Carbono 14 - LAAN: Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica - SEM: Microscopía. Electrónica de Barrido - LAIEL: Laboratorio de Análisis de Isótopos Estables Líquidos - LIES: Laboratorio de Isotopía en Estado Sólido

mentar el conocimiento geológico del territorio nacional. En cuanto a gestión del riesgo de desastres, se requiere contribuir al conocimiento geocientífico por medio de técnicas nucleares que aporten a la reconstrucción geológica del país y, con ello, a identificar posibles fuentes de amenaza para la población. Para esto es necesario aportar datos que complementen los estudios y contribuyan a la mitigación

de los riesgos por amenazas geológicas. En ese sentido se hará especial énfasis en técnicas geocronológicas del cuaternario, para lo cual se hará un mejoramiento en las capacidades técnicas del laboratorio de carbono-14 y en la implementación de nuevos laboratorios de datación que hagan uso de técnicas de luminiscencia/termoluminiscencia ópticamente estimulada (OSL) e isótopos cosmogénicos.

→ Producto e indicador componente 4.4:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Proyectos con aplicaciones de técnicas geocronológicas, isotópicas y geoquímicas	10	13	18	24
Prestación de servicios de datación, isotopía y geoquímica	830	900	1000	1100

Programa 2. Contribución a la transición energética justa por medio de la investigación y la generación de conocimiento geocientífico sobre fuentes energéticas como geotermia, gas natural o hidrógeno blanco, y contaminantes asociados a hidrocarburos

Proyecto 1. Investigación en fuentes energéticas no convencionales para la reconversión energética nacional que contribuya el bienestar social y la economía sostenible

La búsqueda de recursos energéticos en Colombia ha estado históricamente enmarcada en la energía fósil. Sin embargo, debido a los efectos actuales del cambio climático, es prioritario el uso de fuentes que permitan disminuir las emisiones contaminantes, en cumplimiento de acuerdos internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el Acuerdo de París, en los que el país se comprometió a reducir en un 51 % las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para 2030 y a alcanzar la meta de neutralidad de carbono en 2050.

En aras de contribuir a la transición energética que el país ha propuesto para 2050, el SGC ha llevado a cabo, desde 1997, investigaciones sobre sistemas geotérmicos de alta, media y baja temperatura en el territorio colombiano y en corredores prospectivos de hidrocarburos en el valle bajo del Magdalena, en Sinú - San Jacinto, en el fondo marino colombiano, y en la cuenca de los Llanos Orientales y la Cordillera Oriental. Además, se ha trabajado en la estimación del potencial geotérmico somero del perímetro urbano de Bogotá, con base en información hidrogeológica. Sin embargo, el conocimiento local que se ha adquirido no es suficiente, ya que el país cuenta con gran potencial energético. Esto implica continuar y profundizar en la investigación de estos tipos de recursos. Por esta razón, en 2023 se ha dado continuidad a estudios enfocados en mejorar el conocimiento en provincias con alto potencial gasífero, como Sinú - San Jacinto y el Valle Medio del Magdalena, y también se han explorado las posibilidades de detectar acumulaciones de hidrógeno natural en cuencas sedimentarias, como en los Llanos Orientales y la Cuenca Cauca - Patía.

En ese sentido, se plantea continuar con la investigación de recursos energéticos en cuencas sedi-

mentarias, sistemas volcánicos y sistemas de fracturas para la adaptación hacia la transición energética, mediante la utilización de nuevas técnicas de investigación y conceptos innovadores de procesamiento y análisis de datos en cuanto a geotermia, hidrógeno blanco y gas natural. De esa forma, se atiende la Ley 2099 de 2021, la cual dicta disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, y la reactivación económica del país. También se actualizan las disposiciones de la Ley 1715 de 2014 y se plantean importantes retos para el SGC en cuanto al suministro de información para utilizar fuentes no convencionales de energía como la energía geotérmica (art. 13 y capítulo III), el hidrógeno (art. 21), y los minerales utilizados para los equipos de producción, almacenamiento, acondicionamiento, distribución y reelectrificación de hidrógeno (art. 23).

En cuanto al gas, este será clave para lograr la transición energética colombiana de manera responsable, autosuficiente y paulatina. Por ello, el SGC seguirá investigando para entender el origen de este material y aportar conocimiento que sea de utilidad en la exploración del recurso. A medida que el país avanza hacia la descarbonización de su matriz energética, el gas se posicionará como una opción estratégica para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire. Además, su versatilidad lo convierte en un complemento ideal para el crecimiento de las energías renovables, ofreciendo respaldo a la estabilidad del sistema energético en transición. En la cordillera Oriental de Colombia, por ejemplo, se adelanta una investigación desde 2023 con miras a precisar tanto las posibilidades de hallazgos de gas natural como a establecer el potencial almacenador de dióxido de carbono en el subsuelo.

La geotermia es considerada una Fuente No Convencional de Energía Renovable (FN CER) que se encuentra en el subsuelo y puede ser aprovechada según los requisitos y requerimientos técnicos definidos por el Ministerio de Minas y Energía (Ley 1715 de 2014 y Ley 2099 de 2021). Sin embargo, el cono-

cimiento actual de los recursos geotérmicos en Colombia es insuficiente. En sistemas de alta entalpía, por ejemplo, solo dos de las veintiún áreas geotérmicas asociadas a sistemas hidrotermales volcánicos identificadas han sido estudiadas de forma completa en etapa de prefactibilidad temprana, y solo en una de ellas se han realizado mediciones directas para confirmar la anomalía termal. Respecto a media y baja entalpía, si bien el SGC hizo un primer acercamiento al conocimiento del flujo de calor en el subsuelo en cuencas sedimentarias en 2009, solamente en una de las veintitrés cuencas se estimó a escala regional el gradiente termal y no se tienen mediciones directas sobre la roca que darían más certeza del recurso geotérmico.

Para tener un mejor conocimiento del potencial geotérmico se necesita continuar con investigaciones regionales que involucren: i) estudios de reconocimiento a nivel nacional, ii) mapas de gradiente termal y flujo de calor, iii) reconocimiento de zonas de favorabilidad y iv) confirmación de anomalías termales mediante mediciones directas en el subsuelo en áreas geotérmicas. El conocimiento de este recurso es importante para el país porque le permite diversificar su matriz energética. Específicamente, la geotermia somera puede ser clave en la transición energética para el aprovechamiento del calor aportado por el gradiente natural de la corteza terrestre y disminuir la presión sobre la matriz eléctrica. Actualmente, el 68 % de la energía eléctrica que Colombia consume es generada por hidroeléctricas y el 30 % se produce a partir de fuentes fósiles. Por lo anterior, el país debe diversificar la fuente energética con una que no dependa de factores ambientales y sea considerada una energía base (24 horas por 7 días a la semana). Adicionalmente, la energía geotérmica tiene una baja huella de carbono, por lo que contribuye a reducir el impacto ambiental generado por fuentes convencionales.

En cuanto a hidrógeno blanco, el SGC es pionero en la investigación de este tipo de energético, no solo para Colombia, sino para Latinoamérica, por lo que, desde 2023, fomentará y apoyará la investigación en áreas con posible potencial, para comprender el origen, almacenamiento y distribución, aportando información valiosa para un posible desarrollo en el mediano y largo plazo. Para tal fin, ya se iniciaron la-

bores de análisis de información de datos de la Lito-teca Nacional y del Banco de Información Petrolera, se han visitado lugares del país en donde los análisis de imágenes hiperespectrales han dado indicios de anomalías asociadas a este gas y se han recolectado muestras con la ayuda de una experta internacional en hidrógeno natural.

Al promover la investigación y generación de conocimiento en estas áreas, Colombia puede fortalecer su capacidad técnica y científica, así como atraer inversiones y colaboraciones internacionales. Esto ayudaría a acelerar la transición energética hacia un modelo más sostenible y contribuiría a cumplir sus compromisos en cambio climático y desarrollo sostenible, sin descuidar elementos como el gas natural, que es considerado el energético esencial para la transición energética entre los combustibles fósiles y los no convencionales. En este contexto, el objetivo de este proyecto es investigar las fuentes energéticas no convencionales para aportar respuestas a las necesidades energéticas del país, a través de los componentes de evaluación de yacimientos de gas natural, investigación en hidrógeno blanco e investigación en recursos geotérmicos.

| Componente 1.1.

Evaluación de yacimientos de gas natural

La reposición de reservas remanentes de petróleo y gas en Colombia, mediante exploración, ha sido históricamente baja debido a los pocos pozos exploratorios perforados en las últimas décadas y a la escasa adquisición de información geológica reciente, incluyendo la sísmica terrestre. La Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) estableció en su informe de reservas del año 2023 que el país cuenta con reservas de gas y petróleo para 7,2 y 7,5 años, respectivamente. Sin embargo, el proceso de transición energética supera este período, lo que requiere aumentar el conocimiento del subsuelo para incentivar la exploración de nuevos yacimientos de gas.

Este componente se enfoca en aumentar el conocimiento sobre las cuencas sedimentarias para apoyar a quienes formulan políticas públicas sobre el aprovechamiento responsable de gas. Por ello, el proyecto contempla la evaluación de yacimientos de gas, el análisis de corredores exploratorios en

diferentes cuencas prospectivas y las posibilidades gasíferas, como en el caso de la Cuenca Sinú – San Jacinto. Para ello, se adelantarán estudios orientados a la identificación de sistemas petrolíferos, corredores exploratorios, interpretación sísmica 2D y 3D, evaluación de cuencas sedimentarias para la determinación del potencial hidrocarburífero,

modelamiento geológico 2D y 3D, modelamiento geoquímico y geofísico, actualización de mapas geológicos y geofísicos, integración y análisis de información del Banco de Información Petrolera, identificación de niveles estratigráficos de interés y análisis del potencial hidrocarburífero de campos abandonados, entre otros.

→ Producto e indicador componente 1.1:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Evaluación de cuencas sedimentarias prospectivas para gas	3	6	8	10

| Componente 1.2. Investigación sobre hidrógeno blanco

Para la transición energética que requiere Colombia es necesario identificar nuevas fuentes energéticas amigables con el ambiente. Países como Malí, Australia, Rusia, Brasil, Estados Unidos y Canadá han identificado que el hidrógeno blanco (hidrógeno natural) tiene un gran potencial como fuente

energética natural alternativa. Y así como sucede a nivel mundial, en Colombia se desconoce el potencial de este elemento en el territorio. Por esta razón, este componente se enfoca en la evaluación regional de cuencas sedimentarias para identificar el potencial de generación natural de hidrógeno, especialmente para aquellas regiones no interconectadas, en las que la generación eléctrica está basada en plantas diesel.

→ Producto e indicador componente 1.2:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Evaluación de áreas prospectivas de hidrógeno blanco en cuencas sedimentarias y rocas máficas y ultramáficas	0	2	4	6

| Componente 1.3. Investigación sobre recursos geotérmicos

El calor presente en la corteza terrestre tiene el potencial de contribuir a la transición energética del país, debido a los diferentes ambientes geológicos en los que se encuentra y sus múltiples posibilidades, tanto por su uso directo como energía térmica, como por su uso indirecto para generación eléctrica. El calor na-

tural de la Tierra se transfiere entre materiales rocosos o roca-fluidos en sistemas de alta, media y baja temperatura, asociados a ambientes geológicos en los que se involucra actividad magmática, tectónica o carga litostática de paquetes de rocas en secuencias sedimentarias. Es decir, esta fuente de energía es constante y no depende de factores ambientales o antrópicos, por lo que se considera carga base o fuente energética con entrega constante de energía.

El SGC ha avanzado en el conocimiento geotérmico del territorio con investigaciones sobre temas como geología estructural, alteración hidrotermal, geofísica de campos potenciales (magnetometría y gravimetría), estudios electromagnéticos (magnetotelúrica), estudios eléctricos como geoeléctrica (SEV y tomografías eléctricas), estudios electromagnéticos como TDEM, y estudios de sondeos superficiales de temperatura; así como geoquímica de fluidos en manantiales termales, fumarolas y gases difusos en aire del suelo, e investigaciones integradas en modelos conceptuales descriptivos que caracterizan los elementos de los sistemas geotérmicos. Teniendo en cuenta la información adquirida durante la exploración petrolera y los estudios hidrogeológicos con los que cuenta el país, se pretende desarrollar nuevas líneas de investigación, como el estudio de recursos geotérmicos someros, y fortalecer otras, como la del flujo de calor terrestre.

En línea con lo anterior, y con el fin de dar continuidad a los logros señalados, el objetivo de este componente es investigar los diferentes recursos

geotérmicos en el territorio nacional, incluyendo tanto a los sistemas de alta temperatura, asociados generalmente a los sistemas volcánicos, como a los sistemas de media y baja temperatura, asociados con acuíferos enterrados en cuencas sedimentarias y acuíferos someros. De esta forma, se dará respuesta a las necesidades del país, principalmente al sector energético, en relación con el conocimiento básico de este recurso.

Para esto se contemplan cuatro líneas de investigación: i) investigación geotérmica de sistemas hidrotermales, ii) zonas de favorabilidad geotérmica con base en la metodología *Play Fairway Analysis* (PFA), iii) flujo de calor terrestre y iv) recursos geotérmicos someros. También, se mejorará la infraestructura de investigación mediante nuevos instrumentos de medición (equipos de mediciones de propiedades térmicas y de magnetotelúrica, instrumento de medición de ^{13}C en CO_2), la implementación de la nueva línea en geotermia somera y el fortalecimiento de las líneas de investigación, como la de flujo de calor y gradiente térmico.

→ Producto e indicador componente 1.3:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Modelamiento conceptual de sistemas geotérmicos hidrotermales convectivos	2	3	4	5
Identificación de áreas con mayor favorabilidad geotérmica	1	2	2	3
Modelamiento de áreas con potencial geotérmico somero	0	1	1	2
Cálculo y modelamiento del flujo de calor en sistemas volcánicos y cuencas sedimentarias	1	4	5	6



Lectura de huella infrarroja usando espectrorradiómetro portátil de campo OreXplorer en roca impregnada con hidrocarburos en San Luis de Gaceno (Boyacá).



| Componente 1.4. Investigación de contaminantes asociados a hidrocarburos

En Colombia, los hidrocarburos se encuentran alojados en 21 cuencas sedimentarias. Algunas de estas cuencas han sido más aprovechadas que otras; sin embargo, en todas se han encontrado manifestaciones de hidrocarburos líquidos y gaseosos en la superficie, conocidas como rezumaderos. Si bien alrededor del 30 % de la economía de Colombia depende de la industria de los hidrocarburos, y por lo tanto se invierte un gran capital en su exploración, aprovechamiento y transporte, no existen regulaciones ni investigaciones geocientíficas detalladas que expliquen estas evidencias de rezumaderos. Es necesario comprender cabalmente las manifestaciones de hidrocarburos en superficie asociadas a zonas de explotación, con el fin de establecer si son de origen natural, antrópico o una combinación de ambos. En algunos sectores de Colombia, dichas manifestaciones afectan la calidad del medio ambiente. Actualmente, no existe una hoja de ruta o guía metodológica que exponga los estudios y análisis que deben desarrollarse para entender el origen de estas manifestaciones, ya sean líquidas o gaseosas. El SGC desarrollará una metodología que involucra la investigación del subsuelo, geología de

superficie, hidrogeología y fenómenos de remoción en masa, para visualizar las posibles rutas de migración del hidrocarburo desde las unidades reservorio hasta la superficie.

Adicionalmente, el SGC ha identificado que algunas unidades geológicas que han generado hidrocarburos contienen elementos potencialmente peligrosos que, al exponerse a la superficie y estar localizadas en zonas cultivadas, pueden llegar a impactar los productos en los mercados internacionales, como es el caso de algunos caeos nacionales.

En este contexto, las investigaciones que se adelantan ampliarán el conocimiento geológico en varios sectores del país y establecerán la naturaleza de las rutas de escape de los hidrocarburos almacenados en el subsuelo hacia los encontrados en la superficie, lo que dará más luces sobre la posible afectación al entorno natural. Este conocimiento geocientífico deberá estar orientado a establecer los posibles riesgos e impactos que la actividad humana relacionada con la explotación de hidrocarburos puede tener en aguas susceptibles al consumo (humano, agrícola e industrial), en el agua subterránea, en la estabilidad o conservación del terreno y como insumo para tomar decisiones que prevengan el riesgo de origen geológico o antrópico por elementos potencialmente peligrosos.

→ Producto e indicador componente 1.4:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Investigación del origen de manifestaciones superficiales de hidrocarburos	0	2	3	5
Investigación de contaminante en rocas generadoras de hidrocarburos	0	2	3	4

Programa 3. Generación de conocimiento geocientífico del paleoclima para la adaptación y mitigación del cambio climático

Proyecto 1: Investigación en paleoclima y cambio climático para la adaptación y mitigación del cambio climático

Para entender mejor las condiciones paleoclimáticas y paleoambientales del Cuaternario (últimos 2,6 millones de años) en Colombia, con énfasis en el Holoceno, se establece una línea de investigación enfocada al estudio sedimentológico, paleontológico, geoquímico e isotópico en múltiples archivos paleoclimáticos como sistemas sedimentarios y cavernas. En sistemas sedimentarios se estudiarán depósitos lacustres, aluviales, evaporíticos y eólicos mediante la información obtenida de pozos y muestras de campo en varios lugares: zonas altoandinas, la llanura oriental colombiana, el Amazonas, valles interandinos, litorales o paludales. Los estudios de espeleotemas en cavernas buscarán cubrir el país en su extensión latitudinal y longitudinal, a fin de entender variaciones, principalmente, de paleoprecipitaciones regionales y locales. De otro lado, los fondos marinos serán investigados con las muestras (*piston cores*) del Caribe y Pacífico que yacen en la Litoteca Nacional.

Las investigaciones de las condiciones climáticas y de ecosistemas durante el Cuaternario iniciaron desde la década de 1950 en el país, con los estudios que realizó Thomas Van der Hammen sobre sedimentos lacustres de la sabana de Bogotá y de algunas lagunas en los páramos de la cordillera Oriental. A pesar de los avances a la hora de entender las condiciones climáticas en esta zona tropical, aún es necesario realizar estudios integrales de alta resolución, mediante abordajes multianalíticos, que permitan entender las condiciones paleoclimáticas imperantes durante los últimos milenios.

Los laboratorios del SGC serán esenciales para realizar la caracterización isotópica, así como para elaborar los análisis multielementales y la caracterización mineralógica en suelos, carbones, rocas y sedimentos. Además, se aplicarán las técnicas de determinaciones de edades y de microanálisis para llegar a la caracterización morfológica y geoquímica de las muestras.

También será importante integrar a la comunidad a las investigaciones a través de procesos de apropiación social del conocimiento, empleando procesos de monitoreo comunitario e intercambio de saberes con las comunidades locales haciendo uso de un lenguaje claro y común para lograr integrar el conocimiento en doble vía a la sociedad en general.

En cuanto a mitigación, el SGC espera aportar conocimiento base que sirva para identificar áreas con potencial de almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂), aportándole al Estado conocimiento geocientífico que permita tomar decisiones e invertir de manera informada para poder reducir emisiones de gases de efecto invernadero a 2030 y avanzar en la implementación de acciones de adaptación al cambio climático. Así Colombia podría avanzar en el cumplimiento de la meta de disminuir nuestras emisiones a un 51 % para 2030, en línea con el Acuerdo de París.

El CO₂ es un gas de efecto invernadero que se encuentra de forma natural en la atmósfera en proporciones que se incrementan como consecuencia de la quema de combustibles fósiles, causando transformaciones en los biomas terrestres y acuáticos y acelerando el calentamiento global, tal como lo alerta la Organización Meteorológica Mundial de la ONU, en su *informe Actualización climática mundial anual a decenal*, publicado en marzo de 2023. La ONU señala que, durante al menos un año entre 2023 y 2027, existe un 66 % de probabilidades de que la temperatura media anual cercana a la superficie supere en más de 1,5 °C los niveles preindustriales. Por otra parte, durante 2021 las emisiones de CO₂ en Colombia crecieron 4,535 megatoneladas, un 6,21 % respecto a 2020 (las emisiones de CO₂ en 2021 se calculan en 77,57 megatoneladas, por lo que es necesario buscar soluciones para disminuir la carga de este gas en la atmósfera).

Adicionalmente, el SGC evaluará zonas del país que pueden estar siendo afectadas ambientalmente por actividades asociadas a la explotación de hidrocarburos y en donde es imprescindible el enten-

dimiento geocientífico para discernir entre el origen natural o antrópico de los contaminantes.

Para ello, se abordarán cuatro componentes: i) investigación en almacenamiento geológico de CO₂ para la descarbonización industrial, ii) investigaciones paleoclimáticas y del cambio climático en sistemas sedimentarios y iv) investigaciones paleoclimáticas en sistemas glaciares.

| Componente 1.1.
Investigación en almacenamiento geológico de CO₂ para la descarbonización industrial

La necesidad de buscar soluciones para disminuir la carga de CO₂ en la atmósfera está encaminada, también, a cumplir los compromisos ambientales internacionales que el país asumió, como el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 7, que busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna; el ODS número 13, que pide adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, y la meta de reducir a 2030 el 51 % de las emisiones de gases de efecto Invernadero, que corresponden a 7,9 MtCO₂-eq (toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente).

Con este objetivo, el Gobierno nacional trazó unas políticas en materia ambiental, contenidas en el PND 2022-2026 (Ley 2294 de 2023), denomi-

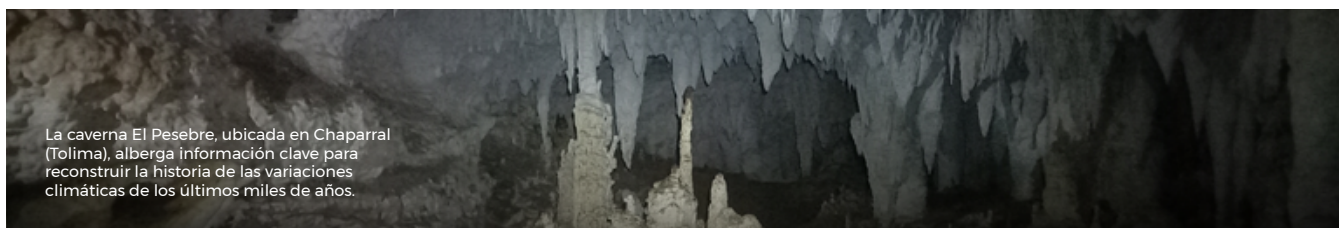
nado “Colombia, potencia mundial de la vida”. El artículo 264 modifica el parágrafo 1° del artículo 22 de la Ley 2099 de la siguiente forma:

“Tecnología de captura, utilización y almacenamiento de carbono. Se entiende por CCUS, el conjunto de procesos tecnológicos cuyo propósito es reducir las emisiones de carbono en la atmósfera, capturando el CO₂ generado a grandes escalas para almacenarlo en el subsuelo de manera segura y permanente o usarlo como insumo en diferentes procesos productivos o en la prestación de servicios en los que se requiera. Para el desarrollo de proyectos de captura, uso y almacenamiento de dióxido de carbono en el subsuelo, el Ministerio de Minas y Energía establecerá los lineamientos generales que deberán desarrollar las entidades competentes con el fin de determinar sus requisitos y condiciones técnicas. El Ministerio de Minas y Energía reglamentará lo correspondiente al almacenamiento del CO₂ en el subsuelo para todos los sectores de la economía” (p. 780).

Con esto, se pretende proporcionar la información geocientífica necesaria para el desarrollo de los proyectos de almacenamiento de dióxido de carbono en diferentes escenarios geológicos del subsuelo colombiano.

→ **Producto e indicador componente 1.1:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Caracterización y análisis de factibilidad de futuros desarrollos de almacenamientos subterráneos para CO ₂	0	2	3	5



La caverna El Pesebre, ubicada en Chaparral (Tolima), alberga información clave para reconstruir la historia de las variaciones climáticas de los últimos miles de años.

| Componente 1.2.

Investigaciones paleoclimáticas y de cambio climático en sistemas sedimentarios

Los cambios ambientales vinculados a la variabilidad climática son decisivos en la mitigación del cambio climático, que es uno de los desafíos actuales más importantes de la humanidad, y, para comprenderlos, son esenciales disciplinas como la palinología, la tefrocronología, la paleontología, la estratigrafía, la geocronología, la dendrocronología, la limnología, el paleomagnetismo y la geomorfología.

Este componente busca generar información geocientífica robusta que contribuya a la comprobación de los modelos climatológicos en los escenarios de cambio climático, a partir del estudio de archivos paleoclimatológicos en cavernas y depósitos sedimentarios del país como sedimentos de lagunas, marinos o eólicos con múltiples indicadores climatológicos (*proxies* bióticos, físicos y químicos, a escala de miles, cientos de miles y millones de años).

Los modelos de pronóstico para los escenarios de cambio de clima tienen en cuenta información paleoclimática almacenada en el registro geológico. Si bien es cierto que, periódicamente, nuestro planeta ha sufrido eventos de calentamiento y enfriamiento que han dado lugar a períodos glaciales e interglaciales, científicamente se ha reconocido que el incremento abrupto de concentración de gases efecto invernadero en la atmósfera producto de las actividades antrópicas está generando un efecto de aumento de temperatura en la atmósfera, los océanos y las áreas continentales, el cual es irreversible a escalas de tiempo humanas. Consecuentemente, los fenómenos meteorológicos extremos, como sequías e inundaciones, resultan más frecuentes y severos.

Con el fin de modelar más acertadamente las consecuencias del cambio climático para las zonas intertropicales, el país necesita generar conocimiento del registro geológico de cómo ha cambiado el clima en el pasado para adaptarse y mitigar los efectos del cambio climático. Entender cómo interactúan los parámetros que han gobernado el clima a través del tiempo geológico tales como la temperatura, la precipitación, la evapotranspiración, el contenido de gases efecto invernadero, entre otros, nos permitirá mejorar los modelos climáticos, entender los efectos

del cambio climático actual y predecir de mejor manera los futuros. Además, con estos estudios se aporta a la comprensión de cómo ha sido la respuesta de los ecosistemas a estos fenómenos de variación climática, incluidos los efectos del hombre en ellos.

Según las disposiciones del PND 2022-2026, el ordenamiento territorial, la gestión de riesgo de desastres, la gestión del agua y la salud pública tendrán en cuenta variabilidad y el cambio climático, a fin de reducir los riesgos existentes.

Por otra parte, ya que el CO₂ es el principal gas de efecto invernadero en términos volumétricos, es fundamental conocer su ciclo. En el ciclo no solo intervienen los factores ambientales y la acción del hombre a través de la quema de combustibles fósiles, sino también la interacción de la geodinámica interna y la interacción de suelos y rocas con el ambiente. Por lo tanto, estudiar el ciclo del carbono en las dinámicas actuales entre el clima y el registro geológico permitirá calibrar los indicadores climáticos y entender estos procesos.

El SGC ha realizado estudios isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en carbonatos para entender los ambientes de formación y eventos en ausencia de oxígeno (anóxicos). Sin embargo, la experiencia adquirida a partir de la validación de estas metodologías y el análisis de más de 100 muestras en los últimos 4 años nos servirá para aportar de manera confiable en este proyecto.

Actualmente, el SGC cuenta con el laboratorio de U-Th/He, instalado a finales del 2022. Este se encuentra en proceso de validación de las técnicas U-Th/He y $^3\text{He}/^4\text{He}$, las cuales aportarán información acerca de los procesos de formación del paisaje actual.

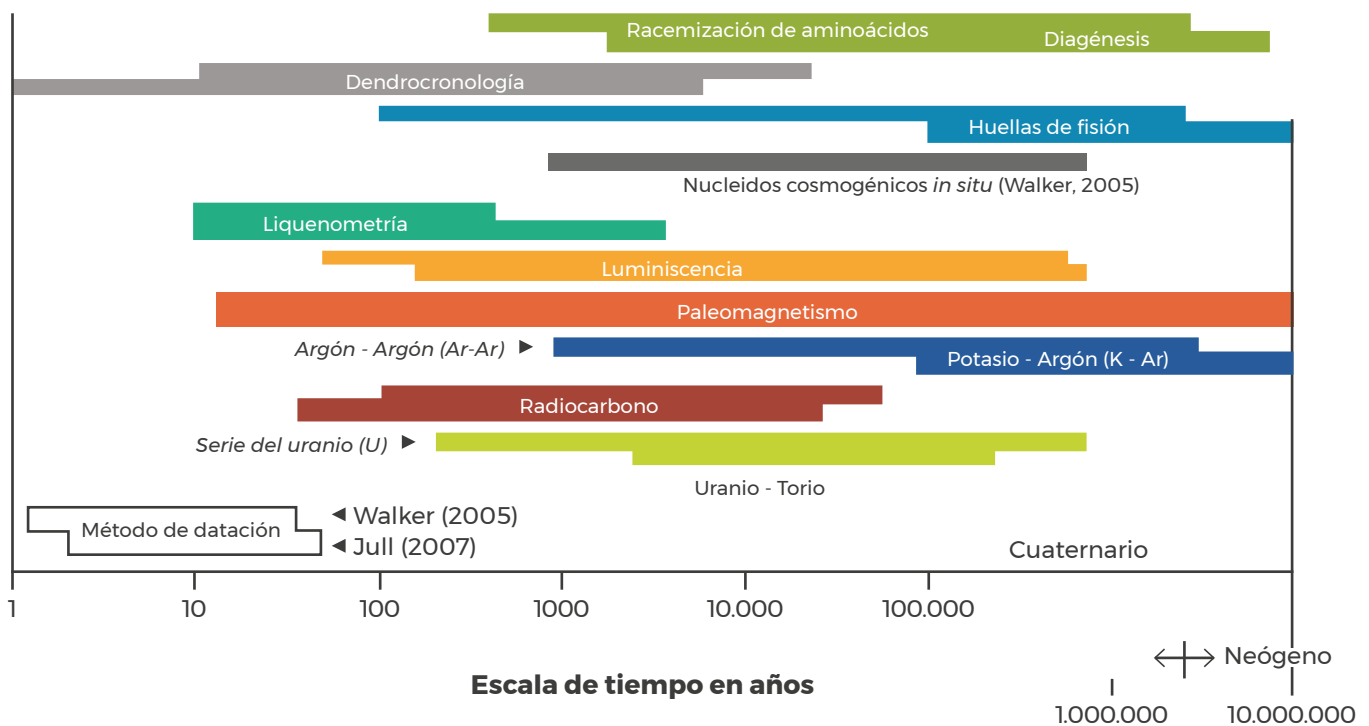
En línea con lo anterior, este proyecto busca aportar al entendimiento de la temporalidad de eventos climatológicos, de la formación de las cadenas montañosas (orogénesis) y de las condiciones paleoclimatológicas imperantes durante el Cuaternario en Colombia. Esto mediante el estudio de técnicas geocronológicas e isotópicas en sedimentos lacustres, espeleotemas, paleosuelos, hielos y corales. Lo que se busca es brindar una perspectiva sobre el cambio climático futuro y sus efectos e impactos a nivel regional. Para ello se requiere la implementación de nuevas metodologías analíticas en cuanto a isótopos estables en muestras sólidas (por ejemplo, $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en carbonatos), así

como en técnicas geocronológicas como la luminescencia ópticamente estimulada (OSL) y el ²¹⁰Pb para entender mejor los mecanismos de transporte y tasas de sedimentación (figura 5).

Las investigaciones incluirán la elaboración de curvas de calibración de carbono-14 para Colombia como aporte para entender el ciclo del carbono en las zonas tropicales o subtropicales suramericanas. Con esto se ampliará el rango de aplicaciones de la técnica de datación por carbono-14 en ámbitos de investigación como la medicina forense y la contami-

nación ambiental. Adicionalmente, se podrá contribuir con estudios de origen de diferentes contaminantes como el metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) mediante las técnicas isotópicas. Ambos son gases de interés por ser de efecto invernadero y de los principales aportantes del cambio climático. Finalmente, por medio de mediciones de isótopos estables de carbono se podrá contribuir a la caracterización de material particulado presente en el aire y la evaluación de su origen, y a tomar decisiones por parte de entes gubernamentales ambientales.

→ Figura 5. Métodos de datación para el Cuaternario



¹Nota: modificado de "A question of time: historical overview and modern thought on Quaternary dating methods to produce fluvial chronologies", por Rixhon, 2022.

→ **Producto e indicador componente 1.2:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Documentos de investigación de paleoclima en sedimentos lacustres, marinos y eólicos	0	1	2	3
Documentos de investigación de paleoclima en sistemas cársticos y evaporitas	0	1	2	3



Experto del SGC durante una expedición del grupo de trabajo de Paleoclima y Cambio Climático en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos (Huila).

| Componente 1.3. **Investigaciones paleoclimáticas en sistemas glaciares**

El estudio de los glaciares tropicales tiene una gran importancia porque estos ambientes se ven altamente influenciados por el cambio climático y poseen una excepcionalidad geográfica: están dentro de una zona de convergencia intertropical donde confluyen patrones de circulación del viento de los hemisferios norte y sur (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2021). En Colombia se preservan actualmente seis glaciares, que se consideran los últimos relictos de ambientes fríos: las sierras nevadas de Santa Marta y de El Cocuy, y los volcanes nevados del Ruiz, Santa Isabel, Tolima y Huila.

Según datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021), los glaciares en Colombia pasaron de cubrir un área de 349 km², al final de la pequeña Edad de Hielo, a 34,85 km², en 2020. Esto significa la pérdida del 90 % de su área, a una tasa anual de entre el 3 % y el 5 %. Por lo tanto,

el estudio de su evolución y su dinámica paleoclimática es importante como un tema estratégico de investigación para entender el impacto del cambio climático y la variabilidad climática antes de que se extingan totalmente. Los núcleos de hielo contienen información valiosa de la composición atmosférica y temperatura del aire del pasado. Incluso, con estos registros es posible identificar la ocurrencia de paleoincendios y erupciones volcánicas pasadas y sus efectos, ya que 4 de los 6 glaciares existentes en Colombia se desarrollan sobre complejos volcánicos.

Las investigaciones de las condiciones climáticas y de vegetación durante de Cuaternario iniciaron desde la década de 1950 en el país, con los estudios que realizó Thomas Van der Hammen sobre sedimentos lacustres de la sabana de Bogotá y de algunas lagunas en los páramos de la cordillera Oriental. A partir de los años 70 los investigadores hicieron especial énfasis en el estudio de las condiciones paleoclimáticas y paleoecológicas de la alta montaña, para lo cual incluyeron sitios como la Sierra Nevada del Cocuy, la Sierra nevada de Santa Marta y el complejo volcánico Ruiz-Tolima.

A pesar de los avances a la hora de entender las condiciones climáticas en esta zona tropical, aún es necesario realizar estudios integrales de alta resolución, mediante abordajes multianalíticos, que permitan entender las condiciones paleoclimáticas imperantes durante los últimos milenios. Es importante tener en cuenta que los fenómenos climáticos ocurren a escala global y que la criosfera Antártica se considera un regulador del clima mundial, de manera que, con el fin de contribuir a la investigación científica sobre estos fenómenos, el PND plantea como estrategia la promoción de la investigación científica colombiana en la Antártida (Ley 2294 del 19 de mayo 2023 - Artículo 228).

Colombia, país firmante del Tratado Antártico, plantea en la Agenda Científica Antártica de Colombia 2014-2035 (Comité Técnico Nacional de Asuntos Antárticos, 2014) dos áreas temáticas en las cuales el SGC puede aportar: 1) relaciones entre Suramérica y la Antártida y 2) cambio climático y evolución del clima. Estas temáticas se adaptan a las líneas de investigación establecidas por el Comité Científico para la Investigación en la Antártida (SCAR por sus siglas en inglés). Además, la Política Nacional del Océano y Espacios Costeros (Comisión Colombiana del Océano, 2018) propone incrementar la participación en el Sistema del Tratado Antártico en aras de alcanzar el estatus de miembro consultivo.

El país ha ejecutado 10 expediciones científicas a la Antártida, dentro del Programa Antártico Colombiano, iniciando en el verano 2014-2015, con el fin de obtener datos relacionados con temas como oceanografía, física, química y biológica.

Teniendo en cuenta lo anterior, el SGC proyecta desarrollar investigaciones en los glaciares colombianos y, de ser posible, en la Antártida para entender las interacciones entre el océano, el hielo y la tierra y, con ello, aportar información sobre el cam-

bio climático y su influencia en las zonas polares y tropicales. Para esto se analizará, a través de la adquisición de datos de *proxies* o indicadores climatológicos, el registro geológico conservado tanto en las capas de hielo almacenadas en los glaciares como en los niveles de sedimentos depositados allí. Complementar y comparar esta información permitirá entender la evolución espacio temporal de los fenómenos climáticos.

Frente a lo anterior, el SGC integrará, en ambientes glaciares y periglaciares, estudios geomorfológicos, estratigráficos, palinológicos, geocronológicos, químicos e isotópicos. A partir del análisis de depósitos morrénicos y sedimentos lacustres se refinará la información para definir los periodos glaciales e interglaciales en Colombia. Además, se emplearán los restos de polen de los registros estratigráficos colectados en núcleos de lagunas, junto con análisis de isótopos estables de estos depósitos ($\delta^{18}O$ y $\delta^{15}N$), análisis de líquenes y ambientes kársticos (estalactitas y estalagmitas) para entender mejor los cambios de los patrones de circulación atmosféricos y, al mismo tiempo, brindar información para las reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas.

De forma complementaria se levantará información base acerca de las dimensiones y espesor de los glaciares colombianos, con el fin de obtener núcleos de hielo. En estos, se harán estudios de isótopos estables ($\delta^{18}O$ y δ^2H), químicos (iones mayores y elementos trazas), partículas (número y tamaño) y trazadores radiactivos (^{210}Pb , tritio y ^{14}C). Los resultados obtenidos se correlacionarán con otros registros de núcleos de hielo como los andinos y los de la Antártida que se han usado para estudiar los últimos 800.000 años (Bouchet et al., 2023). Así se aportará información para la calibración de la cronología y de los registros de gases atmosféricos obtenidos en la zona ecuatorial.

➔ **Producto e indicador componente 1.3:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Documentos de investigación de paleoclima en hielos de glaciares colombianos	0	1	1	2

Programa 4. Generación de conocimiento hidrogeológico como aporte al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Proyecto 1. Producción de conocimiento hidrogeológico para la toma de decisiones alrededor del ciclo del agua y la evaluación de la disponibilidad de las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento

El PND 2022-2026 busca implementar “programas territoriales de ordenamiento y gobernanza alrededor del ciclo del agua, con enfoque de derechos y justicia ambiental, para la resolución de conflictos socioambientales y la gestión adaptativa a la crisis climática”. Asimismo, busca actualizar la Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico tanto en lo relacionado con las dimensiones de oferta, demanda, disponibilidad y gobernanza, como en lo que tiene que ver con la incorporación de la gestión del riesgo de desastres en el ordenamiento territorial por inundaciones y sequías (Departamento Nacional de Planeación, 2023, p. 46).

Adicionalmente, el PND establece que, al tomar decisiones de ordenamiento territorial, se debe reconocer la prevalencia de determinantes ambientales, en especial los relacionados con áreas protegidas y gestión integral del recurso hídrico. Teniendo en cuenta que la mayoría de los planes de ordenamiento territorial se formulan a escala 1:25.000, incluyendo los planes de ordenamiento y manejo de cuencas (POMCAS) y los planes de manejo ambiental de acuíferos (PMAA), y que las variaciones de las características del subsuelo en muchas ocasiones demandan información hidrogeológica a escalas detalladas que aporten a la toma de decisiones, se requiere proporcionar

soporte técnico geocientífico a escala intermedia a local. Esto para ayudar a materializar al menos cuatro ejes de transformación del PND: ordenamiento del territorio alrededor del agua, derecho humano a la alimentación, transformación productiva, internacionalización y acción climática, y convergencia regional.

Actualmente, el SGC no dispone de cartografía hidrogeológica de detalle, por lo que en este proyecto se plantea empezar a generar información a escalas adecuadas para tomar decisiones, así como continuar aportando al conocimiento de potenciales fuentes de abastecimiento de agua subterránea. Para ello, se trabajarán los siguientes componentes: generación de conocimiento hidrogeológico multiescala, exploración de aguas subterráneas como fuente de abastecimiento y contaminación de origen geológico de las aguas subterráneas.

| Componente 1.1. Generación de conocimiento hidrogeológico multiescala para la toma de decisiones alrededor del ciclo del agua

De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2022), Colombia no cuenta con información suficiente sobre el uso o la gestión de las aguas subterráneas de su territorio, por lo que se desconocen aspectos fundamentales como su oferta y demanda. Frente a lo anterior, el país requiere acelerar las estrategias para mejorar la información sobre aguas subterráneas en articulación con las entidades relacionadas.

→ Producto e indicador componente 1.1:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Estudios hidrogeológicos multiescala	1	2	3	4

Buscando responder a las necesidades del ordenamiento del territorio alrededor del agua y aportar a instrumentos de planificación como los POMCAS y los PMAA, se partirá de la experiencia en la formulación de modelos hidrogeológicos conceptuales a escala regional para generar información multiescala de geología, geofísica, hidrogeoquímica, hidráulica e hidrogeología que soporte la toma de decisiones.

| Componente 1.2.

Aguas subterráneas como fuente de abastecimiento

De acuerdo con el último informe de avance de Colombia en la implementación de los ODS, específicamente del objetivo 6, que busca garantizar la disponibilidad, gestión sostenible y saneamiento del agua para todos, el principal desafío que enfrenta el país es el acceso a agua potable: este indicador presentó disminuciones tanto en suelo rural como

urbano. En el primero (suelo rural) pasó de 73,6 %, en 2015, a 67,0 %, en 2021; mientras que el segundo (suelo urbano) pasó de 98,5 % a 97,2 %, en el mismo periodo. La exploración de agua subterránea, en ese sentido, se presenta como una estrategia fundamental para lograr los objetivos planteados, lo que muestra la necesidad de realizar estudios en las zonas donde se tienen dificultades para el acceso al agua potable.

El SGC ha realizado estudios de aguas subterráneas a escala regional y, con ello, ha logrado una cobertura de aproximadamente el 10 % del territorio nacional continental. Esto evidencia la necesidad de generar nuevo conocimiento geocientífico multiescala enfocado en acuíferos, para que los tomadores de decisiones promuevan su uso racional y preservación de los acuíferos y protección de las zonas de recarga. De esta forma se continuarán formulando modelos hidrogeológicos conceptuales a escala regional que aporten al conocimiento de los sistemas acuíferos del país.

→ Producto e indicador componente 1.2:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Modelos hidrogeológicos	82	84	85	87

| Componente 1.3.

Contaminación de origen geológico de las aguas subterráneas

Este componente contribuye a enriquecer el conocimiento de las aguas subterráneas al incluir el entendimiento de procesos de contaminación con el fin de aportar conocimiento para la toma de decisiones sobre la gestión del riesgo y la protección de zonas de interés ambiental.

Los estudios hidrogeológicos que incluyen el entendimiento de la interacción de las aguas subterráneas con los contaminantes permiten generar insumos para los estudios de riesgo a la salud puesto que aportan a la caracterización de la fuente y a las rutas de exposición y mecanismos

de transporte de los compuestos contaminantes. En la actualidad, el SGC dispone de técnicas avanzadas para analizar las fuentes de contaminación en cuerpos de agua. Entre estas técnicas, se ha implementado y validado el uso de la determinación isotópica de carbono (C) y oxígeno (O) en el agua mediante sistemas de espectrometría de masas de relaciones isotópicas, como el *Gas Bench-Isotope Ratio Mass Spectrometry* (GB-IRMS) y el análisis elemental *Isotope Ratio Mass Spectrometry* (EA-IRMS). Estas dos técnicas permiten identificar las fuentes de contaminación de materia orgánica a través de mediciones de $\delta^{13}\text{C}$ en el material particulado del agua.

Por otra parte, la determinación de los isótopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en el agua permiten caracte-

rizar la fracción de carbono inorgánico disuelto (CID), lo que contribuye a comprender el origen de la materia inorgánica y los procesos de interacción agua-roca. Además, es posible trazar contaminantes derivados de actividades agrícolas, a través de mediciones de los isótopos $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{18}\text{O}$ de nitratos en el agua.

Para complementar estas técnicas isotópicas, se pueden emplear métodos de caracterización química adicionales, como microsonda electrónica, microscopía electrónica de barrido y activación neutrónica, los cuales permiten una comprensión integral de las fuentes y los procesos de contaminación en cuerpos de agua.

→ **Producto e indicador componente 1.3:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Investigación de contaminación de las aguas subterráneas	0	1	3	4

Programa 5. Conocimiento nuclear y radiactivo aplicado a la salud pública, la preservación del ambiente y del patrimonio natural y cultural

Proyecto 1. Investigación en geocronología e isotopía

Con este proyecto se espera fortalecer el conocimiento geológico, geocronológico e isotópico que permita aportar información para el ordenamiento territorial en torno al agua, la prevención de riesgos (por ejemplo, la contaminación en el agua por procesos antropogénicos), entender mediante relaciones isotópicas del agua cuales son las zonas y velocidades de recarga, procedencia del agua, dinámicas de evaporación, elucidar mezclas entre el agua subterránea poco profunda y el agua proveniente de una fuente termal, la interacción agua-roca y las fuentes de fluidos hidrológicos en sistemas geotérmicos, entre otras aplicaciones. También, las tecnologías nucleares sirven como herramientas para la protección radiológica de poblaciones en riesgo de irradiación por fuentes naturales, y aportar a la consolidación normativa y legislativa para la protección del agua y de la sociedad.

A partir de las tecnologías nucleares, geocronológicas e isotópicas, se aportará en los estudios

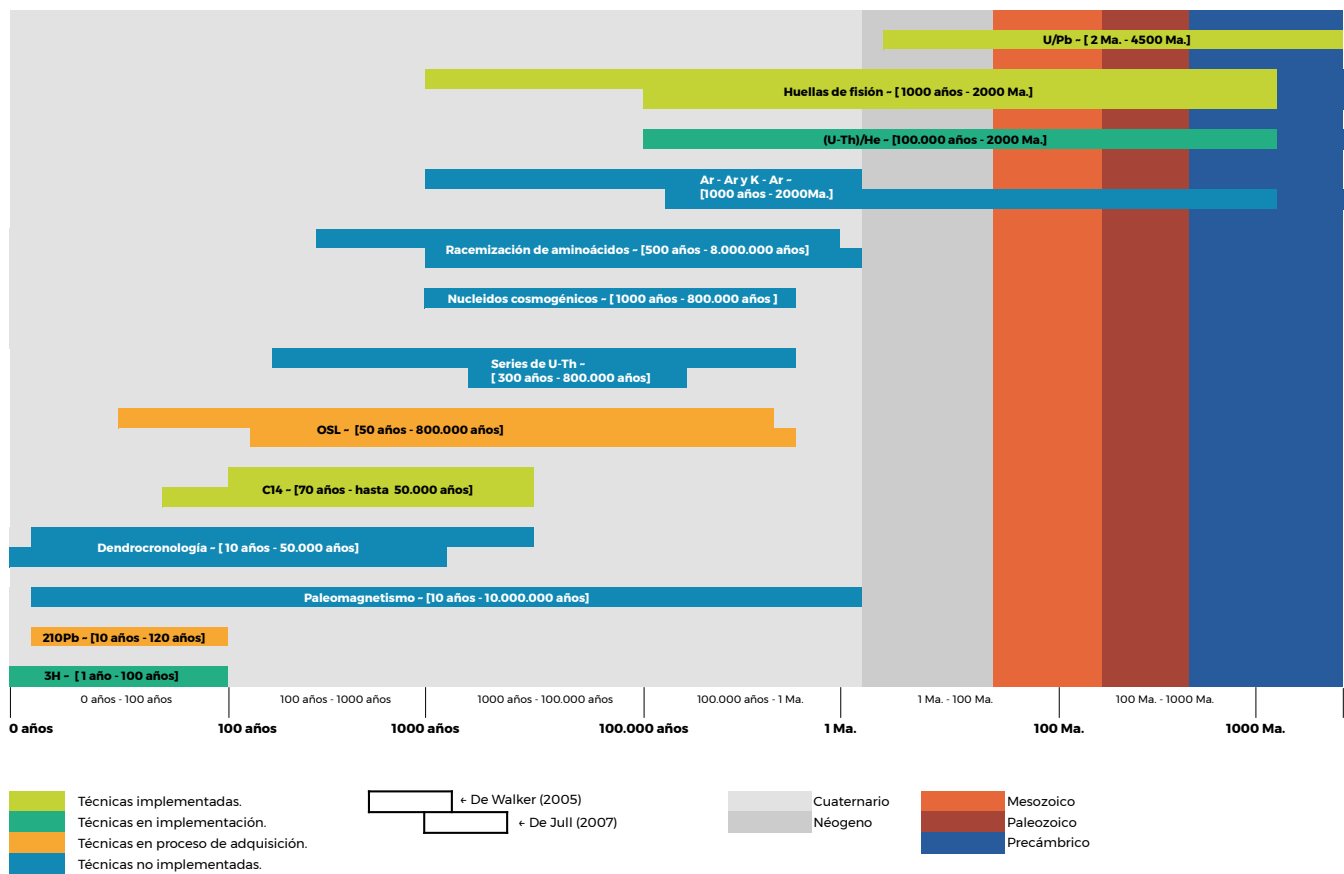
sobre geociencias básicas, amenazas geológicas, hidrogeología, exploración geotérmica y estudios sobre transición energética, estudios de evolución tectónica, procesos geológicos como el levantamiento/erosión de sistemas montañosos, evolución del paisaje, amenaza volcánica, entre otros.

En ese sentido, el SGC ha avanzado, desde 2010, en la consolidación del primer centro de geocronología e isotopía en el país: en la primera fase, se estableció la operación de los laboratorios de isótopos estables, neutrónica, huellas de fisión y de centelleo líquido, así como la modernización de otras instalaciones como la consola del único reactor nuclear en Colombia. En la segunda, entre 2014 y 2019, se actualizaron los laboratorios de isótopos estables y neutrónica, y se crearon nuevos laboratorios como el de microscopía electrónica de barrido y el de datación por U/Pb. En la tercera fase, entre 2021 y 2022, se actualizaron los laboratorios de microscopía electrónica de barrido, isótopos estables, carbono-14 con centelleo líquido y datación U/Pb con un ICPMS cuadrupolo y un láser de 193 nm, y se crearon los laboratorios de microsonda electrónica y U-Th/He.

La figura 6 muestra los avances en términos de la consolidación del centro de geocronología y los objetivos que se han planteado para ampliar los rangos de edades y a su vez las aplicaciones enfocadas a eventos de hasta 50 millones de años: Debido a que el SGC cuenta con estas instalaciones

que son, en su mayoría, únicas en el país, se busca mantener las capacidades analíticas, así como implementar nuevas metodologías y laboratorios que permitan cumplir los objetivos estratégicos y las disposiciones del PND (descritas anteriormente). En tal sentido, para las nuevas implementaciones es

→ Figura 6. Compilación de técnicas geocronológicas. La gráfica muestra las técnicas implementadas, en implementación y a implementar en el Servicio Geológico Colombiano.



Nota: modificado de "A question of time: historical overview and modern thought on Quaternary dating methods to produce fluvial chronologies", por Rixhon, 2022.

necesario adquirir equipos de medición, optimizar metodologías y realizar la acreditación de los ensayos. Igualmente, se propone implementar técnicas como: relaciones de $^3\text{He}/^4\text{He}$ para determinar tiempos de residencia de aguas subterráneas y eventos geológicos de baja temperatura, isótopos estables de azufre para entender los mecanismos de amenaza volcánica; isótopos de N-15 y O-18 para determinar el origen contaminantes; dataciones por Radiocarbono (C-14) y OSL (luminiscencia ópticamente estimulada)

en muestras de carbones, cenizas, sedimentos y suelos para elucidar mecanismos de movimientos en masa, amenaza volcánica y amenaza sísmica; y Dataciones por Pb-210 para caracterización geocronológicas y geoquímicas de depósitos de sedimentos para establecer escenarios de contaminación ambiental de 10 hasta 100 años.

Para garantizar la confiabilidad de los resultados y la competencia técnica del laboratorio, se busca continuar con la ampliación del alcance de

acreditación de los laboratorios de ensayo y calibración bajo la norma ISO IEC 17025:2017. Este proceso, que inició en 2018 con la acreditación de ensayos de isótopos estables y dataciones por U/

Pb, actualmente cuenta con la acreditación del Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) para los alcances aprobados en cinco ensayos y dos magnitudes de calibración.

→ Producto e indicador proyecto 1:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Ampliación capacidades analíticas de laboratorios	14	19	23	25
Documentos de investigación en medición de contaminantes ambientales	5	8	9	10

Proyecto 2. Fomento al desarrollo e investigación de las tecnologías nucleares y radiactivas

Las aplicaciones nucleares son catalogadas como técnicas de gran importancia para desarrollar y mejorar los procesos y el control de calidad en las áreas de la salud, la seguridad alimentaria y la conservación del patrimonio natural, geológico y cultural, entre otras. Por esta razón, es relevante implementar proyectos de investigación en aplicaciones nucleares y radiactivas que aprovechen el potencial del reactor nuclear IAN-R1, la Planta de Irradiación Gamma, el Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica (LSCD), el Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA) y el Laboratorio de Radioquímica, entre otras instalaciones del SGC. De esa forma se contribuye al desarrollo sostenible del país. Este proyecto se abordará mediante la investigación y el desarrollo de la trazabilidad metrológica y el uso de las radiaciones ionizantes con enfoque en salud pública, protección ambiental, caracterización y preservación del patrimonio cultural, seguridad alimentaria, gestión segura de fuentes radiactivas en desuso o sin control regulatorio y la operación segura del reactor nuclear para investigación en aplicaciones nucleares y como apoyo a laboratorios.

| Componente 2.1.

Trazabilidad metrológica y uso de radiaciones ionizantes con enfoque en salud pública, protección ambiental, patrimonio cultural y seguridad alimentaria

Además de las instalaciones del SGC, Colombia cuenta con cerca de 480 instalaciones que hacen uso de radiaciones ionizantes en aplicaciones médicas (42 %), industriales (51 %) y de investigación (7 %). Estas radiaciones, producto de fuentes radiactivas y de equipos emisores de radiación de uso médico e industrial, tienen el potencial de causar daños a las células humanas si no se cumplen los protocolos adecuados. Por este motivo, su uso en el país se encuentra reglamentado y su aplicación en el campo médico está orientada al tratamiento del cáncer mediante técnicas de teleterapia y braquiterapia.

Asimismo, se aprovechan las cualidades energéticas de las radiaciones ionizantes para realizar procedimientos como radiología convencional, tomografía axial computarizada o mamografía. Para algunos de estos procedimientos existe un área conocida como medicina nuclear, que establece los protocolos mediante los cuales se suministra al paciente un radiofármaco que permite la detección de células cancerosas. Estos proce-



Montaje de muestras en el equipo de fluorescencia de rayos X de la Dirección de Laboratorios.

dimientos se realizan siguiendo estándares internacionales establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que definen las tolerancias de los pacientes en mediciones de dosis de radiación. Para esto, el Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica (LSCD) del SGC ofrece servicios de calibración de sistemas dosimétricos que se usan en centros médicos, lo que representa una herramienta imprescindible para la salud pública.

En el campo de la industria y la investigación, las radiaciones ionizantes se utilizan en la producción, planeación y evaluación de procesos y productos. Dentro de la reglamentación existente, se exige que, para el desarrollo de estos procesos, las dosis recibidas colateralmente por las personas involucradas sean seguras, es decir, que estén dentro de los límites permitidos por el IAEA. Para esto, se requiere que la organización tenga los instrumentos necesarios para hacer mediciones confiables y trazables en el Sistema Internacional de Unidades, lo cual se logra con el acceso a los servicios de calibración que ofrece el LSCD a nivel de protección radiológica.

De acuerdo con lo anterior, este componente pretende fortalecer la trazabilidad metrológica en las áreas mencionadas de protección radiológica, teleterapia, braquiterapia, radiodiagnóstico y medicina nuclear, mediante el mantenimiento y la ampliación de su sistema de gestión de calidad. Esto se logra a través de la acreditación de sus calibraciones en la norma ISO/IEC 17025 y, posteriormente, la postulación como Instituto Designado ante el Instituto Nacional de Metrología (INM) y el reconocimiento de las capacidades metrológicas por parte de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM). Todo esto permite el posicionamiento internacional a través de actividades científicas que adelanta el Sistema Interamericano de Metrología (SIM). Actualmente, el LSCD tiene capacidad de prestar 40 servicios anuales de calibración a nivel de teleterapia y 500 a nivel de protección radiológica.

Los servicios de calibración a nivel de rayos X, braquiterapia y medicina nuclear se encuentran en implementación y se proyecta tener una capacidad de 40 servicios anuales para cada tipo de aplicación. También se proyecta liderar actividades de verificación metrológica en apoyo a usuarios de radiaciones ionizantes y ensayos de aptitud, así como contribuir con investigaciones en dosimetría clínica. En general, se busca garantizar la trazabilidad de las mediciones no solamente desde la calibración, sino a lo largo de toda la cadena que involucra el proceso de medición, lo que asegura la consistencia y confiabilidad de los procedimientos ejecutados en desarrollo de la actividad médica y en ámbitos como la industria y la academia.

Adicionalmente, el SGC contribuye a la protección ambiental mediante la determinación de contaminación por radionúclidos en muestras sólidas y líquidas. A través de los servicios de ensayo de espectrometría del Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA), es posible determinar cantidades muy pequeñas de materiales radiactivos presentes en agua, suelos y alimentos. Además, es posible determinar el material en muestras tomadas en fuentes radiactivas selladas de uso médico e industrial, con el fin de garantizar su hermeticidad y evitar accidentes que comprometan la salud y los cuerpos de agua potable. Actualmente, el LRA presta sus servicios a cerca de 450 usuarios y brinda soporte científico a proyectos de interés nacional mediante espectrometría gamma. Las técnicas de espectrometría alfa y beta se encuentran en implementación y, junto con el uso del Laboratorio de Radioquímica, permitirán ampliar el alcance a radionúclidos que aportan a la caracterización geológica del territorio nacional, en colaboración con los laboratorios del Grupo de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares y Geocronológicas.

Es importante que en el país se busquen alternativas a métodos tradicionales empleados en la esterilización de productos, como el uso de óxido de etileno y la autoclave (combinación de altas tempe-

raturas y vapor presurizado), y en el tratamiento cuarentenario, como la aplicación de bromuro de metilo y diversos métodos de conservación que utilizan calor o aditivos. Por esto, desde hace varias décadas el SGC ha utilizado la tecnología de irradiación con fotones provenientes de fuentes de Co 60 en la Planta de Irradiación Gamma, una instalación piloto que permite poner a disposición de la industria la tecnología de fuentes intensas de radiación para la esterilización de productos médicos, quirúrgicos, farmacéuticos y cosméticos, a costos más bajos que en el uso de métodos convencionales. Actualmente, el SGC tiene cerca de 100 usuarios para este servicio.

Además de los usos de esterilización, la tecnología de irradiación con fotones gamma se utiliza en la agricultura. Un ejemplo es la técnica del insecto estéril, que consiste en administrar dosis esterilizantes de radiación ionizante a insectos macho, criados en laboratorio, que posteriormente se ponen en libertad en zonas infestadas y se aparean con las hembras sin producir descendencia.

También se realiza irradiación de productos agrícolas, con fines de investigación y conservación, para retrasar su descomposición sin impactar su valor nutricional. Para el desarrollo de estas y otras metodologías, el SGC ha participado en proyectos de cooperación apoyados por el IAEA con entidades públicas y privadas.

En el campo de la cultura, dentro del patrimonio histórico y natural existen elementos que son susceptibles de sufrir degradación con el tiempo,

incluso si se mantienen en condiciones favorables. En estos casos, es necesario recurrir a un método que permita la eliminación de agentes microscópicos que aceleren dicha degradación. Para esto, la irradiación con fotones gamma representa una solución eficiente, simple y no invasiva que permite extender considerablemente el tiempo de vida de estos elementos de valor incalculable para el país. En la última década, el SGC ha colaborado con entidades de interés como el Ministerio de Cultura, a través del Museo Nacional, realizando irradiaciones en la Planta de Irradiación Gamma piloto a elementos que constituyen patrimonio cultural de Colombia.

La experiencia adquirida por el SGC en la operación de este tipo de instalaciones le ha permitido incidir en la formulación de políticas y en la implementación de dicha tecnología a escala industrial, con el fin de fortalecer la competitividad del país. Mediante este proyecto se busca mejorar la infraestructura de la planta de irradiación gamma, a través de la modernización de sus sistemas de control y recarga de fuentes radiactivas, para garantizar la continuidad de los servicios de irradiación a escala semiindustrial y potenciar los programas de investigación dirigidos al fortalecimiento de la salud pública, la agricultura y la conservación del patrimonio histórico. Adicionalmente, se busca explorar la viabilidad de tecnologías complementarias, como la irradiación con electrones mediante aceleradores lineales de tipo industrial.

→ Producto e indicador componente 2.1:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Documentos de investigación de radiaciones ionizantes en salud pública, protección ambiental, patrimonio cultural y seguridad alimentaria	3	7	10	12
Metodologías en técnicas radiactivas y nucleares implementadas	23	26	27	28

| Componente 2.2.
Mapa nacional de material radiactivo de origen natural (NORM)

Los mapas de NORM son herramientas útiles para comprender la variabilidad geográfica de la radiación ionizante proveniente de fuentes naturales. Esta proviene del suelo, aguas, rocas y demás elementos presentes en la corteza terrestre. La importancia de este mapa radica en

proporcionar información valiosa sobre los niveles de radiación de fondo en diferentes regiones del país para comprender los estándares de seguridad radiológica.

Con esta representación, se busca mostrar la distribución y concentración de los NORM en Colombia, incluyendo particularmente isótopos de uranio, torio y potasio. Esta información es importante para la planificación y regulación de actividades en el territorio nacional.

→ **Producto e indicador componente 2.2:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Mapa Nacional de Material Radiactivo de Origen Natural	0	3	4	5

| Componente 2.3.
Fortalecimiento de las capacidades operativas del reactor nuclear e instalaciones radiactivas para investigación en aplicaciones nucleares

Actualmente, el SGC tiene bajo su responsabilidad la operación segura del reactor nuclear IAN-R1, el cual se usa para el desarrollo de proyectos geológicos misionales en temas de gequímica y geocronología. Principalmente, el reactor se emplea en la caracterización química multielemental de materiales geológicos, para lo cual se utilizan las técnicas de análisis por activación neutrónica y análisis de neutrones retardados. También se llevan a cabo estudios para definir la viabilidad de la irradiación de muestras para la técnica de huellas de fisión.

se espera ampliar las investigaciones y aplicaciones del reactor nuclear para abarcar la producción de trazadores radiactivos para hidrogeología y agricultura, las aplicaciones médicas y el análisis de materiales para estudios forenses.

Frente a lo anterior, se implementará un laboratorio para la producción de radioisótopos que permita producir bromo 82 (Br) y oro 198 (Au), los cuales serán empleados en estudios hidrológicos. Además, los isótopos radiactivos producidos en el reactor nuclear permiten hacer estudios de suelos y determinar las cantidades de abono absorbidas por las plantas o desperdiciadas en el ambiente, lo que posibilita el mejoramiento en la producción de alimentos.

Teniendo en cuenta su carácter de institución adscrita al Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTel), el SGC utiliza el reactor para hacer investigación aplicada y apoyar a instituciones educativas en su conocimiento. Dado que las aplicaciones nucleares son mucho más amplias, y que tiene retos impuestos por el PND,

Por otra parte, en el SGC se avanzará en el estudio de viabilidad para la implementación de los tubos de haces de neutrones en aplicaciones de investigación, medicina e innovación tecnológica. La operación del reactor nuclear IAN-R1, además de prestar servicios de irradiación para diferentes aplicaciones, permite ganar experiencia operacional que es necesaria para el entendimiento y la verificación de la física de los reactores nucleares y el manejo de sus parámetros. Al final, esto impulsa una posible parti-

cipación en la instalación y operación de un reactor nuclear con mayor potencia que produzca radiois-

sótopos aplicables a la demanda en radioterapia y medicina nuclear.

→ **Producto e indicador componente 2.3:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Servicios de laboratorios habilitados	12	14	15	17
Documentos de investigación en aplicaciones nucleares	0	3	6	8

Proyecto 3. Prevención y gestión del riesgo radiológico derivado del uso de fuentes radiactivas artificiales

Las aplicaciones radiactivas son técnicas desarrolladas para contribuir al desarrollo y crecimiento del país desde diferentes campos. Sin embargo, las radiaciones ionizantes tienen el potencial de causar daños a la salud humana y al ambiente si no se emplean de manera adecuada. Por esta razón, es necesario adelantar proyectos para prevenir y mitigar posibles impactos en diferentes escenarios de exposición, entre ellos, la radiación de origen natural, el uso seguro de fuentes radiactivas artificiales y los accidentes de radiación. Para estos fines, es necesario contar con información actualizada del inventario de fuentes radiactivas operadas en el país, sus condiciones de operación y la medición de la radiación emitida por las fuentes naturales.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que Colombia cuenta con una normativa regulatoria diseñada para garantizar el control en el uso de las fuentes radiactivas y equipos emisores de radiación ionizante, con un alcance que incluye la salud, la industria y la academia. Actualmente, operan cerca de 480 instalaciones radiactivas en aplicaciones de medicina, industria e investigación.

Por lo anterior, con este proyecto se busca la prevención de los riesgos radiológicos mediante las funciones delegadas por el Ministerio de Minas y Energía al SGC en cuanto a vigilancia y

control de las fuentes radiactivas. La autoridad reguladora delegada debe contar con un grupo de profesionales con experiencia y entrenamiento permanente, teniendo en cuenta los cambios normativos y la implementación de nuevas tecnologías radiactivas. En ese sentido, se debe consolidar un grupo de trabajo que promueva la seguridad radiológica del país y que reduzca la probabilidad de ocurrencia de un incidente o accidente radiológico en las diferentes instalaciones radiactivas del territorio. Además, con este proyecto se aportará, desde las aplicaciones nucleares y radiactivas, a la mitigación de riesgos asociados con radioactividad y riesgo geológico para la salud humana, y se afianzará el conocimiento de los materiales radiogénicos, de materiales radiactivos de ocurrencia natural (NORM) y de la contaminación ambiental por radiación ionizante con técnicas radiactivas.

| Componente 3.1.

Gestión segura de fuentes radiactivas en desuso o sin control regulatorio

El país tiene la obligación de gestionar las fuentes radiactivas que quedan fuera del control regulatorio, las fuentes huérfanas y las fuentes que agotan el recurso de reexportación a su país de origen. Esta gestión permite asegurar la trazabilidad, la seguridad radiológica y física, y el almacenamiento temporal del material, lo cual garantiza la protección radiológica del público y del

ambiente. El SGC, a través de la Instalación Centralizada para la Gestión de Desechos Radiactivos (ICGDR), ha sido pionero en el país y en la región en el inventario, recolección, acondicionamiento y almacenamiento temporal de fuentes radiactivas en desuso. La institución ha seguido los protocolos del IAEA para garantizar tanto la seguridad radiológica de las personas involucradas como la seguridad física de las fuentes custodiadas.

En cumplimiento de su misión, la ICGDR ofrece un control total sobre estos elementos que, de otra forma, representan un riesgo radiológico potencial de gran magnitud. Actualmente, existen dos instalaciones para el almacenamiento de las fuentes en desuso: el almacén 1, utilizado durante varios años como instalación principal y que en

este momento se encuentra en proceso de desmantelamiento, y el almacén 2, construido con una mayor capacidad y con mejoras significativas en su infraestructura física y tecnológica.

Con este proyecto se busca continuar con la gestión de las fuentes en desuso, realizar el desmantelamiento del almacén temporal de fuentes radiactivas 1 del SGC y participar en la repatriación de fuentes radiactivas de alta actividad. De igual modo, se espera fomentar la investigación en gestión de fuentes radiactivas, modos de reutilización, gestión de material radiactivo de ocurrencia natural tecnológicamente mejorado, gestión de desechos radiactivos y caracterización de impacto radiológico en las instalaciones de servicios de salud.

→ Producto e indicador componente 3.1:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Informe sobre el estado nacional de fuentes radiactivas	1	5	9	11
Informe de gestión de las fuentes en desuso	1	5	9	11
Control del riesgo radiológico mediante la autorización de las prácticas	82 %	90 %	94 %	95 %



Programa 6. Implementación del Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico de la Nación para su identificación, protección, conservación, rehabilitación y divulgación

Proyecto 1. Patrimonio geológico y paleontológico

Las características geológicas de los territorios, conocidas como geodiversidad, determinan las posibilidades de desarrollo, infraestructura y otras actividades económicas innovadoras, sostenibles y alternativas que benefician a las comunidades. La geodiversidad se refiere a la variedad de formas y procesos geológicos que ocurrieron en el pasado o en la actualidad, lo que hace que la historia geológica de los territorios esté estrechamente ligada al desarrollo de las poblaciones. El conocimiento de la geodiversidad permite el desarrollo de la economía, la infraestructura y el turismo sostenible de las comunidades. Por esto, es fundamental la comprensión científica de los sitios más representativos de la geología y de las colecciones geológicas y paleontológicas de Colombia. Dado que se trata de elementos naturales, estos representan una variable ambiental del territorio. Por lo tanto, su protección debe integrarse de manera efectiva con el Sistema Nacional Ambiental (SINA), garantizando así la conservación adecuada de estos bienes geológicos.

Al cierre de 2023, en el país se han identificado alrededor de 110 colecciones distribuidas en 18 departamentos, incluyendo colecciones en instituciones universitarias, regionales y particulares. A su vez, se han identificado 176 sitios de interés geológico y paleontológico a nivel nacional que requieren ser gestionados para propender por su adecuada protección. Esta identificación y gestión permite comprender el territorio nacional y promover alternativas económicas, de conocimiento, identidad, orgullo, apropiación y compromiso en la sociedad hacia el uso responsable del patrimonio. Además, genera soporte técnico para los planes de ordenamiento territorial a nivel municipal y facilita el acceso a la información generada por los geocientíficos. El conocimiento de la geodiversidad debe llegar efectivamente a los tomadores de decisiones y a los ciudadanos

para lograr la protección efectiva del patrimonio geológico y paleontológico de la Nación, tanto a nivel de sitios, como de colecciones de minerales, rocas y fósiles.

Con este proyecto se busca mejorar la calidad de las investigaciones y técnicas de geoconservación del patrimonio geológico mueble e inmueble para la identificación, caracterización y valoración del patrimonio. Sumado a esto, se busca renovar y adecuar los espacios del Museo Nacional - José Royo y Gómez, de tal forma que cumplan con los requerimientos y estándares de seguridad y calidad para la adecuada conservación de sus colecciones. En tal sentido, el proyecto se abordará mediante tres componentes: i) investigación bioestratigráfica y creación de laboratorios de paleoflora y paleofauna; ii) gestión, investigación y divulgación en el Museo Geológico Nacional José Royo y Gómez, sede central y demás sedes, y iii) protección del patrimonio geológico y paleontológico.

| Componente 1.1. Investigación paleontológica y bioestratigráfica, y fortalecimiento de laboratorios de micropaleontología, paleoflora y paleofauna

Históricamente, el Museo Geológico Nacional José Royo y Gómez ha realizado investigaciones paleontológicas para aportar al conocimiento geocientífico del país. No obstante, varios estudios se han desarrollado en el marco de procesos de contratación externa y/o convenios con universidades. De allí la necesidad de que el Museo cuente con laboratorios y profesionales especializados en paleontología y bioestratigrafía. Actualmente, el Museo cuenta con dos laboratorios especializados en conservación y preparación de microfósiles, en los que se adelantan investigaciones; sin embargo, el Museo carece de espacios para la preparación y conservación de microfósiles. La creación de laboratorios de micropaleontología

es necesaria para el desarrollo de proyectos de investigación, por ejemplo, de bioestratigrafía y paleoclimatología. El desarrollo de estos proyectos dará como resultado la generación de información oportuna, confiable y propia de la institución. Esta información se aplicará en diversos proyectos geocientíficos, tales como los de exploración y conservación de recursos hídricos, evaluación de amenazas geológicas y cambio climático.

La investigación paleontológica representa un área de estudio y desarrollo científico de gran importancia, ya que Colombia alberga un patrimonio paleontológico invaluable debido a su riqueza ecosistémica y al registro en su territorio de los cambios geológicos ocurridos a lo largo de millones de años. El patrimonio colombiano incluye fósiles de animales, plantas y microorganismos que proporcionan una ventana única para entender la evolución de la vida en la región y su relación con los cambios ambientales. La investigación en las diferentes disciplinas de la paleontología no solo contribuye a la datación de eventos geológicos clave y al estudio de cambios climáticos, sino que también es fundamental para la exploración y gestión sostenible de recursos naturales, como agua, minerales e hidrocarburos. Además, los sitios paleontológicos pueden tener un potencial

turístico y cultural significativo, lo que genera ingresos y enriquece la identidad científica y cultural de Colombia. La investigación del patrimonio paleontológico de Colombia contribuye al conocimiento científico global y al fortalecimiento de la comprensión de la evolución de la vida en América del Sur y su relación con otros continentes.

La creación de laboratorios especializados en micropaleontología garantiza la conservación de los microfósiles a la vez que fomenta la educación científica, la divulgación y promueve mayor interés por la ciencia y la historia natural del país.

El impacto de la investigación paleontológica se manifiesta en la promoción de la protección del patrimonio geológico a partir de bases geocientíficas. Las áreas del conocimiento objetivo de las investigaciones paleontológicas, incluyen: bioestratigrafía, taxonomía, paleobiología, paleoecología, biodiversidad, cambio climático, conservación y líneas base en ambientes marinos y de páramo. Las metas esperadas son el producto de las investigaciones realizadas, que tienen como meta implícita la publicación de documentos en diferentes escenarios y comunidades por medio de artículos científicos, capítulos de libros, informes técnicos de investigación, e informes técnicos de preparación de piezas fósiles.

➔ **Producto e indicador componente 1.1:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Documentos de investigación paleontológica	300	306	318	324

| Componente 1.2.
Gestión, apropiación social y difusión de las geociencias en el Museo Geológico Nacional José Royo y Gómez, sede central y demás sedes

El Museo Geológico Nacional José Royo y Gómez es el responsable de custodiar y salvaguardar las colecciones adquiridas durante el desarrollo de

las actividades misionales del SGC. Es el repositorio formal y oficial de las Colecciones Científicas Paleontológicas de Colombia y actor principal de la divulgación y apropiación social de las geociencias y del patrimonio geológico y paleontológico del país.

El Museo Geológico Nacional en sus tres sedes (Bogotá, Cali y Medellín) emerge como un pilar fundamental de investigación, educación y con-

servación para el país, desplegando un abanico de contribuciones significativas. En primer lugar, este museo es un epicentro de aprendizaje de las geociencias que aviva la chispa del conocimiento geocientífico y la curiosidad en estudiantes y visitantes, así como eleva la conciencia pública acerca de la relevancia de la geología en la cotidianidad y en la gestión sostenible de la naturaleza.

El Museo, que recibe más de 10.000 visitantes al año, cuenta con un equipo de educación interdisciplinar que desarrolla estrategias educativas, de apropiación social de conocimiento y comunicaciones. Adicionalmente, busca ser un referente en estrategias de aprendizaje de las geociencias al servicio de la ciudadanía, así como un actor clave para la construcción de un plan nacional de educación geocientífica.

Esta institución potencia la investigación científica, funge como un espacio de estudio y análisis de colecciones de fósiles, minerales y rocas para que científicos e investigadores profundicen en el conocimiento de las geociencias y la geodiversidad colombiana, y ejerce una labor crucial en la preservación del patrimonio natural al custodiar y exhibir las colecciones, así como proponer estrategias de apropiación social del conocimiento sobre patrimonio geológico y paleontológico; lo anterior con el objetivo de asegurar que la herencia geológica y paleontológica perdure para futuras generaciones.

A su vez, el Museo Geológico Nacional se proyecta como un referente para el turismo cultural y científico, atrayendo a visitantes de todas las latitudes y funciona como un escenario de investigación que enriquece la base de conocimiento de estudiantes, investigadores y profesionales, y contribuye a la formación de talento humano altamente capacitado en los campos relacionados.

Por último, pero no menos relevante, el Museo promueve la cultura científica, insta a la sociedad a abrazar y valorar la ciencia, con un impacto palpable en la toma de decisiones informadas sobre cuestiones geológicas y ambientales, lo que, a su vez, puede influir en políticas y prácticas más sostenibles. En resumen, el Museo Geológico Nacional amalgama múltiples facetas de desarrollo, desde la educación hasta la conserva-

ción y la promoción de la cultura científica, forjando un camino hacia un futuro más rico en conocimiento y consciente del valioso patrimonio natural de Colombia.

En línea con las funciones antes mencionadas, el museo del SGC custodia colecciones científicas (alrededor de 50 mil piezas) que albergan restos paleontológicos de especímenes tipo y de referencia, así como de restos que sustentan los resultados de estudios para el desarrollo de cartografía geológica temática e investigación estratigráfica. Estas colecciones forman parte del patrimonio de la Nación y se constituyen en material de consulta para investigadores en paleontología y estratigrafía. La investigación permanente de las colecciones geológicas y paleontológicas permite el cumplimiento de estándares internacionales sobre su uso, cuidado, conservación y catalogación científica. Esta investigación se convierte en un insumo para estudios multidisciplinarios que permiten comprender el establecimiento, evolución y respuesta biótica de ecosistemas marinos y terrestres que se han desarrollado en el pasado geológico del país ante procesos naturales responsables de la conformación de su territorio y el establecimiento de su biodiversidad.

Desde su conformación, el Museo Geológico Nacional José Royo y Gómez ha sido un museo de ciencias naturales dedicado a la investigación y divulgación de conocimiento que, a través de la exhibición permanente de sus colecciones en sus tres sedes (Bogotá, Medellín y Cali), el apoyo a entes territoriales y el trabajo con la comunidad, ha fomentado la difusión del conocimiento geológico acerca de los fenómenos naturales que modelan los paisajes del territorio de Colombia, y del reconocimiento y apropiación de sus riquezas naturales y patrimoniales.

En consecuencia, y atendiendo los desafíos identificados, este componente busca implementar metodologías y procedimientos que permitan la gestión integral e investigación permanente de las colecciones científicas; desarrollar estrategias y lineamientos de educación, apropiación social y comunicaciones (incluyendo estrategias virtuales); establecer un sistema de acompañamiento a comunidades y entes territoriales en torno a la apropiación de las geociencias y protección de

las riquezas naturales y patrimoniales; y crear mecanismos de apoyo y asesoría a las redes de colaboración como la Red de Museos y Colecciones Geológicas y Paleontológicas. Estos acompañamientos e investigaciones se verán reflejados en

documentos de gestión, cuidado y conservación de colecciones, productos de educación y apropiación social de las geociencias, y de divulgación geocientífica al servicio de la ciudadanía y los tomadores de decisiones.

→ Producto e indicador componente 1.2:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Documentos de gestión e investigación de colecciones, de productos y servicios de divulgación geocientífica y de apoyo a entes territoriales, museos y comunidades	47	62	75	82

| Componente 1.3.

Desarrollo e implementación de estrategias de geoconservación para la gestión integral del patrimonio geológico, espeleológico y paleontológico

El SGC es la entidad de orden nacional encargada de desarrollar e implementar estrategias de geoconservación para el patrimonio geológico y paleontológico de la Nación, fundamentales para su protección. Atender esta función, asignada a través de los decretos 4131 de 2011, 2703 de 2013 y 1353 de 2018, es una prioridad dado que este tipo de patrimonio es fuente irremplazable para el conocimiento geocientífico y se debe asegurar su transmisión a futuro. El SGC también desempeña un papel fundamental en la implementación de la Ley 2237 de 2022, la cual tiene por objeto la conservación, estudio científico, identificación, restauración y uso sostenible del patrimonio espeleológico colombiano.

Adicionalmente, es primordial posicionar al SGC como el ente rector a nivel nacional y como actor central del Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico, lo que implica la articulación interinstitucional, intersectorial y con los ciudadanos relacionados. También, involucra la participación en espacios internacionales como redes de expertos, y el fomento a nivel nacional de la aplicación de estrategias y programas de la Unesco

como la Convención de 1970, referente a la prevención y mitigación del tráfico ilícito de bienes culturales (entre los que se encuentran las piezas paleontológicas), la Convención de Patrimonio Mundial de 1972, y el Programa Internacional de Ciencias de la Tierra y Geoparques (PIGG) de 2015 de la Unesco. Estas convenciones y programas ofrecen una oportunidad estratégica para que Colombia, a través del SGC, fortalezca la investigación en ciencias de la Tierra, promueva el desarrollo sostenible y gestione de manera efectiva su patrimonio geológico. En particular estos programas permiten acceder a una red global de científicos y expertos en conservación, así como obtener financiamiento para investigaciones relevantes, fortalecer capacidades de investigación y posicionar a la entidad como un líder en la gestión del patrimonio geológico a nivel internacional.

La protección del patrimonio geológico y paleontológico en Colombia es de vital importancia por una serie de razones trascendentales. En primer lugar, este patrimonio alberga un tesoro de conocimiento científico que arroja luz sobre la historia de la Tierra y la evolución de la vida en la región. Los fósiles, formaciones geológicas y minerales ofrecen una ventana única a los cambios que han ocurrido durante millones de años, lo que constituye una fuente invaluable para investigadores en campos como la geología, paleontología, biología y ecología. Además, estos vestigios

fósiles y geológicos son registros de la biodiversidad del pasado, lo que permite a los científicos rastrear la evolución de especies y comprender cómo han respondido a cambios climáticos y ambientales a lo largo del tiempo. Este conocimiento no solo es fascinante desde una perspectiva científica, sino que también es esencial para la conservación de la biodiversidad actual y para la planificación de estrategias de conservación en un mundo en constante cambio. La protección del patrimonio geológico y paleontológico en Colombia puede estar vinculada a compromisos internacionales en virtud de acuerdos y tratados que promueven la conservación de la diversidad biológica y cultural. Al cumplir con estas obligaciones internacionales, Colombia contribuye al esfuerzo global de preservar y comprender la historia natural de nuestro planeta.

Proteger este tipo de patrimonio implica conocer y entender el estado de los sitios de interés geológico y de las colecciones más representativas de la geodiversidad de Colombia. De ello depende que el SGC oriente de manera efectiva la formulación e implementación de estrategias de geoconservación como la identificación, caracterización, valoración, diagnóstico y declaratoria de sitios y colecciones, la formulación de Planes de Manejo para Zonas de Protección, el fomento a buenas prácticas en manejo y cuidado de colecciones, la prevención del tráfico ilícito y atención de hallazgos fortuitos de piezas paleontológicas, así como la operatividad de los trámites definidos por el Decreto 1353 de 2018 sobre declaratoria y registro en el Inventario Nacional Geológico y Paleontológico, tenencia y exportación temporal, movilización, excavación y autorización de obras en zonas de protección. Adicionalmente, fomentar la protección del patrimonio ayuda al país a alcanzar los ODS, contribuyendo específicamente a algunos como: fin de la pobreza (ODS 1), educación de calidad (ODS 4), equidad de género (ODS 5), agua y saneamiento (ODS 6), acción por el clima (ODS 13), vida de ecosistemas terrestres (ODS 15) y paz, justicia e instituciones sólidas (ODS 16). El SGC busca empoderar a las comunidades, fomentar el diálogo y la participación informada, así como impulsar la investigación, la educación y el turismo sostenible en torno al valioso patrimonio geológico de Colombia.

Como parte de las acciones de protección adelantadas por el SGC hasta el momento, se han identificado alrededor de 110 colecciones y 176 sitios de interés geológico y paleontológico que requieren ser caracterizados, valorados y gestionados, propendiendo por su adecuada protección. De igual forma, entre 2022 y 2023, en el Inventario Nacional Geológico y Paleontológico se han declarado y registrado 21120 piezas, correspondientes a 23 colecciones. Asimismo, se han formulado documentos sobre patrimonio geológico inmueble o in situ, como la guía metodológica interna para su reconocimiento y declaratoria (que incluye la metodología de valoración) y el instructivo para la elaboración de un plan de manejo y protección geológico. En cuanto a patrimonio mueble o ex situ, se cuenta con la metodología de tasación para piezas declaradas de interés geológico y paleontológico, lineamientos de conservación para almacenamiento, exhibición, transporte y embalaje, y la expedición de las resoluciones D-290 de 2021 (que adopta la metodología de valoración de patrimonio geológico y paleontológico mueble) y D-192 (que establece los requisitos y procedimientos para la gestión integral del patrimonio geológico y paleontológico de la Nación). También, se han realizado 13 expedientes de caracterización y valoración de sitios de la geodiversidad y 19 expedientes de colecciones geológicas y paleontológicas.

Este componente tiene por objetivo brindar protección al patrimonio geológico y paleontológico a través de diversas acciones, que incluyen el cumplimiento de disposiciones legales, la elaboración de procedimientos de geoconservación, la reglamentación de requisitos, trámites y procedimientos relacionados con zonas de protección y bienes muebles, y la elaboración de expedientes de identificación, caracterización y valoración del patrimonio geológico (sitios y colecciones). Ahora bien, los expedientes resultantes proporcionan una evaluación cualitativa del patrimonio geológico y paleontológico de Colombia. Las acciones mencionadas se llevarán a cabo en estrecha colaboración con las comunidades, las autoridades territoriales, las instituciones públicas y privadas, la academia y las sedes regionales del SGC, con el fin de garantizar una gestión integral y participativa del patrimonio geológico y paleontológico en todo el país.

→ **Producto e indicador componente 1.3:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Informes de caracterización e informes de valoración de patrimonio geológico y paleontológico	44	62	94	110

Programa 7. Investigación y caracterización química y geomecánica aplicada a las geociencias

Proyecto 1. Investigación e innovación geocientífica en caracterización de materiales

Este proyecto está diseñado para generar, ampliar y enfocar conocimiento geocientífico que beneficie a la comunidad y que contribuya a la conservación o aprovechamiento responsable de los bienes y recursos naturales. Para ello, es fundamental contar con tecnología de punta y equipos altamente especializados operados por personal cualificado, a fin de mejorar la precisión y relevancia de los datos generados. Estos esfuerzos facilitan una comprensión más precisa y completa de los bienes y recursos naturales y la comprensión de la interacción de los seres humanos con el entorno.

La caracterización del suelo, subsuelo y agua es fundamental para estimar el potencial y determinar las potencialidades y necesidades de conservación del territorio nacional, es decir, para generar información analíticamente confiable, integral y robusta para la toma de decisiones sobre uso adecuado del mismo. En la la figura 7 se aprecia el número de muestras analizadas en las diferentes ofertas de servicio de la Dirección de Laboratorios que han tenido relación con el estudio del suelo, subsuelo y agua.

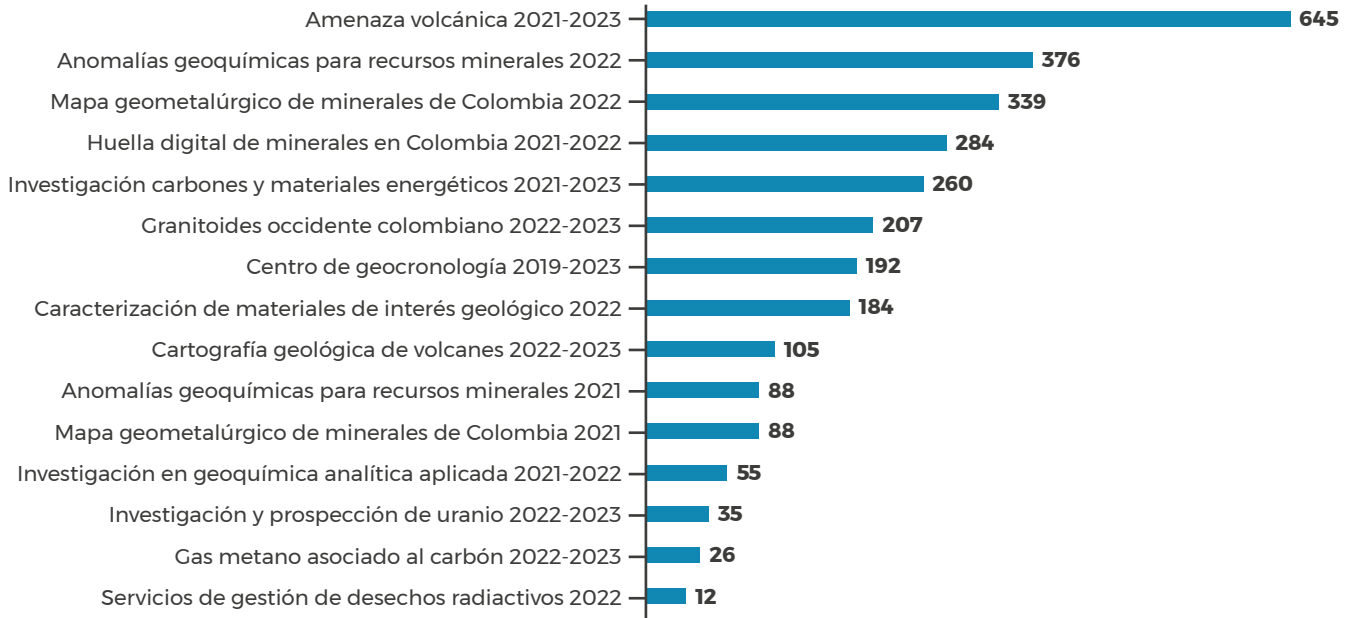
El SGC ha avanzado en generar conocimiento en aspectos estratégicos. Como se muestra en la figura anterior, el laboratorio completó más de sesenta y seis mil análisis en las diferentes ofertas de

servicio en el 2023, relacionados con el estudio de suelo, subsuelo y agua, dando respuesta al trabajo transversal que permite la generación de información geocientífica en el marco de la misionalidad de nuestra institución.

Estas investigaciones se centran en generación de conocimiento a partir de estudios que dan respuesta a diferentes necesidades desde la geoquímica analítica, la geotecnia, la geometalurgia, el estudio de depósitos minerales, de procesos de beneficio mineral, pasivos ambientales, calidad de agua, geoquímica multipropósito, huella digital, meteorización, formación de suelos, y desarrollo de instrumentación de bajo costo para monitoreos comunitarios, entre otros.

Otras temáticas de investigación trabajadas están en el marco del proyecto de carbones y materiales energéticos, la cual estuvo enfocada en el estudio de emisiones de mercurio y el aprovechamiento de subproductos de carbón para dar valor agregado (estudio de elementos de tierras raras y obtención de nanomateriales con posible aplicación para la transición energética). Adicionalmente, se han venido realizando estudios sobre el aprovechamiento y beneficio del carbón y sus productos como fuentes potenciales de tierras raras (minerales estratégicos). De esta manera, la entidad ha contribuido y continuará generando información técnica en el marco del conocimiento geocientífico para la toma de decisiones.

→ Figura 7. Número de muestras analizadas en la Dirección de Laboratorios para diferentes proyectos del SGC 2021-2023



Nota: tomado de oficina de recepción de muestras, Dirección de Laboratorios SGC, 2023

Metas y proyecciones

Este proyecto refleja metas a corto, mediano y largo plazo tal como se observa en las tablas de los componentes que forman parte de esta línea. Para dar continuidad a estos logros es importante fortalecer la generación de conocimiento geocientífico, enfocado en la caracterización precisa, oportuna, integral y a las escalas adecuadas de los bienes y recursos del territorio nacional. Esto con el fin de proveer datos confiables y conocimiento que aporte a la toma de decisiones adecuada y bien fundamentada.

En este proyecto incluimos la caracterización juiciosa de la ocurrencia, distribución, génesis y asociaciones de minerales de interés ambiental o económico en el territorio nacional, la determinación de ensamblajes geoquímicos e isotópicos característicos de minerales estratégicos que permita su trazabilidad y el estudio de la meteorización de minerales que deriva en procesos ambientales críticos para la sostenibilidad ecológica de nuestro desarrollo socioeconómico.

Además, se busca generar información geocientífica sobre procesos de beneficio mineral con bajo impacto ambiental y de manejo adecua-

do de residuos mineros sólidos y de vertimientos; estudiar nuevos materiales que contribuyan a la transición energética justa; y suministrar insumos para la normatividad sobre estabilidad del subsuelo y la identificación y movilidad de elementos potencialmente peligrosos.

Como resultado de este proyecto, se producirán informes detallados sobre: métodos de beneficio de minerales; la definición de la huella digital de los minerales estratégicos; metodologías para la determinación del uso del mercurio en procesos de beneficio de oro; informes técnicos de procesos de meteorización; geoquímica de suelos y sus implicaciones ambientales; usos alternativos del carbón enfocados en contribuir a la transición energética justa; y actualizaciones del Mapa Metalogénico de Colombia. En función de los avances y resultados obtenidos, se publicarán artículos científicos dirigidos tanto a la comunidad científica nacional como internacional, destacando los avances en tecnologías sostenibles y métodos eficientes.

Con una proyección a 2032, se pretende generar conocimiento en estudios del ciclo del agua, para aportar al ordenamiento territorial alrededor de esta, desarrollar nuevos materiales para la transición energética justa, y adelantar estudios

de pasivos ambientales mineros para determinar la presencia de elementos potencialmente peligrosos y otros materiales de interés, con el fin de integrarlos de manera segura y eficaz y que puedan ser incorporados nuevamente en la cadena productiva nacional. Estos esfuerzos serán fundamentales para garantizar una gestión ambiental responsable y para fortalecer la economía circular en el contexto de la sostenibilidad ambiental del país.

| **Componente 1.1.**

Estudios sobre el aprovechamiento y beneficio del carbón y sus productos como fuentes potenciales en las aplicaciones a la transición energética, seguridad alimentaria y cuidado del ambiente

A nivel nacional, en el marco de una visión de transición energética justa, se plantean cinco ejes fundamentales: incrementar inversiones en energías limpias y procesos de descarbonización; reducir progresivamente la demanda de combustibles fósiles; mejorar la eficiencia energética; revisar y flexibilizar la regulación para fomentar la generación de energías limpias, y reindustrializar la economía colombiana con un enfoque sostenible. La transición hacia energías alternativas requiere el desarrollo de nuevas tecnologías y materiales para desarrollarlas. Con el fin de ampliar el uso de las fuentes de energía no renovables, se requiere investigación orientada al desarrollo de materiales que aumenten la eficiencia en todo el ciclo energético, el cual comprende recolección, transformación, distribución y almacenamiento de energía; asimismo, investigar nuevas aplicaciones de estos materiales en beneficio de la sociedad.

En las últimas dos décadas, los nanomateriales han sido objeto de investigación global por sus aplicaciones en el almacenamiento eficiente de energía. Los nanocompuestos de carbono hacen parte de esta familia y han sido foco de investigación debido a sus interesantes propiedades, las cuales permiten emplearlos en medicina, ciencia de materiales, electrónica, entre otros. Las propiedades electroquímicas encontradas en los nanocompuestos de carbono (grafenos, fullerenos, nanotubos, nanocebollas) han potencializado su investigación en el campo de la electrónica, en el desarrollo de dispositivos de almacenamiento de energía como baterías y supercapacitores que reemplacen las fuentes de energía convencionales. Se requiere el desarrollo de una investigación enfocada inicialmente en la obtención de nanocompuestos de carbono a partir de carbones de alto rango con el objetivo de generar usos alternativos o nuevos materiales que tengan potenciales aplicaciones en la seguridad alimentaria y el cuidado del medio ambiente como por ejemplo: identificación de elementos potencialmente peligrosos, liberación controlada de nutrientes en suelos y eliminación de elementos contaminantes en aguas, entre otros.

Por lo anterior, este componente se desarrollará en el marco de la generación de conocimiento geocientífico del recurso carbonífero y sus productos, con el estudio en la obtención de nuevos materiales a partir de carbón y el aprovechamiento de las cenizas de carbón como fuente de tierras raras (minerales estratégicos), temas indispensables en la transición energética justa y en la economía circular. Asimismo, es necesario contar con sistemas de información (base de datos abiertos) que faciliten el acceso de esta información a la sociedad y contribuyan al proceso de apropiación social del conocimiento.

→ **Producto e indicador componente 1.1:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Generación de nuevos materiales y determinación de tierras raras	0	2	3	4

| Componente 1.2. Caracterización geomecánica de materiales en Colombia

Este componente es fundamental para la planificación territorial a diferentes escalas de trabajo que van desde la escala local o detallada (reflejando análisis necesarios para el desarrollo de infraestructuras mediante modelos de comportamiento geotécnico para zonificar amenazas y gestionar riesgos) hasta la regional para influir en la normativa de construcción, como la norma sismorresistente (NSR-10) de Colombia.

Actualmente, la falta de información geotécnica organizada en Colombia es un desafío. En zonas estratégicas del país, ya sea por sus condiciones ambientales o socioeconómicas, se usan modelos geomecánicos desarrollados y aplicados para materiales con génesis claramente diferente a la del territorio colombiano. La investigación geomecánica, que parte de una caracterización organizada y sistemática del territorio, permitirá identificar modelos de comportamiento que minimicen posibles comportamientos anómalos de suelos y rocas con reducciones importantes en pérdidas de obras e infraestructura, y en muchos casos de vidas humanas.

El laboratorio de geotecnia viene desarrollando proyectos de investigación de los materiales geológicos que parten de la caracterización geomecánica sistemática en diferentes zonas estratégicas del país. Se incluyen los proyectos de “Caracterización de materiales finos en tres zonas piloto en Colombia”, la construcción de una base de datos que pueda alimentar modelos de comportamiento geotécnico

y propuestas de correlaciones de respuesta geomecánica para establecer normativas, y diseños desde el nivel microestructural hasta la macroescala, cuyo impacto alcance la mega escala en Colombia. Como segunda fase de este trabajo de investigación se pretende contar con cartas de clasificación de materiales geotécnicos en el país que puedan ser usadas como “materiales de referencia” tanto para la planificación como para el desarrollo de obras, de tal forma que se tenga una primera información básica que pueda disminuir incertidumbres en la construcción de los planes y programas de desarrollo de obras en el país.

Se requiere proyectar el trabajo en la combinación de métodos directos e indirectos de exploración que generen datos *in situ* y datos directos producto de aplicación de técnicas de laboratorio en zonas piloto, desde la microescala hasta la macroescala, y la combinación de técnicas de laboratorio químico y físico, que lleven a establecer metodologías prospectivas para generar modelos de comportamiento geomecánico de suelos. Estas se reflejarán en una primera propuesta de cartas de clasificación geotécnica de suelos para conocer en forma preliminar condiciones geomecánicas (resistencia y deformación) de los materiales de superficie, que optimicen la realización de estudios de suelos locales, minimizando costos y disminuyendo incertidumbres en los procesos de planificación de los territorios. Igualmente, se requiere efectuar análisis de confiabilidad de los resultados mediante el uso de diferentes métodos que garanticen la posibilidad de réplica de los resultados y del método en otras zonas del país.

→ Producto e indicador componente 1.2:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Metodología para la construcción de cartas de clasificación de materiales finos asociados a la génesis	1	3	4	5

| Componente 1.3.
Generación de información geocientífica sobre el beneficio de minerales socioambientalmente manejable

El impacto ambiental generado por la explotación y beneficio de los recursos minerales en Colombia es un tema de interés prioritario. La escasa información sobre pasivos ambientales, asociada a los problemas sociales y de orden público inherentes a las actividades mineras, representan una problemática que debe ser abordada de manera integral. Desde este componente, se pretende evaluar aspectos ambientales, técnicos, científicos y económicos que estructuran un primer acercamiento de diagnóstico por parte del SGC, con el que se busca aportar información relevante que permita encaminar proyectos de mitigación y disminución del impacto ambiental que afecta directamente a comunidades aledañas a zonas de explotación.

Históricamente, se han usado métodos donde solo se tienen en cuenta los aspectos relacionados a las reservas y formas económicas de explotación del mineral valioso. El ambiente geológico de depósitos minerales y, particularmente, sus características mineralógicas determinan las condiciones fisicoquímicas del beneficio y los impactos ambientales derivados de la actividad minera. Actualmente, se conoce poca información oficial sobre el estado y características de los pasivos mineros. Por esta razón, se considera relevante identificar focos de contaminación en las zonas mineras, específicamente en vertimientos, laderas y relaves.

Para este fin se identificará la presencia de sulfuros metálicos generadores de drenajes ácidos y otros minerales generadores de drenajes alcalinos. También, se realizará la caracterización geoquímica de los minerales, específicamente aquellos que

contengan elementos geogénicos o antropogénicos considerados tóxicos y contaminantes como cobre, zinc, cadmio, plomo, mercurio, arsénico, antimonio, bismuto, cromo, telurio, bario y cianuro. Teniendo en cuenta que el estado del arte ha estado enfocado en evaluar la presencia de mercurio en agua, sedimentos activos, biota y salud pública, resulta apropiado estudiar la presencia de este metal en los residuos sólidos en áreas intervenidas por la actividad minera.

Con base en la información recolectada, se realizará el diagnóstico de los procesos unitarios de beneficio que se llevan a cabo en las zonas de explotación. Se darán recomendaciones para mejorar el aprovechamiento del mineral, especialmente donde prevalece el uso de mercurio, optimizar el consumo de reactivos y tamaño de partícula. Se propondrán procesos de tecnologías limpias que puedan reemplazar los métodos usados en la actualidad. Desde el punto de vista económico, se caracterizan los pasivos ambientales mineros para identificar la existencia de minerales potencialmente aprovechables en aspectos como la comercialización, transición energética y economía circular. Para esto, se propone la implementación de diferentes técnicas instrumentales y analíticas.

La caracterización integral de los pasivos permitirá plantear estrategias de aprovechamiento, remediación, mitigación y disminución de los impactos ambientales para la rehabilitación de las áreas intervenidas. Todo esto sustentado en información ambiental, geológica y metalúrgica, y enfocado en mejorar las condiciones de la comunidad y el medioambiente a partir de la aplicación directa del conocimiento científico y técnico de personal con alto nivel de formación y equipos de tecnología de punta al servicio de las comunidades y el ambiente.

→ Producto e indicador componente 1.3:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Documentos de lineamientos técnicos	18	21	27	33

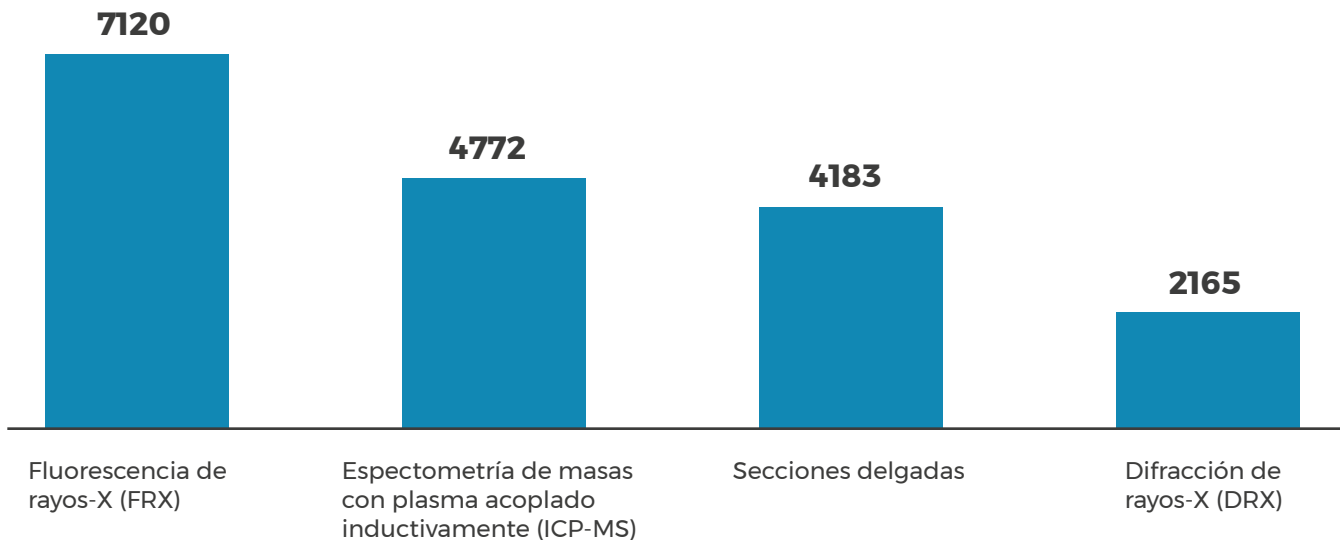
Proyecto 2. Fortalecimiento de la competencia técnica y red de laboratorios

Generar información sobre los recursos del suelo, subsuelo y agua es fundamental para conocer el territorio, sus potencialidades y restricciones. El conocimiento y uso responsable de sus componentes contribuye significativamente a contrarrestar el cambio climático, al estudio del ciclo del agua y del carbono, a la seguridad alimentaria, y a la identificación y gestión de los riesgos geológicos y geoquímicos. Por tal motivo, los estudios de investigación y caracterización de materiales

de interés geológico son indispensables para adquirir conocimiento del territorio que, a su vez, se ve reflejado en un uso adecuado del mismo. El componente de caracterización geocientífica cumple un papel protagónico, debido a que se debe garantizar la confiabilidad y calidad de los datos analíticos e implementar nuevas metodologías que permitan ampliar el conocimiento del territorio nacional.

En la figura 8, se muestran las técnicas analíticas solicitadas con mayor frecuencia entre 2018 y 2022 para el desarrollo de los proyectos institucionales. La entidad cuenta con diversidad de equipos ana-

→ Figura 8. Número de análisis de laboratorio (2018-2022)



líticos robustos y metodologías implementadas en sus laboratorios: i) metodologías para análisis cualitativos y cuantitativos de fases cristalinas en rocas, suelos y sedimentos, y el estudio actual de materiales arcillosos; ii) metodologías para análisis multielemental de trazas y ultratrazas en diversas matrices geológicas y cuantificación de tierras raras; iii) metodologías para la determinación de la huella digital de minerales; iv) metodologías para el análisis multielemental de mayores y menores concentraciones en rocas, suelos y sedimentos; y v) metodologías de secciones delgadas y pulidas que son utilizadas en estudios petrográficos, entre otros. Frente a lo anterior, se requiere avanzar en establecer las capacidades analíticas

de los laboratorios, con el fin de orientar la caracterización de materiales geológicos para la generación de conocimiento geocientífico con énfasis en los componentes ambiental y social. De esta manera, se hace un aporte a los planes y proyectos institucionales en la determinación de muestras geológicas, principalmente en la especiación de elementos potencialmente peligrosos (mercurio y arsénico); en la determinación de elementos de tierras raras en diferentes matrices; y en el fortalecimiento de la caracterización de la matriz agua, con mejora de los límites de detección y cuantificación. Se proyecta fortalecer la capacidad analítica de los laboratorios; la implementación y acreditación de nuevos métodos de ensayo, para atender las nece-

sidades de la entidad mediante la elaboración de informes de validación de metodologías analíticas; y la estructuración de una red de laboratorios de conocimiento geocientífico con la participación de universidades nacionales.

Adicionalmente, se espera dar continuidad al diseño, creación e implementación de metodologías que permitan ampliar la capacidad analítica institucional. Para ello, es necesario seguir fortaleciendo la capacidad tecnológica a partir de la modernización y robustecimiento de equipos. Además, mejorar la infraestructura de los laboratorios de modo que permita dar respuesta a necesidades de información geocientífica tales como determinación en fase gaseosa y líquida de algunas especies químicas de interés, relevantes para los avances en los proyectos que realizará el SGC. Además, se requiere robustecer los procesos de acreditación para garantizar la calidad analítica de los datos generados en los laboratorios y así contribuir en la toma de decisiones de proyectos de interés nacional. Actualmente, las tres metodologías analíticas acreditadas se enfocan en la caracterización de mercurio en diversas matrices (rocas, suelos, sedimentos y carbones) y aniones en aguas de origen volcánico. Este proyecto comprende tres componentes: i) caracterización de materiales del subsuelo, suelo y agua e implementación de nuevas metodologías analíticas; ii) estudios de movilidad química y especiación de elementos potencialmente peligrosos; y iii) consolidación de la Red de Laboratorios de Caracterización de Materiales de Interés Geológico.

| Componente 2.1.

Caracterización de materiales del subsuelo, suelo y agua e implementación de nuevas metodologías analíticas

La caracterización geoquímica y geotécnica es una actividad transversal que es requerida para el desarrollo de gran parte de los proyectos institucionales y de cooperación interadministrativa. Obtener conocimiento detallado de la composición y el comportamiento y respuesta geomecánica de los suelos y rocas presentes en el territorio ayuda a la comprensión de las limitaciones para el uso del subsuelo, suelo y agua, su interrelación, sus aplicaciones y sus usos responsables. Entender que el

comportamiento de los materiales geológicos es producto de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas permitirá que se haga un uso responsable de los mismos y contribuirá al conocimiento del territorio. Este conocimiento aporta significativamente a entender las complejas interrelaciones entre los elementos naturales y a mitigar el cambio climático desde enfoques multidisciplinarios, al estudio del ciclo del agua y del carbono, a la seguridad alimentaria y a la identificación y gestión de los riesgos geológicos, así como al desarrollo sostenible de los territorios en un equilibrio entre desarrollo de obras y estabilidad de los territorios que incluyen suelo y subsuelo.

Para adelantar los estudios de caracterización de materiales de interés geológico se requiere realizar investigación en el área estratégica de la caracterización de materiales desde lo microestructural hasta su macroestructura. El mejoramiento continuo de las metodologías de ensayo favorece la determinación y cuantificación de elementos, minerales, iones y demás analitos de interés nacional en lo microestructural, hasta el conocimiento de correlaciones geomecánicas acordes con los materiales geológicos propios del territorio colombiano, enmarcados en la misionalidad del SGC.

| Componente 2.2.

Estudios de movilidad química y especiación de elementos potencialmente peligrosos

La presencia de elementos potencialmente peligrosos (EPP) en el ambiente puede ser de origen geogénico o antropogénico. Los elementos de origen geogénico proceden de la roca madre, de actividad volcánica, o de la lixiviación de mineralizaciones. Los EPP antropogénicos derivan de residuos procedentes de actividades industriales, minería, industria agrícola y residuos sólidos urbanos.

Los EPP de origen antropogénico se distribuyen en el suelo entre los componentes de la fase sólida. Dicha distribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones, que están determinadas por la movilidad, toxicidad y biodisponibilidad de los elementos y sus especies, así como también de las propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo.

Los EPP en el ambiente representan una alteración a los diferentes ecosistemas debido a su toxicidad sobre la biota y una amenaza sobre la salud humana, que depende de su concentración, movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema, así como también de su potencial de lixiviación hacia aguas subterráneas y cuerpos de agua superficial.

| Componente 2.3. Consolidación de la Red de Laboratorios Geocientíficos

Restablecer la red nacional de laboratorios nacionales que generan conocimiento geocientífico es fundamental para responder eficientemente con las necesidades del país.

Este proceso partirá de la generación de una base de datos de universidades, laboratorios y grupos de investigación que trabajan por la geociencia en Colombia con el fin de revisar capacidades analíticas e intereses comunes que propendan al fortalecimiento de quienes voluntariamente deseen formar parte de la Red. Como objetivos prioritarios se destaca fortalecer la capacidad

analítica nacional y capacidad de respuesta, prestar servicios especializados de alta calidad según requerimientos de proyectos de interés nacional enfocados en la generación de conocimiento geocientífico, y proponer y desarrollar proyectos de investigación articulados con los lineamientos nacionales de transición energética justa, ordenamiento del territorio alrededor del agua, seguridad alimentaria y cambio climático.

El fortalecimiento de laboratorios es imprescindible para el avance en ciencia, tecnología e innovación a fin de generar información transversal requerida por el SGC en el marco de su misionalidad. Para esto es importante: i) consolidar la Red; ii) adquirir equipos analíticos; y iii) reforzar el sistema de gestión de calidad en los ensayos que se encuentran en el portafolio de servicios (actualmente se ofertan 131 ensayos en la Dirección de Laboratorios). Esto último permite la entrega continua de informes técnicos de resultados en el marco de la norma ISO 17025, realizados según las necesidades del SGC, y, por consiguiente, un mayor número de ensayos acreditados, tal como se puede observar en la tabla de indicadores del proyecto 2.

→ Producto e indicador proyecto 2:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Documentos de lineamientos técnicos	131	141	148	151
Acreditación de métodos de ensayo	3	6	10	12
Consolidación de la Red Nacional de Laboratorios de Geociencias	0	1	no aplica	no aplica



Proceso de implementación del laboratorio en dataciones U-Th/He para estudiar eventos de baja temperatura como exhumación, evolución del paisaje y procesos de sedimentación superficiales.

Proyecto 3. Determinación de las características de los minerales presentes en el territorio, su génesis, metalogénesis, su firma y huella geoquímica, así como su distribución espacial

Este proyecto tiene como propósito la investigación en minerales como elementos constitutivos y determinantes de los ecosistemas de los que somos parte y que nos sustentan. Por este motivo, identificar, conocer y caracterizar los minerales es parte fundamental de la comprensión de nuestra interacción con el medio en el que vivimos, de cómo éste influye en nuestro bienestar y de cómo podemos aprovecharlo de manera responsable. No es posible entender y tomar decisiones sobre el uso adecuado del territorio sin haber identificado y comprendido las dinámicas de sus constituyentes: los minerales.

La identificación y caracterización de los minerales comprende el estudio de sus propiedades físicas y químicas, distribución espacial en el territorio, génesis, asociación con otros minerales y transformaciones naturales y antropogénicas. Esto permite determinar su aplicabilidad, potencialidad, trazabilidad, peligrosidad y el modo de relacionarse con nuestras vidas y ecosistemas, contribuyendo a que el Estado colombiano cuente con herramientas técnicas para gestionar sus recursos minerales, y controlar y recibir las compensaciones que corresponden por su aprovechamiento por parte de terceros.

Adicionalmente, el estudio de asociación entre minerales y su contexto genético permite determinar el potencial de minerales estratégicos e identificar amenazas geoambientales relacionadas que sirven como insumo para el ordenamiento territorial, la gestión ambiental y el planteamiento de estrategias de aprovechamiento responsable o preservación de los recursos minerales.

Parte del planteamiento de un ordenamiento territorial armónico con el ambiente, el desarrollo sostenible y el bienestar social a largo plazo, puede relacionarse con el cumplimiento de acuerdos internacionales, como el Convenio de Minamata, de relevancia para el bienestar planetario. A través de la realización de estudios relacionados con herramientas de trazabilidad de uso de mercurio, el SGC participa en procesos de beneficio de oro, desarrollo de

alternativas para la erradicación del uso de mercurio en labores mineras de pequeña escala, mercurio en carbón y de emisiones de este elemento producto de la quema del carbón.

Este proyecto comprende tres componentes: i) investigación en huella digital de minerales, ii) investigación en metalogenia e iii) investigación en minerales de meteorización, los cuales se describen a continuación:

| Componente 3.1. Investigación de huella digital de minerales

La investigación en huella digital de minerales permite definir el ensamblaje elemental característico de los minerales según su lugar de origen, el ambiente geológico en el que se formaron, sus asociaciones minerales, su posterior proceso de beneficio y, en ese sentido, establecer su posible proveniencia. Esta caracterización puede contribuir a la gestión del riesgo geoambiental y al aprovechamiento responsable del suelo. A su vez, esta información puede favorecer la fiscalización minera, la trazabilidad comercial mineral, el control de uso de mercurio en los procesos de beneficio, la identificación de elementos potencialmente peligrosos para el ambiente y la salud humana, así como la gestión de riesgo a partir de la identificación de proveniencia de materiales de interés. En esta línea de investigación se busca definir la huella mineral del oro, un tema de interés para el país, ya que para el año 2018 se reveló que el 57 % de las áreas de explotación de oro correspondían a áreas sin ningún permiso de explotación minera (Rojas Hayes, 2019). Según la Procuraduría General de la Nación, Colombia se referencia como el mayor emisor de mercurio per cápita y el tercer país que más contamina con este mineral en el mundo. La identificación de la proveniencia del oro puede ayudar a identificar si el oro comercializado ha sido o no procesado con mercurio.

Teniendo en cuenta lo antes expuesto, el SGC ha avanzado en la instalación de la infraestructura analítica e informática, así como en la definición y validación de la metodología para el análisis de la huella digital de oro. Además, el SGC ha incrementado el conocimiento mineralógico, metalogénico y metalúrgico de depósitos y plantas de beneficio

de oro de once distritos de este metal en el territorio nacional: Tesalia-Aipe (Huila), La Llanada (Nariño), Marmato (Caldas), Buenos Aires-El Tambo (Cauca), Istmina (Chocó), Lobas, Mojana Bolivarense (Bolívar), Segovia-Remedios, Puerto Berrío-Puerto Nare (Antioquia), Ataco-Payandé (Tolima) y California (Santander). De estos estudios, se han podido identificar huellas para dos distritos (Bue-

nos Aires-El Tambo y Marmato) con certidumbres superiores al 80 % en todos los casos.

Adicionalmente, se pretende trabajar en la identificación del uso de mercurio en procesos de beneficio de oro, tanto en muestras amalgamadas como en las mismas posteriormente refinadas, para poder comprobar el uso de este elemento prohibido y la posible procedencia de oro sin formalizar.

→ Producto e indicador componente 3.1:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Validación e implementación del método de caracterización de huella digital de minerales	50 %	100 %	No aplica	No aplica
Distritos mineros con definición y caracterización de la huella digital de oro	2	12	15	18

| Componente 3.2. Investigación en metalogenia

La metalogenia estudia la génesis de los depósitos minerales (metálicos y no metálicos) con énfasis en sus relaciones espaciales y temporales con los rasgos geológicos regionales. Así, los procesos geológicos responsables de la acumulación de minerales en depósitos son investigados como procesos metalogénicos. En este sentido, las acumulaciones minerales se consideran matrices que contienen más de un metal o mineral de interés y, por lo tanto, la investigación se enfoca en el conocimiento metalogénico integral de los depósitos minerales: el análisis de sistemas minerales.

La investigación de los procesos metalogénicos requiere la compilación, organización y síntesis, a diferentes niveles de detalle, de información tectónica, estructural, litoestratigráfica, geocronológica, geoquímica, geofísica, metalogénica, petrográfica y mineralógica, y busca representar la distribución espacial y temporal de los depósitos minerales en mapas regionales y locales. Los estudios metalogénicos, sintetizados en mapas, son fundamentales para conocer el potencial de cada territorio para

albergar minerales. Además, son la base para identificar zonas prospectivas para minerales y para evaluación de potencial mineral.

También, el conocimiento metalogénico permite identificar la interacción entre los minerales con el medio natural del territorio colombiano, lo que incluye posibles impactos en el ambiente, la salud, entre otros. Es decir, la comprensión integral de los minerales, obtenida a partir de la metalogenia, es fundamental para evaluar la estabilidad de los minerales extraídos de depósitos, al ser expuestos al agua superficial y al oxígeno del aire, o al ser manipulados en procesos de beneficio. Este conocimiento es crucial para estimar los posibles efectos sobre el medio ambiente, como la liberación de metales pesados o elementos potencialmente peligrosos (EPP), generación de desechos mineros y/o los posibles impactos negativos sobre el agua, el suelo y la biota.

La información metalogénica, compilada e interpretada por el SGC, ha servido de fundamento para la definición de minerales estratégicos, la evaluación de potencial mineral de 32 áreas definidas de manera conjunta con la autoridad minera nacional y la construcción del Mapa Metalogénico de Lati-

noamérica, y se espera que sea un punto de partida para la caracterización y aprovechamiento de relaciones en términos de economía circular. Por otro lado, el SGC ha avanzado en la compilación y adquisición de información primaria y secundaria (9100 depósitos y ocurrencias) de oro, cobre, carbón, fosfatos, cobre y uranio, que ha permitido identificar, describir y clasificar los diferentes tipos de depósitos de estos minerales e interpretar la génesis de algunos de ellos. La clasificación detallada de los depósitos minerales permite además suponer las matrices de minerales/metales específicas para cada uno de ellos y con esto la posibilidad de aprovechamiento de subproductos o coproductos.

La información sobre minerales recopilada, normalizada e interpretada, también permite

mostrar a escala regional la distribución espacial y temporal de éstos, como se ha registrado en las versiones 2016, 2018, 2020 y 2022 del Mapa Metalogénico de Colombia a escala 1:1.500.000. Tanto los mapas como sus respectivas memorias explicativas han sido un insumo importante para usuarios internos y externos al SGC. A través de la investigación metalogénica, se avanza en el conocimiento de los recursos minerales del país, que es un insumo indispensable para la toma de decisiones en el orden nacional y local sobre aprovechamiento o preservación de este recurso natural. Además, es relevante ante la creciente demanda de recursos minerales necesarios para la transición energética justa, la seguridad alimentaria y la infraestructura crítica.

➔ **Producto e indicador componente 3.2:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Nuevas actualizaciones del Mapa Metalogénico de Colombia	0	1	1	0

| Componente 3.3.
Investigación en minerales de meteorización

Este componente proporciona entendimiento sobre cómo los factores geológicos, climáticos y biológicos interactúan para dar forma al paisaje y determinar los ecosistemas terrestres y, por ende, las herramientas para predecir la transformación de nuestro entorno natural, tanto a partir de procesos naturales, como de actividades antrópicas, con el fin de tomar decisiones y acciones para la mitigación de las afectaciones, fomentar el aprovechamiento responsable de los recursos y la conservación del patrimonio, y procurar el bienestar y servicios ecosistémicos.

Para lograr ese propósito, se pretende abordar investigaciones en procesos de meteorización, de formación e hidrogeoquímica de suelos, de procedencia y de transformación de las propiedades

geomecánicas de las rocas sometidas a procesos meteóricos. Esta línea de investigación estará soportada por estudios mineralógicos, geoquímicos, geocronológicos, geotécnicos, geomorfológicos, estratigráficos, neotectónicos, vulcanológicos, de sensores remotos, entre otros. Adicionalmente, se implementará la construcción de bases de datos que permitan realizar análisis estadísticos multivariados y tener información estructurada, tanto para modelación numérica de los fenómenos anteriormente mencionados, como para el desarrollo de herramientas de aprendizaje automatizado.

Estos estudios se realizan con el objetivo de soportar la toma de decisiones para el ordenamiento territorial, la gestión ambiental, del riesgo y de recursos del subsuelo.

Asimismo, la transformación antropogénica de los minerales, a través de procesos de beneficio, posibilita su aprovechamiento y genera, a su vez, dinámicas de movilización de elementos potencialmente peli-

grosos como arsénico, plomo, antimonio y cadmio, que también constituyen una amenaza ambiental que se dispersa en diferentes medios a partir de la

fuente. De acuerdo con lo anterior, se espera disponer, por primera vez, de informes técnicos que permitan profundizar en esta temática.

→ **Producto e indicador componente 3.3:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Informe de estudio de tefrocronología y procesos de meteorización con desarrollo de metodología y exposición de implicaciones ambientales y en gestión de riesgo	0	2	5	8

Programa 8. Investigación en minerales para la toma de decisiones sobre su aprovechamiento responsable desde un enfoque de seguridad alimentaria, gestión ambiental, salud pública, industrialización e infraestructura

Proyecto 1. Determinación de potencial mineral y riesgos geoambientales asociados con minerales estratégicos, críticos y de importancia ambiental

Este proyecto tiene como objetivo definir y caracterizar: i) la posibilidad del aprovechamiento mineral responsable o su preservación y ii) las interacciones de los minerales con la salud humana y el equilibrio ecosistémico.

El primer objetivo consiste en la evaluación del potencial mineral, que tiene como propósito categorizar la probabilidad, conceptualmente estimada, de la existencia de sistemas minerales que posibilitan la acumulación de minerales en el territorio nacional, de acuerdo con los requerimientos y las necesidades del país, y de que éstos tengan la posibilidad de ser o no ser aprovechados de manera rentable y socioambientalmente manejable. Los minerales sobre los que se enfoca la evaluación de potencial son aquellos definidos como estratégicos por la (ANM) para la transición energética justa, industrialización, seguridad alimentaria, desarrollo de la infraestructura crítica, asociatividad y autoabastecimiento para las cadenas productivas o de otros minerales de interés de acuerdo con los requerimientos y nece-

sidades del país. Esto implica que las evaluaciones de potencial consideran aspectos socioambientales determinantes para la toma de decisiones sobre la conveniencia de una potencial extracción y aprovechamiento de dichos sistemas minerales, para el bienestar de las comunidades y ecosistemas; es decir, tienen una perspectiva integral.

El segundo objetivo comprende dos (2) componentes: i) evaluación de riesgo a la salud y al ambiente por exposición, en exceso o en déficit, a minerales y elementos químicos de interés para la salud y los ecosistemas; ii) documentación de métodos y procedimientos para realizar pruebas de *mitigación de riesgo* en laboratorio e *in situ*. El propósito de estos componentes es proveer información geocientífica a las autoridades competentes para la identificación, monitoreo y gestión de dichos riesgos.

| Componente 1.1. Evaluación del potencial mineral

De acuerdo con el artículo 229 del PND 2022-2026 y continuando con el artículo 20 de la Ley 1753 de 2015, este proyecto busca avanzar en el conocimiento geocientífico sobre recursos minerales a partir de la determinación y evaluación del potencial mineral

en áreas definidas por la autoridad minera nacional y de acuerdo con los requerimientos y las necesidades del país. La evaluación de potencial mineral consiste en la integración de la información geocientífica y de un método de prospección para determinar la favorabilidad de un área para albergar un sistema mineral con acumulación de minerales de interés. La integración de información geocientífica se refiere a información secundaria (registrada en estudios anteriores, en bases de datos, en banco de información minera, entre otras fuentes) y primaria (información tomada en campo, análisis de muestras en laboratorios y generación de informe técnico).

Desde hace más de una década, el Gobierno nacional vio la necesidad de establecer una política de reducción en los costos de producción en la agricultura y así incrementar la competitividad de las actividades agropecuarias. Uno de los rubros que más pesan en los costos de producción es el de los fertilizantes que el país tiene que importar, a lo que se suma el incremento en la demanda de alimentos. De acuerdo con Grand View Research (2022), se proyecta un crecimiento en la demanda de roca fosfórica del 26,2 %, pasando de 211 millones de toneladas en el año 2022 a 266,4 millones de toneladas en 2030. De acuerdo con Rueda et al. (2023), Colombia importó 58.158 toneladas de roca fosfórica; 5041 toneladas de potasio y 229 toneladas de magnesita, en 2021. De los cerca de 2 millones de toneladas de fertilizantes que necesita el país, solo se producen localmente alrededor del 5 % y el resto se debe importar, por lo cual, en 2009, el Gobierno nacional expidió el documento CONPES 3577 con el objeto de reducir dichos costos mediante su producción nacional, lo que implica que el país debe explorar y aprovechar las materias primas necesarias para su producción y comercialización interna dentro de las cuales están los minerales de fósforo y potasio, objeto de la investigación propuesta en minerales para la seguridad alimentaria.

Los datos de solubilidad cobran importancia en la efectividad agronómica relativa de la roca fosfórica para la aplicación directa al suelo, además, de las propiedades de los suelos y el tipo de cultivo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organismo Internacional de Energía Atómica, 2007). Para el caso de Colombia, los datos de solubilidad de las rocas fosfóricas son

escasos. Castro y Melgar (2005) reportan una reactividad media con un 3,5 % de P_2O_5 soluble en citrato de amonio neutro, para una muestra localizada en el departamento del Huila.

Con el fin de determinar la efectividad agronómica relativa de las rocas fosfáticas es necesario implementar los ensayos de solubilidad.

Además de las técnicas convencionales, el radioisótopo ^{32}P se ha empleado como trazador para obtener información cuantitativa y precisa sobre la dinámica del fósforo en el suelo cuando se modifica con rocas fosfóricas y fertilizantes de fósforo solubles en agua (^{32}P intercambio isotópico cinemático) (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2002). Por tanto, el SGC contempla la implementación de estas técnicas a través de la dirección de Asuntos Nucleares.

Con relación a la demanda de minerales para la transición energética justa, de acuerdo con Arrobas et al. (2017) se estima que: i) para lograr un escenario de máximo 2 °C en calentamiento global se requiere entre un 255 y 300 % más de cobre que lo requerido en 2017. De modo similar, la Agencia Internacional de Energía (2021) estima que la expansión de las redes eléctricas en Colombia implica que se duplique la demanda de cobre hasta el 2040; ii) se requiere entre 240 y 1150 % más de níquel para el mismo escenario de calentamiento global considerado en el punto anterior; iii) en cobalto se estima un incremento de cerca de 1150 % para el mismo escenario y la Agencia Internacional de Energía (2020) proyecta un crecimiento de la demanda de alrededor 21 veces en el escenario de desarrollo sostenible hasta 2040; iv) en elementos de tierras raras, la estimación de incremento de la demanda es de alrededor del 240 % y de la Agencia Internacional de Energía (2020), de 3 a 7 veces mayor que la del 2020.

En el Plan Plurianual de Inversiones del PND 2022-2026, ítem “Inversiones Estratégicas Nacionales”, numeral 6: “Intervención de la infraestructura regional (vías secundarias, terciarias, muelles y aeródromos) mediante circuitos estratégicos que permiten la conectividad, convergencia regional y adaptabilidad climática”, se contempla la realización de obras de infraestructura a nivel regional o departamental, que abarcan todo el país y que incluyen vías departamentales (secundarias) y municipales (terciarias). Frente a lo anterior, se requerirá la identificación de

zonas o pasivos ambientales con potencial para el aprovechamiento de materiales de construcción en el territorio y del incentivo de su explotación responsable. Con relación al contexto de incremento de la demanda mundial de materiales de construcción, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2019) estima que se alcanzaría una demanda de hasta 55.000 millones de toneladas en 2060. En el ámbito nacional, Rueda et al. (2023) reportan la importación de 9280 toneladas de arenas gravas silíceas en 2021 y se estima un incremento en su demanda.

Adicionalmente, se pretende avanzar en la investigación sobre el potencial de rocas y minerales presentes en el territorio nacional como almacenas de gases con efecto invernadero o hidrógeno, contribuyendo a las metas de cambio climático propuestas en el PND 2022-2026. Esta investigación es importante para el país debido a varias razones. Por un lado, el dióxido de carbono (CO_2), principal responsable del calentamiento global, ha tenido un incremento de su concentración atmosférica en cerca del 50 %, con relación a los niveles preindustriales, i.e. de cerca de 280 a 413 partes por millón (ppm). Sumado a esto, el gas metano se considera un gas de efecto invernadero 21 veces más potente que el CO_2 , y el monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno tienen un potencial de calentamiento global de 310 veces más que el CO_2 y son perjudiciales para la salud de las personas. Adicionalmente, de acuerdo con la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable de Estados Unidos de América (s.f.), el hidrógeno con 120 MJ/kg posee alrededor de tres veces la cantidad de energía que la gasolina 44 MJ/kg. El aprovechamiento de esta capacidad energética representa, a su vez, un reto sobre el modo de almacenamiento estacionario y portátil del hidrógeno que se pueda generar o extraer para el suministro energético.

De acuerdo con el contexto anteriormente expuesto, el SGC ha incrementado el conocimiento geocientífico sobre el potencial mineral en diferentes zonas del país para minerales estratégicos (Resolución 180241 de 2012 del Ministerio de Minas y Energía), que ha servido para la delimitación y declaración de áreas de reserva estratégica minera, con miras al fortalecimiento de proyectos asociativos, incluidos los proyectos de políticas de for-

malización minera. Se han elaborado 32 informes de evaluación de potencial mineral de acuerdo con las metas del PND, del Sistema Nacional de Evaluación de Gestión y Resultados (Sinergia), definidas para el sector Minas y Energía desde 2019 y que, en suma, corresponden a menos del 1% del territorio nacional. En el periodo entre 2012 y 2017, se avanzó en la recolección de información geocientífica de 18 zonas que sirvió de base para la evaluación de potencial de 45 bloques y el establecimiento de “Áreas Estratégicas Mineras”. En el marco de las actuales metas Sinergia, para el periodo 2022-2026, se establece: treinta (30) evaluaciones de potencial de minerales estratégicos para la asignación de zonas reservadas con potencial (ZRP) alto por parte de la ANM. Adicionalmente, para el resto del decenio, i.e. para el periodo 2027 al 2032, se propone una meta de 40 evaluaciones de potencial mineral adicionales.

Dentro de los informes de evaluación de potencial de minerales estratégicos, se lleva a cabo, adicionalmente, una identificación de amenazas de carácter geoquímico. Es decir, se identifica la presencia de elementos potencialmente peligrosos que, dada su concentración y las fases minerales a la que podrían estar asociadas, podrían representar un peligro para los ecosistemas o salud humana que pudiesen estar expuestos a su movilización y dispersión ambiental.

Adicionalmente, el SGC ha realizado investigación y prospección de: i) caracterización y potencial de recursos de carbón; ii) contenidos de gas metano asociado al carbón en 10 áreas ubicadas en Cundinamarca, Boyacá, Santander y Norte de Santander, y iii) elementos de tierras raras en carbón y asociadas a depósitos de uranio. Se han identificado y caracterizado las 12 zonas carboníferas de Colombia y se realizó la publicación del libro *El carbón colombiano*. Asimismo se han desarrollado estudios para determinar los contenidos de mercurio presentes en los carbones del centro del país. Subsecuente y paralelamente, se ha llevado a cabo la recopilación bibliográfica sobre caracterización de rocas para almacenamiento de gases efecto invernadero y se han realizado pruebas preliminares para determinar la capacidad de adsorción de CO_2 y metano en diferentes tipos de rocas. Desde 2012 y hasta la

fecha se ha hecho investigación detallada de minerales para la seguridad alimentaria sobre fósforo, magnesio y potasio en Boyacá, Huila, Tolima, Cauca y Santander.

En cuanto a investigación relacionada con materiales de construcción, se cuenta con estudios de reconocimiento del estado e impactos ambientales de la minería, así como prospección sistemática y zonificación de su calidad en la sabana de Bogotá y alrededores, Medellín y alrededores, Cundinamarca, Boyacá, Meta y Casanare. En 2021, se elaboró el diagnóstico geológico regional en los corredores viales contemplados en el documento CONPES 4010, “Compromiso por Colombia: programa vías para la legalidad y la reactivación, visión 2030”. En este documento se analizó la información geológica regional de unidades litoestratigráficas potenciales para materiales de construcción de 21 proyectos viales localizados en el territorio.

También habrá que extender la investigación de materiales de construcción a las zonas costeras, que a futuro serán las áreas más susceptibles al ascenso del nivel del mar debido al cambio climático y, probablemente, serán parcial y gradualmente inundadas por el mar. La posible necesidad de reubicación de estas poblaciones requerirá de la investigación en materiales de construcción en las cercanías de las mismas. Igualmente, será necesario continuar los estudios de materiales de construcción en todo el territorio colombiano para garantizar el suministro de gravas, arenas, arcillas y agregados pétreos para el mantenimiento, mejoramiento y nueva red vial primaria, secundaria y terciaria del país, así como para la reparación de infraestructura afectada por eventos catastróficos como terremotos, inundaciones, deslizamientos, erupciones volcánicas, etc.

→ Producto e indicador componente 1.1:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Áreas adicionales con evaluación de potencial para minerales estratégicos	0	30	30	15

| Componente 1.2.

Definir, documentar e implementar métodos, procesos y estándares de calidad para la evaluación de riesgos a la salud y al ambiente por exposición a elementos potencialmente peligrosos

Los riesgos a la salud y al ambiente por exposición en exceso o carencia a minerales y elementos potencialmente peligrosos (EPP) y de interés para la salud y el ambiente, constituyen un modo de relacionamiento entre los minerales, la salud humana y los ecosistemas. Dichos riesgos se asocian a la ocurrencia de concentraciones de elementos potencialmente peligrosos en niveles que representan peligrosidad por ser más altas que las potenciales dosis recomendadas en los diferentes medios de

exposición o, por ser más bajas de lo requerido en dichos medios.

Una de las mayores problemáticas ambientales que afectan la salud humana es la contaminación del suelo, no solo por la pérdida de productividad, sino por la exposición a contaminantes que se encuentran en el mismo. La degradación y contaminación del suelo es un problema de seguridad alimentaria y salud pública. El suelo tiene un carácter no renovable: la formación de una pulgada de suelo puede tomar entre 500 a 1000 años y de continuar la tasa de degradación y contaminación actual del suelo, la totalidad de la calidad del suelo del planeta se perdería en el año 2075. Se estima que la contaminación del suelo contribuye a más de 500.000 muertes prematuras cada año, especialmente en población vulnerable y con exposición crónica (Agencia Am-

biental Europea, 2022). El Programa Ambiental de la Organización de las Naciones Unidas estima que la degradación del suelo afecta cerca de 3200 millones de personas alrededor del mundo, i.e. cerca del 40 % de la población por reducción de la productividad del mismo. Más del 70 % de los contaminantes incrementan el riesgo de cáncer en seres humanos con exposición crónica y pueden afectar los sistemas respiratorio, inmunológico, reproductivo, cardiovascular y nervioso, la piel, el hígado o los riñones.

Los estudios realizados en el SGC enfocados en geoquímica ambiental y geología médica buscan: i) determinar la fuente, distribución, procesos de dispersión y acumulación de elementos químicos, de origen natural o antrópico que pueden llegar a causar daños al ambiente o a la salud (EPP); ii) entender y determinar las principales vías de exposición que pueden tener los seres vivos y el ambiente a estos elementos; iii) caracterizar y cuantificar el riesgo a la salud y al ambiente a causa de la exposición identificada.

Se han realizado estudios de geoquímica ambiental y geología médica relacionados con anomalías de flúor en Boyacá, Huila y Santander; arsénico en agua para consumo en Santa Rosa de Cabal; mercurio asociado al carbón en Boyacá, Santander y Cundinamarca; cadmio en suelos y en cacao en Santander y Cundinamarca; uranio

asociado a fosfatos y elementos potencialmente peligrosos relacionados con actividad minera en la cuenca del río Suratá, Santander.

Si bien estas investigaciones han permitido determinar zonas de acumulación de EPP (i.e., amenaza) y establecer correlaciones con datos de salud de las comunidades expuestas a los mismos, es necesario adelantar estudios adicionales, tanto de carácter geoquímico como de exposición, que permitan evaluar y cuantificar los riesgos a la salud y al ambiente generados.

De igual manera, y en concordancia con la Ley 2327 de 2023 sobre pasivos ambientales en Colombia, el SGC buscará fortalecer la gestión de estos pasivos, a través de la generación de información geocientífica en estas zonas, para determinar los elementos potencialmente peligrosos presentes y desarrollar metodologías para evaluar posibles vías de exposición.

Contar con estudios de riesgo a la salud por exposición a elementos nocivos para esta es un insumo para la toma de decisiones informadas, que permitan una adecuada planeación del ordenamiento del territorio, así como la gestión y proyección de actividades productivas (seguridad alimentaria, transición energética justa y desarrollo de infraestructura crítica) y aprovechamiento o preservación de la salud humana y del ambiente.

→ Producto e indicador componente 1.2:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Informe de evaluación riesgo geoambiental	0	3	6	8
Mapa zonificación riesgo geoambiental	0	3	6	8

| Componente 1.3.

Documentar métodos y procedimientos para realizar pruebas de mitigación de riesgo en laboratorio e *in situ*

La evaluación y cuantificación de los riesgos a la salud por exposición en exceso o carencia de ele-

mentos de interés para la salud derivados de los minerales, requiere proponer acciones de monitoreo y mitigación de estos. A partir de ensayos y pruebas, tanto en laboratorio como en campo, es posible determinar y generar información geoquímica para el tratamiento o remediación de suelos, aguas y otros medios contaminados. De manera comple-

mentaria, a partir de la información en salud y hábitos de vida, es posible proponer mecanismos de mitigación de riesgos a través de la modificación de los parámetros de exposición y vulnerabilidad de la población o ecosistemas expuestos.

El propósito de este componente es generar información geocientífica incluyendo, por ejemplo, propuestas metodológicas que permitan a las autoridades competentes implementar mecanismos de monitoreo o mitigación de riesgos a

la salud y al ambiente derivados de los minerales. Para lograr este propósito, es necesario realizar un trabajo interdisciplinario desde la geoquímica, la medicina y la parte socioambiental, que provea alternativas a las problemáticas ambientales del territorio nacional. Asimismo, esta información permitirá realizar una gestión y proyección adecuada de las actividades productivas y/o de aprovechamiento, que busque la preservación del ambiente y la salud humana.

➔ **Producto e indicador componente 1.3:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Informe de recomendación de mecanismos de mitigación de riesgo geoquímico	0	1	3	4



Toma de muestras de niveles finogranulares de la Formación San Jacinto (cerca de la vía El Carmen de Bolívar - Ovejas, Sucre) para obtener datos de edades de esta unidad geológica.

Programas habilitantes

Programa 1. Gestión institucional para una respuesta eficiente y oportuna a la ciudadanía

Proyecto 1. Gestión de la información geocientífica de la nación para su divulgación, acceso y uso mediante soluciones tecnológicas

La gestión de información tiene como objetivo garantizar la disponibilidad y difusión del conocimiento geocientífico generado por el SGC a los diferentes grupos de interés. El volumen de datos crece de manera constante y proviene de diversas fuentes, como los sensores de las redes de monitoreo vulcanológico, que proporcionan múltiples parámetros en tiempo real, así como la Red Sísmológica Nacional, la Red Nacional de Acelerógrafos y la Red de Información Geodinámica. A nivel de bloques de datos se encuentran los generados por los laboratorios de caracterización geoquímica y nuclear, los registros de información sísmica, de pozos y otras tipologías provenientes de las operaciones conjuntas con las agencias nacionales de hidrocarburos y de minería, de otras entidades y fuentes externas (estos bloques de datos pueden experimentar un incremento anual promedio de 980 TeraBytes [TB]). Todo esto implica desarrollar soluciones tecnológicas integrales que abarquen el ciclo de vida de datos e información, además de establecer políticas y lineamientos basados en mejores prácticas que aseguren el cumplimiento de la normativa en gestión de información.

Las investigaciones del SGC son el insumo fundamental para nutrir los servicios de información geocientífica y nuclear, que día a día responden a necesidades específicas de desarrollo de las comunidades y de las entidades territoriales y nacionales. El ciclo de vida de los datos se modeló como el proceso “Extremo - extremo del dato” con el fin de dar claridad y un ordenamiento consistente para la adecuada gestión de datos de la información geocientífica, el cual está constituido por cuatro fases: i) identificación y captura de información; ii) proce-

samiento de información; iii) estandarización, custodia y divulgación de información; y iv) suministro de información. Todas las actividades del proceso están soportadas e integradas por componentes tecnológicos y sistemas de información que permiten realizar validaciones temáticas, de completitud, simetría, sistematización, aseguramiento y presentación de información, establecidas por la entidad para ofrecer servicios y productos confiables y de óptima calidad. El proyecto tiene tres componentes: i) modernización tecnológica, gobierno de tecnología e innovación; ii) gestión de la información para la generación de conocimiento y su divulgación, y iii) divulgación de conocimiento.

| Componente 1.1.

Transformación tecnológica, gobierno de tecnología e innovación

La infraestructura tecnológica agrupa y organiza los elementos tecnológicos que soportan y apoyan el cumplimiento del quehacer institucional y este componente tiene como objetivo la modernización de la gestión estratégica de tecnologías de la información. Busca alinear de manera efectiva las soluciones tecnológicas y de innovación con los objetivos y metas de la organización. Esto permitirá optimizar los recursos disponibles y aprovechar al máximo las oportunidades que brinda la tecnología y la innovación, mediante el uso de tecnologías e innovaciones disruptivas.

Aunado a esto, es importante abordar el fortalecimiento del gobierno de tecnología, lo que asegura una gestión eficiente de los recursos, tanto en términos de infraestructura como de personal, y establece la gobernanza adecuada de los procesos relacionados. Un gobierno de tecnología sólido garantiza la toma de decisiones adecuadas, la gestión de riesgos y la optimización de los resultados obtenidos a través de la implementación de tecnologías

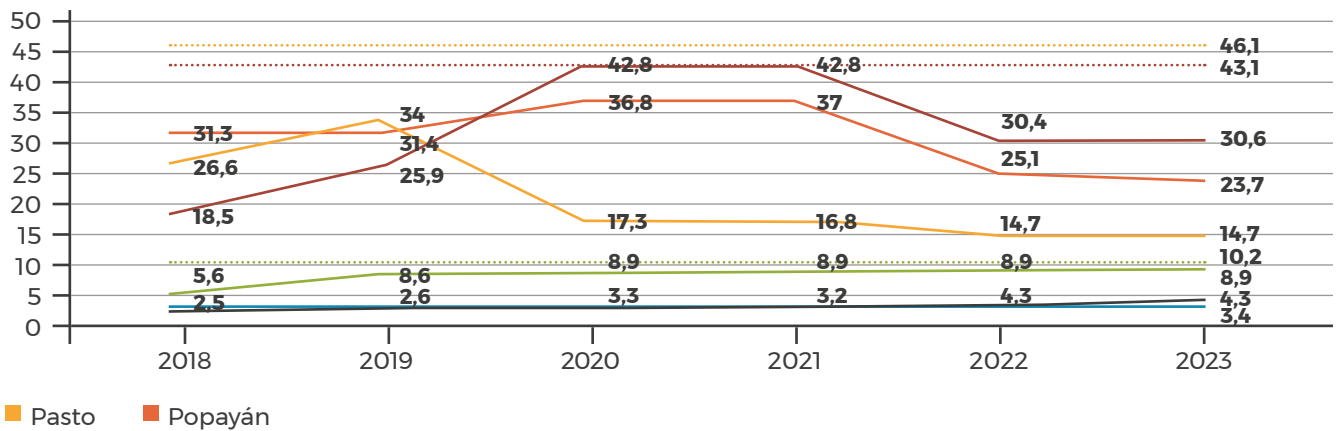
e innovación. De la misma manera, se debe proteger y preservar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de los datos e información del SGC frente a posibles amenazas y ataques cibernéticos.

Como eje transversal del quehacer institucional, en el SGC se dispone de una infraestructura tecnológica que consta de solución de almacenamiento y respaldo, servidores, bases de datos, ambientes de colaboración (sharepoint), redes y conectividad, redes eléctricas reguladas, cableado estructurado y telefonía, herramientas de colaboración (GSuite) y videoconferencias, parque tecnológico (equipos de escritorio y portátiles, estaciones de trabajo, impresoras multifuncionales) y equipo de soporte (mesa de ayuda).

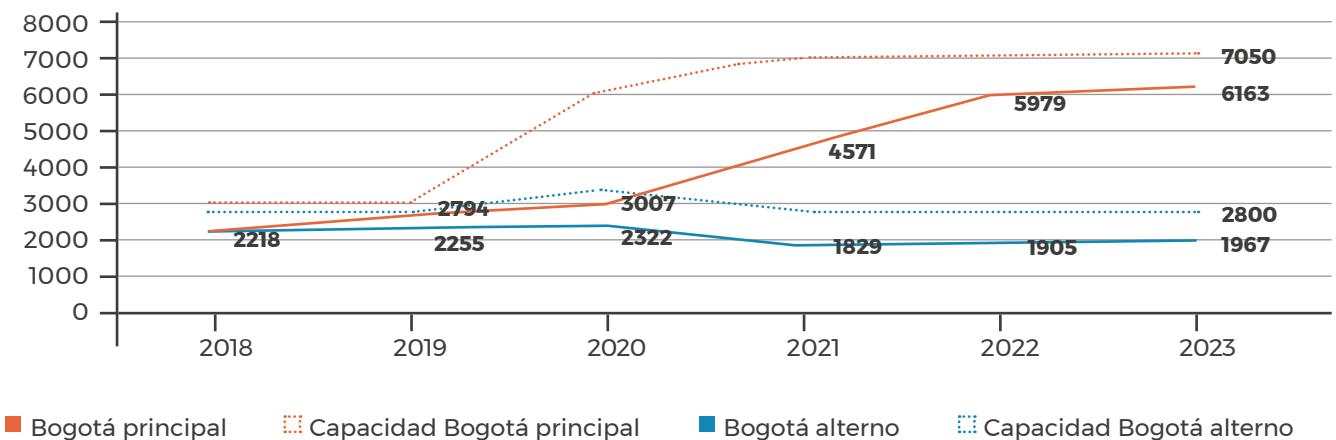
La información geocientífica que el SGC posee, custodia y gestiona debe estar disponible sin importar la fecha de creación. En tal sentido, desde hace varios años se han adquirido equipos de almacenamiento y respaldo, los cuales deben ser actualizados tecnológicamente y mantener con su soporte respectivo. En cuanto al almacenamiento institucional, se cuenta con dispositivos en cada sede donde se centra la información de los usuarios y del procesamiento en servidores (figura 9). Es importante mencionar que la información va a seguir creciendo de acuerdo con las investigaciones y proyectos que se aborden, con un incremento anual promedio de 980 TB, lo que hace necesario aumentar la capacidad de almacenamiento.

→ Figura 9. Almacenamiento de la información del Servicio Geológico Colombiano

Espacio utilizado regionales (TB)



Espacio utilizado Bogotá (TB)



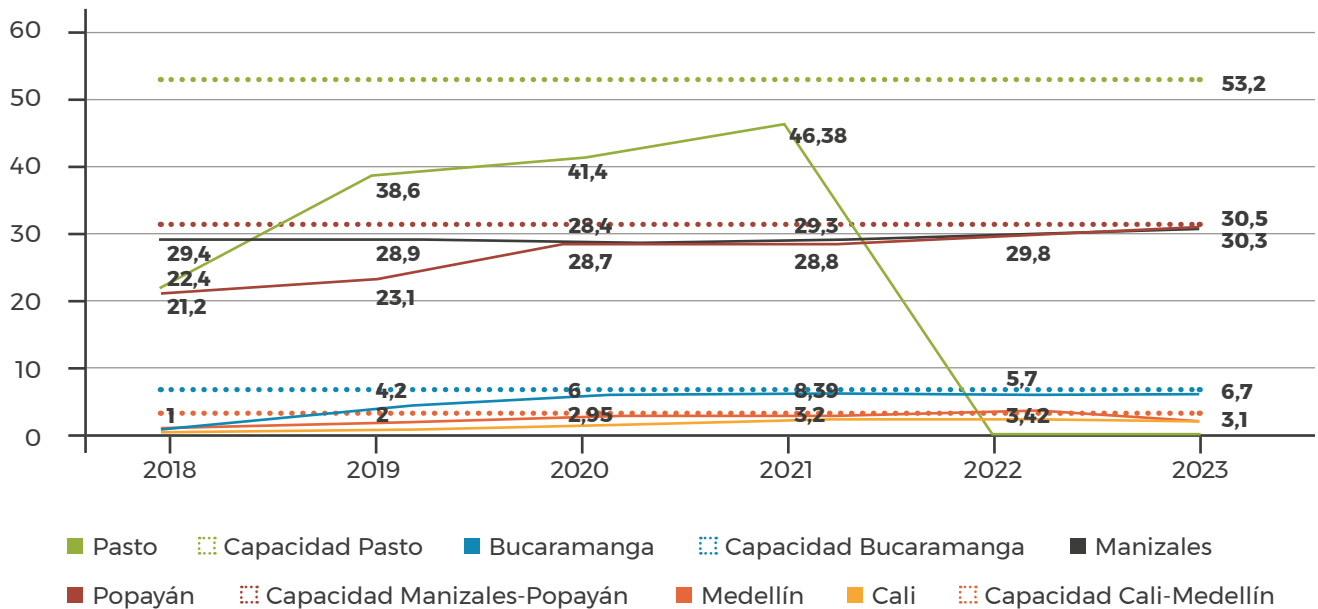
En lo concerniente a respaldo, a toda la información que está en los repositorios institucionales del SGC se le realizan copias de seguridad para recuperarla cuando así se requiera e , incluso, su tecnología permite que el espacio necesario sea

mucho menor que el que está en uso, optimizando así el recurso (figura 10).

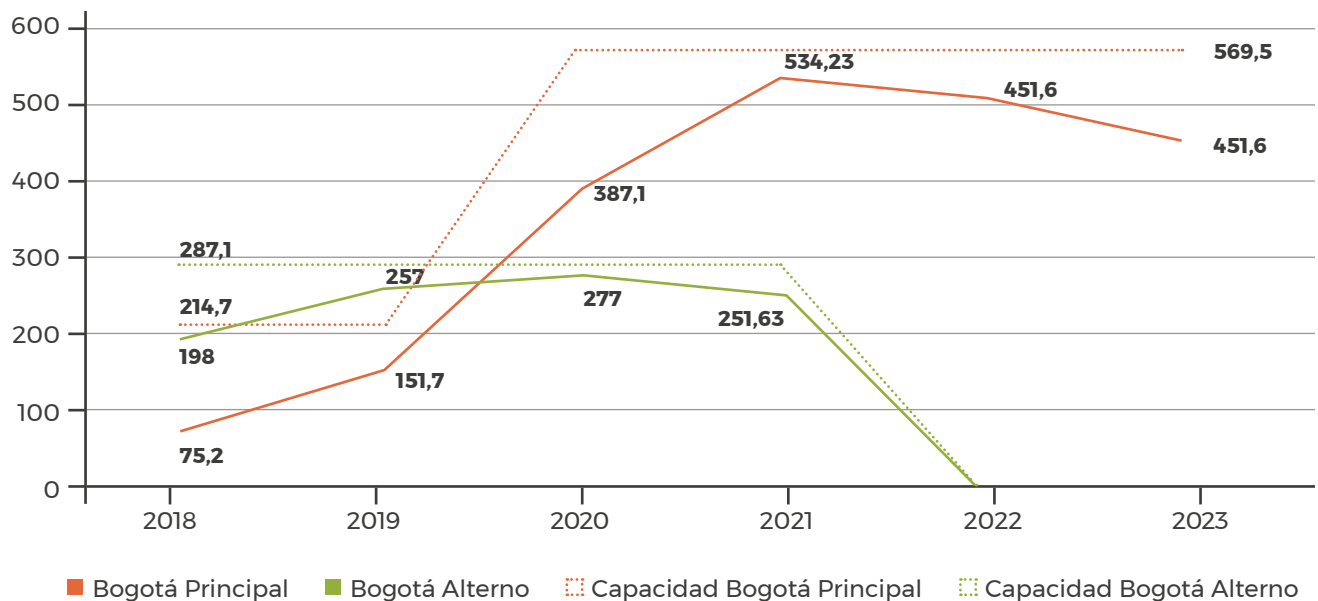
Dentro de los componentes tecnológicos se destacan los sistemas de información que a través de los años el SGC ha venido consolidando

→ Figura 10. Respaldo de la información del Servicio Geológico Colombiano

Espacio respaldo regionales (TB)



Espacio respaldo regionales (TB)



como componentes importantes para la gestión de los datos de diversas temáticas que requieren estructurar su información y consolidarla en bases de datos estructuradas y no estructuradas para su gestión, procesamiento, consolidación custodia, consulta y divulgación.

Otro aspecto a fortalecer consiste en proteger y preservar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de los datos e información del SGC frente a posibles amenazas y ataques cibernéticos. En un entorno digital cada vez más complejo y expuesto, es decisivo contar con medidas robustas de seguridad que aseguren la protección de la información sensible y crítica para la entidad. Entre otros, se requiere utilizar tecnologías avanzadas en ciberseguridad para prevenir, detectar y responder de manera efectiva a posibles incidentes; además, se promoverá la concientización y capacitación del personal en temas de

seguridad cibernética, fomentando buenas prácticas y un enfoque proactivo en la protección de los activos digitales.

A partir del fortalecimiento de la capacidad de la institución para enfrentar los desafíos y riesgos asociados a la ciberseguridad en el entorno digital actual, se busca garantizar la confianza y la tranquilidad de usuarios internos y externos que interactúan con los sistemas y servicios del SGC. En tal sentido, está orientado hacia la actualización y mantenimiento del modelo de seguridad y privacidad, contempla las herramientas que se implementan para robustecer la seguridad de la información con el ánimo de asegurar la protección de la información generada y procesada a través de computadoras, servidores, dispositivos móviles, redes y sistemas electrónicos y la privacidad de los datos de los ciudadanos y colaboradores de la entidad.

➔ **Producto e indicador componente 1.1:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Modernización e incremento de capacidades de operabilidad de la infraestructura tecnológica y ciberseguridad	40 %	60 %	90 %	95 %

| Componente 1.2.
Gestión de la información para la generación de conocimiento y su divulgación

La gestión de la información para la generación de conocimiento y su divulgación adquiere una relevancia aún mayor con los desafíos planteados por el PND 2022-2026. En este contexto, este componente se convierte en el elemento fundamental para impulsar la producción científica y enriquecer el portafolio de productos y servicios del SGC. Su objetivo principal es optimizar la búsqueda, preparación y disponibilidad de información para proyectos de investigación y otros fines institucionales, incluyendo la implementación de

estrategias de calidad de datos y el establecimiento de estándares para el Plan Nacional de Conocimiento Geocientífico. Además, se busca fortalecer la estandarización y oficialización de los productos desarrollados por el SGC.

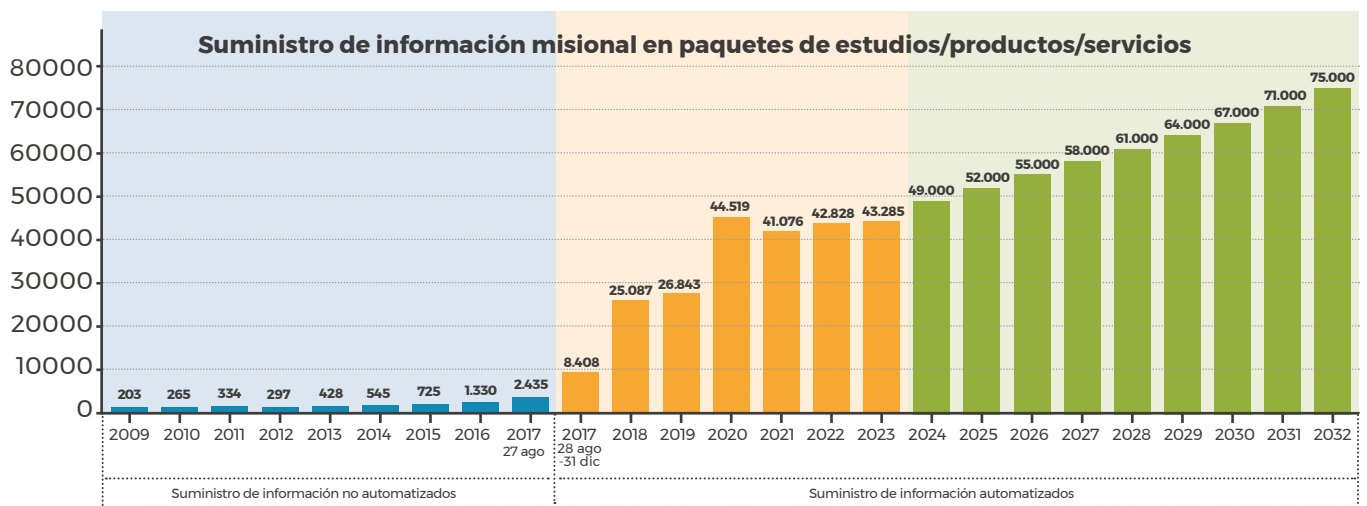
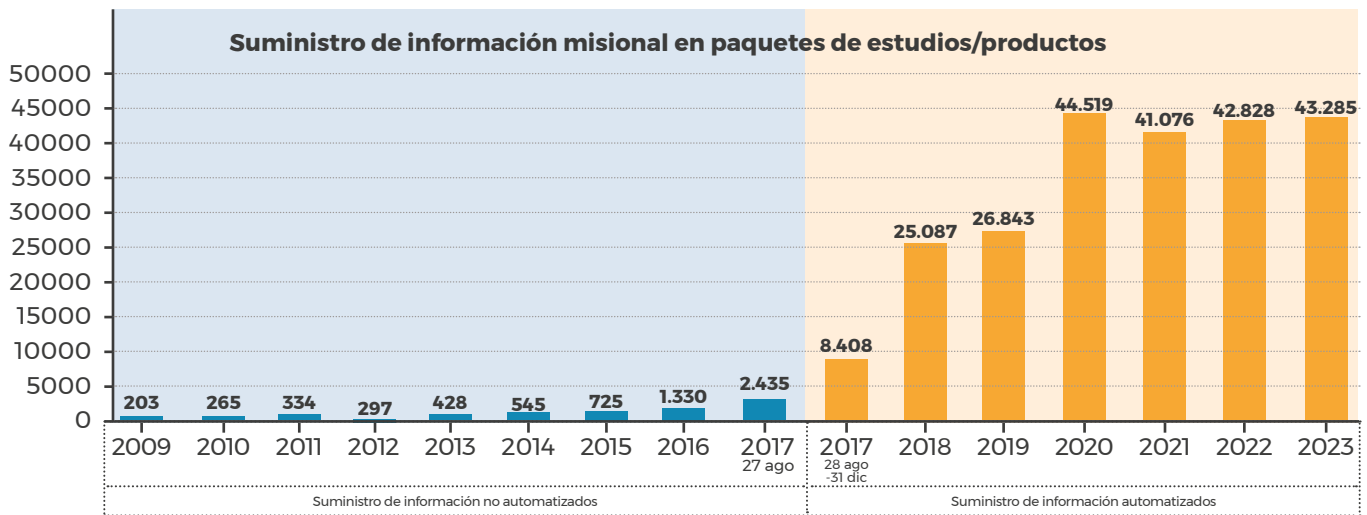
Dentro de este componente, se contempla como reto estratégico la democratización de los datos y la información, lo que permite que las comunidades puedan utilizarlos sin costo y de manera oportuna. También, se incluye la gestión de fondos especializados de información, como el Fondo Especializado de Información de Geociencias Básicas, de Geoamenazas, de Hidrocarburos y de Información Minera. Esto implica labores de diagnóstico, identificación, organización, digitalización, preservación, almacenamiento y conser-

vacación de información, tanto física como digital. Las acciones garantizarán el acceso adecuado a la información, promoviendo su preservación a largo plazo y facilitando su consulta y utilización por parte de los actores interesados.

Además, se impulsará la eficiencia en la generación de conocimiento, gracias a la consolidación de datos de alta calidad y fortalecimiento de los productos y servicios ofrecidos por el SGC. La gestión, virtualización, divulgación y suministro de información se realizará a través del portal web institucional y la intranet, lo que optimizará la disponibilidad y accesibilidad de la información y preservará adecuadamente los recursos geocientíficos del SGC.

La entidad ha logrado avances significativos en la integración de información y suministro de recursos misionales. Esto ha permitido catalogar y organizar la información en repositorios centralizados, lo que ha facilitado el acceso a usuarios mediante mecanismos de búsqueda, consulta y descarga del inventario geocientífico de Colombia producido en más de 100 años. En 6 años de operación del motor de integración de información geocientífica se ha brindado acceso al inventario geocientífico a 318.698 usuarios, permitiendo la descarga de 232.046 paquetes de estudios-productos (con un total descargado de 345 TB de información) y el acceso a 3.368.184 páginas de contenidos (figura 11).

→ Figura 11. Suministro de información misional en paquetes de estudios vs. suministro de manera automatizada últimos 7 años



El componente Gestión de la información para la generación de conocimiento y su divulgación es esencial para potenciar la producción científica, democratizar el acceso a la información y forta-

lecer los recursos geocientíficos disponibles para el beneficio de las comunidades y el desarrollo sostenible del país.

➔ **Producto e indicador componente 1.2:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Administración de bases de datos y sistemas de información que produce, custodia y gestiona el SGC para garantizar su calidad, oportunidad y disponibilidad	40 %	60 %	90 %	95 %

| Componente 1.3.
Divulgación de conocimiento

La importancia de este componente radica en satisfacer la necesidad estratégica de modernizar la página web y la intranet de nuestra institución para facilitar el acceso a información clara y accesible para las comunidades de nuestro país. En un mundo altamente digitalizado, la difusión efectiva del conocimiento se ha convertido en un pilar fundamental para el desarrollo y empoderamiento de nuestra sociedad. La modernización de estas plataformas tecnológicas permitirá al SGC agilizar la compartición de datos geocientíficos, resultados de investigación, proyectos y avances, posibilitando un acceso transparente y oportuno tanto para la ciudadanía como para nuestros colaboradores internos.

El portal web del SGC es monitoreado constantemente para la toma de decisiones respecto a sus publicaciones, mejoras y actualizaciones. De igual forma, se lleva a cabo un análisis detallado del comportamiento de los usuarios, los puntos focales de consulta, el monitoreo de países, ciudades y registros, lo que permite a la Dirección de Gestión de Información conocer la satisfacción y consulta del portal y sus sitios web.

La figura 12 presenta de manera detallada y agrupada las estadísticas del portal web desde su lanzamiento en agosto de 2017 hasta el 30 de junio de

2023, fecha de corte del último mes de este documento. Asimismo, permite evidenciar la gran cantidad de usuarios que han consultado y visitado el portal web. A la fecha de corte, se contaba con casi 17 millones 500 mil usuarios y alrededor de 72 millones de páginas consultadas.

Este componente busca actualizar la página web y la intranet para presentar información relevante de forma clara y comprensible, fomentando el interés en temas geológicos y científicos. Además, se implementarán herramientas interactivas y recursos multimedia que enriquezcan la comunicación con el público, promoviendo la participación y el aprendizaje continuo. La modernización de la intranet mejorará la gestión interna de la información y contribuirá a una colaboración más eficiente entre los miembros de la institución. La agilidad para compartir documentos, el acceso a bases de datos actualizadas y la creación de espacios de discusión facilitarán la cooperación y el desarrollo de investigaciones conjuntas. Asimismo, se habilitarán canales de comunicación interna que promuevan la retroalimentación y la innovación entre los equipos de trabajo.

En este contexto, la inversión en la modernización de la página web y la intranet representa una oportunidad estratégica para posicionar a nuestra institución como referente en la divulgación del conocimiento geocientífico en nuestro país. El proyecto enfrenta diversos retos estratégicos que buscan optimizar la eficiencia y la transparencia en la admi-

→ Figura 12. Estadísticas de visita al portal institucional del SGC

Estadísticas generales del portal institucional del SGC

28 ago 2017 - 31 dic 2023

Total de usuarios
2.100.544

Visitas
4.852.711

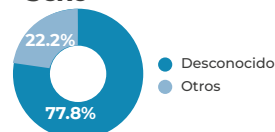
Países de visita

País	Vistas
1 Colombia	5.113.031
2 Estados Unidos	51.473
3 Perú	14.336
4 España	13.208
5 Canadá	8.937

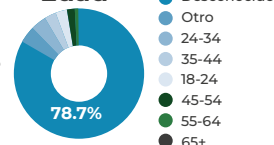
Ciudades de visita

Ciudad	Vistas
1 Bogotá	2.765.049
2 Medellín	392.064
3 Villavicencio	267.291
4 Otros	240.008
5 Cali	222.980

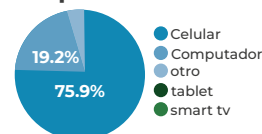
Sexo



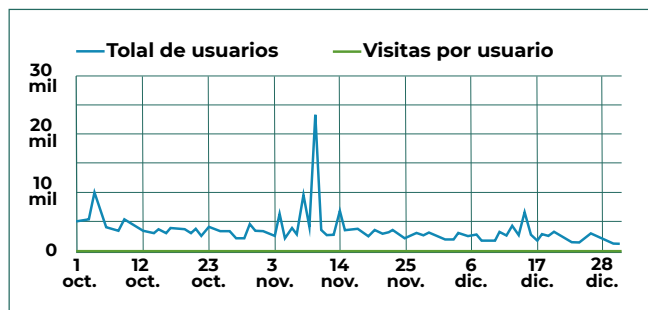
Edad



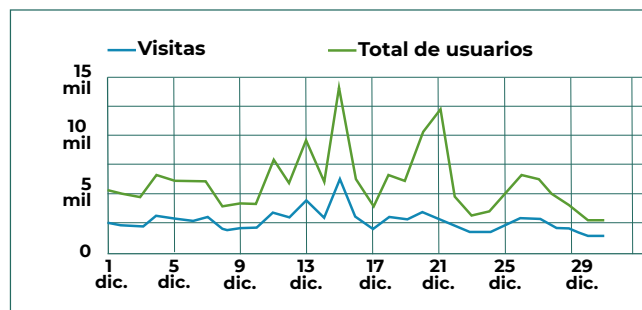
Dispositivo de consulta



Comportamiento del portal oct. - dic. 2023



Mes de diciembre 2023



nistración de datos. Entre estos desafíos se destaca la promoción del uso de tecnologías de código abierto para garantizar la interoperabilidad, la escalabilidad y el ahorro en costos. Asimismo, se busca la democratización de la información, haciendo accesibles los recursos y datos geocientíficos a todas las comunidades para fomentar la participación ciudadana y el empoderamiento en la toma de decisiones informadas. De manera simultánea, el reto de asegurar un acceso equitativo a la información por parte de las comunidades se aborda mediante la implementación de plataformas y

herramientas amigables que faciliten el acceso y la comprensión de los datos, promoviendo una mayor inclusión y colaboración en la gestión de la información geológica.

En resumen, el objetivo de este proyecto es fortalecer la divulgación y el acceso a información geocientífica de calidad, tanto para la ciudadanía como para los colaboradores internos, a través de una modernización estratégica de la página web y la intranet, contribuyendo al desarrollo sostenible y la protección del patrimonio geológico, paleontológico y nuclear del país.

→ **Producto e indicador componente 1.3:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Gestión de información y divulgación de fondos documentales	20 %	50 %	70 %	95 %

| Componente 1.4.
Inclusión de nuevas tecnologías para una ciencia digna, abierta y vinculante, propongo el producto y este texto:

La inclusión de nuevas tecnologías en una ciencia digna, abierta y vinculante implica adoptar herramientas y metodologías que promuevan la transparencia, la accesibilidad y la colaboración en el ámbito científico. Esto significa integrar desarro-

llos de *software* y *hardware* libre, así como el uso de código abierto, que permitan a los investigadores y académicos acceder, compartir y reproducir datos y resultados de manera libre y equitativa.

Al hacerlo, se fomenta una cultura científica más democrática y participativa, donde la innovación se nutre de la diversidad de perspectivas y contribuciones, fortaleciendo así el avance del conocimiento de manera ética y sostenible.

→ **Producto e indicador componente 1.4:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Inclusión de nuevas tecnologías de <i>software</i> , <i>hardware</i> libre y de código abierto para una ciencia digna, abierta y vinculante	20 %	50 %	70 %	95 %

Proyecto 2: Fortalecimiento del talento humano del SGC para el logro de los objetivos misionales

El proyecto está orientado a la implementación de las acciones sistémicas que doten a las y los servidores del SGC de mayores capacidades para el desarrollo de sus funciones y competencias, de forma que su contribución a los objetivos y misión institucional sean determinantes en la continuidad del servicio a cargo del SGC y la mejora continua de los procesos.

acceso a oportunidades, bienes y servicios, y plantea la necesidad de “(...) transformar las instituciones y la gestión de lo público, poniendo al ciudadano en el centro de su accionar y construyendo un relacionamiento estrecho (...)” (p. 604).

Para atender este requerimiento, el SGC identificó la necesidad de disponer del talento humano idóneo, necesario y suficiente para contribuir de manera efectiva a los propósitos del PND y, en general, para el cumplimiento de las funciones, misionalidad y compromisos globales y de política pública a cargo de la entidad. En tal sentido, el proyecto aquí planteado propone la ejecución de actividades que permitan la cualificación y permanencia del talento humano.

| Componente 2.1.
Formación y desarrollo del talento humano para la generación de capacidades esenciales que sustentan la misionalidad del SGC

El PND 2022-2026 orienta hacia la transformación integral de la planificación del ordenamiento y el desarrollo territorial, la política social, el acceso a una alimentación adecuada, la diversificación de las actividades productivas y la reducción de brechas sociales y económicas en las distintas regiones del país con el fin de garantizar el adecuado

| Componente 2.2.
Bienestar y ambiente laboral para la vida del talento humano del Servicio Geológico Colombiano (SGC) para el cumplimiento los objetivos misionales

Por medio del Decreto 4131 de 2011 se otorgó al SGC la calidad de Instituto Científico y Técnico y se le encomendó el objetivo de realizar investigación científica básica del potencial de recursos del sub-

suelo, llevar a cabo el seguimiento y monitoreo de amenazas de origen geológico, administrar la información del subsuelo, garantizar la gestión segura de los materiales nucleares y radiactivos y coordinar los proyectos de investigación nuclear y el uso del reactor nuclear de la Nación, con el fin de contribuir al bienestar y equilibrio eco y geosistémico en el territorio nacional.

→ Producto e indicador proyecto 2:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Incremento de las personas capacitadas en temáticas misionales del SGC	163	115	107	115

Proyecto 3. Estructura y cultura laboral para un nuevo enfoque

| Componente 3.1.

Modernización de la estructura organizacional

Los retos y el enfoque del SGC se derivan de varios factores, incluyendo los requerimientos globales para instituciones de este tipo y la necesidad de abordar el cambio climático. Además, es crucial que el SGC amplíe su capacidad de generación de conocimiento para más sectores y actores sociales, comunitarios e institucionales. También debe fortalecer su gestión, asesoría y asistencia técnica. Por lo tanto, es necesario que la planeación estratégica del SGC incluya la implementa-

En virtud de lo anterior, y considerando que el PND 2022-2026 sitúa al ser humano y a la ciudadanía como ejes fundamentales de la labor que adelanta el Gobierno nacional, el SGC propenderá por el bienestar de su talento humano y por conseguir su capacitación constante, de manera que se produzca un impacto positivo en su calidad de vida y se contribuya al enriquecimiento y desarrollo de la entidad.

ción de una serie de procesos y actividades que permitan un ajuste institucional capaz de cumplir con estos nuevos requisitos.

Este ajuste debe ir acompañado de un refuerzo de la cultura institucional, incorporando aspectos cruciales como la gestión socioambiental en todos los procesos misionales, estratégicos y de apoyo. Esto es necesario para reducir o gestionar los impactos negativos de las operaciones del SGC y mejorar las relaciones con los actores públicos y privados.

Para lograrlo, es fundamental mejorar integralmente las capacidades de los colaboradores del SGC en aspectos técnicos y tecnológicos, así como en el relacionamiento con actores, el uso de lenguaje claro, la promoción de la veeduría, el fortalecimiento de la cultura de rendición de cuentas y el diálogo de saberes, entre otros.

→ Producto e indicador proyecto 3:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Planta de personal provista	87 %	80 %	80 %	80 %

Programa 2. Fortalecimiento de la gobernanza institucional de la ciencia, tecnología e innovación para la apropiación social del conocimiento geocientífico generado

Proyecto 1. Fortalecimiento de las relaciones del SGC con actores estratégicos para la generación, uso y aprovechamiento del conocimiento geocientífico y nuclear

El PND 2022-2026 establece un marco normativo que orienta a las entidades del orden nacional y territorial a construir políticas, planes y proyectos de la mano de la población colombiana, con el fin de reconocer las necesidades de los territorios y superar estereotipos, estigmas y discriminación en términos económicos, sociales, culturales, religiosos y políticos. Para ello, el eje de transformación 5 “Convergencia regional” establece:

...Para garantizar esta convergencia, es necesario fortalecer los vínculos intra e interregionales, y aumentar la productividad, competitividad e innovación en los territorios. Así mismo, se requiere transformar las instituciones y la gestión de lo público, poniendo al ciudadano en el centro de su accionar y construyendo un relacionamiento estrecho, mediado por la confianza, entre las comunidades y entre éstas y las instituciones, para responder de manera acertada a sus necesidades y atender debidamente sus expectativas, a partir de marcos regulatorios consistentes (p. 604).

Por su parte, el SGC, desde su creación como Comisión Científica Nacional en 1916, ha contribuido en la generación de conocimiento científico asociado a las ciencias de la Tierra, con el fin de evaluar el potencial de recursos del subsuelo, identificar e informar sobre amenazas de origen geológico, y garantizar la gestión segura de los materiales nucleares y radiactivos del país. En cumplimiento de esa misionalidad, como entidad se ha contribuido a brindar información que puede aportar a objetivos de ordenamiento territorial, salud, medioambiente, cultura y transformación energética, entre otros.

| Componente 1.1. Articulación de conocimientos y saberes para la pedagogía del conocimiento geocientífico con enfoque diferencial

Teniendo en cuenta lo anterior, el SGC ha establecido el objetivo de ampliar el alcance de la divulgación del conocimiento geocientífico y nuclear. Como la ciudadanía es el público objetivo principal, se parte de un principio fundamental: utilizar un lenguaje claro y comprensible para cualquier información científica que sea útil para los ciudadanos.

El ejercicio científico del SGC implica la realización de trabajo de campo de manera permanente. Por ello, se buscará que el conocimiento científico se divulgue a las comunidades que habitan los territorios visitados para la realización de proyectos científicos. Esto se hará bajo los principios de buen relacionamiento con las autoridades ambientales y territoriales, así como con las comunidades locales. El diálogo y la concertación social se utilizarán como herramientas primordiales para que la labor en el territorio del SGC se desarrolle en acuerdo con las comunidades y garantice buenas prácticas ambientales.

El conocimiento geocientífico divulgado proporcionará información útil para que las comunidades puedan tomar decisiones en materia de acción, prevención o mitigación de posibles impactos negativos, o de aprovechamiento en caso de que el impacto sea positivo. Finalmente, se priorizará que la ejecución de proyectos de investigación en el SGC contemple la construcción de conocimiento de manera contributiva y participativa, con el fin de poner en diálogo el conocimiento científico con los saberes tradicionales, ancestrales y populares.

Para fortalecer el relacionamiento del SGC con otras instituciones del orden territorial, con la ciudadanía y con las comunidades con las que interactúa de manera permanente, se crearon los siguientes grupos de trabajo a través de la Resolución 011 del 27 de enero de 2023:

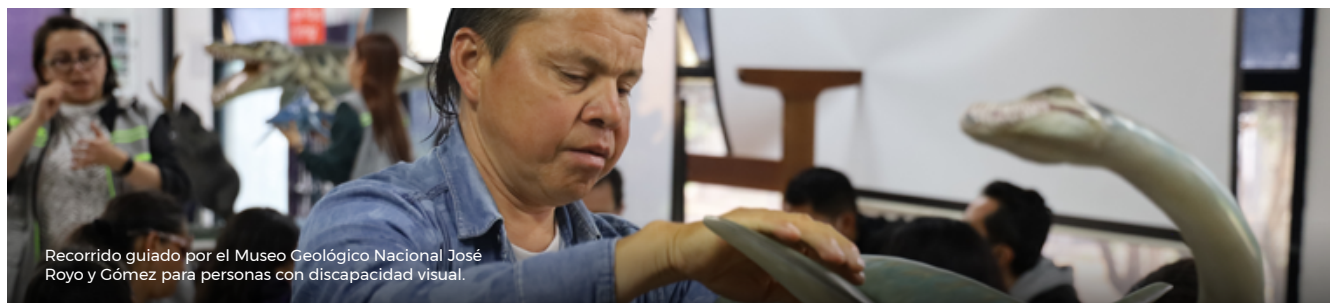
1. **Grupo de Trabajo Socioambiental:** encargado de desarrollar e implementar una estrategia para la gestión social y ambiental de la entidad dirigida hacia las comunidades, con el fin de gestionar un acceso al territorio de manera concertada, socializar y divulgar el conocimiento geocientífico a las comunidades visitadas con un lenguaje claro y enfocado hacia las necesidades de la comunidad, y promover el conocimiento contributivo y participativo.
2. **Grupo de Trabajo Relaciónamiento con la Ciudadanía:** a cargo de la recepción y trámite de las peticiones, quejas, reclamos, sugerencias y denuncias de la ciudadanía, y de garantizar ejercicios de participación ciudadana y las buenas prácticas en materia de transparencia y claridad de la información producida por el SGC y que sean aplicadas a todas las áreas.

Entre las funciones del Grupo de Trabajo Socioambiental, asociadas a la ejecución del Plan Estratégico del SGC, estará la búsqueda, integración y consolidación del conocimiento geocientífico y nuclear que produce la institución, con los saberes ancestrales, tradicionales y populares. Se busca materializar el conocimiento construido de manera conjunta mediante herramientas pedagógicas que faciliten el acceso a las geociencias y aplicaciones nucleares para los diferentes actores sociales y comunitarios con los que interactúa el SGC en sus labores investigativas.

Por su parte, el Grupo de Trabajo de Relaciónamiento con la Ciudadanía, en línea con los objetivos de este proyecto, generará espacios de participación donde se involucren diferentes actores sociales, comunitarios, institucionales y gremiales. El objetivo es garantizar no solo su participación activa, sino también el reconocimiento de sus necesidades para brindar soluciones desde el conocimiento geocientífico y nuclear que respondan directamente a las problemáticas identificadas por las comunidades.

→ Producto e indicador proyecto 1:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Material cocreado con actores sociales y comunitarios para la divulgación del conocimiento	4	7	11	13
Capacitaciones internas y/o externas para el fortalecimiento de la gestión socioambiental	1	12	28	72
Espacios de participación ciudadana	6	14	22	30



Recorrido guiado por el Museo Geológico Nacional José Royo y Gómez para personas con discapacidad visual.

Proyecto 2. Implementación de una estrategia de comunicaciones para posicionar al Servicio Geológico Colombiano (SGC) ante sus diferentes públicos de interés y divulgar el conocimiento geocientífico y nuclear generado

La información geocientífica que el SGC genera va mucho más allá de la identificación de oportunidades para el aprovechamiento responsable de minerales e hidrocarburos. Incluye, además, información fundamental para orientar la gestión de riesgos por eventos geológicos y el ordenamiento territorial; aportar a la seguridad alimentaria; identificar riesgos potenciales para la salud humana y del ambiente que generan ciertos elementos en determinados entornos geológicos; identificar y determinar el potencial de fuentes de energía no convencionales relacionadas con el subsuelo, claves para la transición energética justa; orientar el uso racional, el cuidado y la gestión de las aguas subterráneas; aplicar tecnologías nucleares para mejorar la calidad de vida de los colombianos; contribuir a la mitigación y adaptación al cambio climático; y conservar el patrimonio paleontológico y geológico de la Nación, entre otros.

Las geociencias son fundamentales para preservar la vida y, por ello, la misión actual de esta entidad incluye promover el conocimiento geocientífico y nuclear en el país para la toma de decisiones enfocadas en el bienestar de las personas y el desarrollo sostenible. Esto se realiza a través de una gestión integral de la información, desde sus etapas de investigación, levantamiento, análisis y sistematización, hasta su divulgación efectiva y oportuna a públicos estratégicos. El SGC busca, además, ser reconocido nacional e internacionalmente como una entidad líder en investigación y generación de conocimiento.

Para lograr una divulgación efectiva de la información que el SGC produce, es fundamental contar con una estrategia de comunicaciones dirigida al público interno y externo, y enfocada en el cumplimiento de metas a corto, mediano y largo plazo. Una estrategia cuyos pilares sean el manejo riguroso, transparente y oportuno de la información, así como su democratización para la apropiación a distintos niveles.

Bajo este propósito, a comienzos de 2023, se consolidó el Grupo de Trabajo de Comunicaciones, un equipo interdisciplinario de periodistas, profesionales en comunicación organizacional, diseñadores y realizadores audiovisuales. Este equipo adelanta una serie de acciones y productos en torno a la divulgación del conocimiento geocientífico y nuclear generado por el SGC, y la gestión institucional, tanto interna como externamente.

| Componente 2.1. Divulgación del conocimiento geocientífico y nuclear generado por el SGC, y de la gestión institucional, en los canales de comunicación interna

La comunicación interna es fundamental para el buen funcionamiento del SGC, pues contribuye a: i) que los funcionarios y contratistas estén al tanto de los avances en gestión administrativa y en investigación de manera clara y oportuna; ii) la articulación entre las sedes; iii) incentivar la participación de funcionarios y contratistas en los diferentes espacios; y iv) velar por el buen uso y manejo de la imagen institucional. Todo esto tiene el fin de mejorar el clima laboral y la productividad, fortalecer los valores institucionales, y aumentar el sentido de pertenencia y liderazgo del talento humano.

Para lograrlo, se han implementado varias acciones, como la optimización del boletín semanal Geoflash y del uso del correo electrónico para envíos masivos, la puesta en marcha de las carteleras digitales, la creación de canales alternativos de comunicación interna como el chat institucional de WhatsApp, el audiograma Semana en minutos y el espacio presencial y virtual Cómo vamos en el SGC, donde directivas y expertos presentan, de manera bimestral, la gestión institucional. Adicionalmente, se han desarrollado formatos como Vidas de Ciencia, con la finalidad de reconocer y resaltar el trabajo de aquellas personas que, a lo largo de su vida, han puesto su conocimiento al servicio de la entidad.

También se ha trabajado en contenidos dinámicos, narrados en un lenguaje no especializado y con líneas gráficas innovadoras, para que los funcionarios y contratistas aumenten su interés por conocer las novedades administrativas y de inves-

tigación del SGC, así como por destacar sus investigaciones o logros e incentivar su participación en los diferentes espacios y eventos.

Paralelamente, se ha brindado acompañamiento a las diferentes áreas para responder a las necesidades comunicativas y se han compartido lineamientos con el objetivo de diversificar la información y hacer un uso adecuado y eficiente de los canales internos del SGC.

Para dar continuidad a estos avances, es esencial fortalecer internamente la imagen institucional de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Manual de Uso de Imagen del SGC y del Gobierno Nacional; trabajar articuladamente con todas las áreas administrativas a fin de visi-

bilizar su quehacer y garantizar la efectividad de los mensajes que quieren transmitir; contar con la retroalimentación de los colaboradores sobre la eficacia de la comunicación interna, así como de los canales disponibles, tanto en Bogotá como en las sedes regionales; y consolidar un banco de imágenes institucional que también aporte a las comunicaciones externas del SGC.

Asimismo, es indispensable identificar, en cada una de las oficinas y direcciones, enlaces estratégicos que, a través del voz a voz, refuercen la divulgación de los mensajes y propicien la participación, sobre todo para aquellos colaboradores que, al realizar sus labores en campo, no pueden acceder a tiempo a los canales tradicionales de información.

→ Producto e indicador componente 2.1:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Boletines internos para divulgar el conocimiento geocientífico y nuclear generado por el SGC, y la gestión institucional, al interior del mismo.	40	160	320	480
Informe sobre la optimización de la comunicación interna del SGC.	0	3	7	9
Encuesta de percepción sobre la comunicación interna en el SGC.	0	3	7	9
Banco de imágenes y de video institucional	0 %	25 %	50 %	75 %

| Componente 2.2.

Divulgación del conocimiento geocientífico y nuclear generado por el SGC, y de la gestión institucional, en los canales de comunicación externa

A finales de marzo de 2023, el volcán Nevado del Ruiz incrementó su actividad y permaneció en estado de alerta naranja por tres meses. Asimismo, a lo largo del año, ocurrieron una serie de

sismos ampliamente sentidos por la población. Ambas coyunturas abrieron una ventana de oportunidad clave para comunicar externamente la importancia del conocimiento que el SGC genera sobre amenazas de origen geológico. Estas circunstancias representaron el inicio de una estrategia de comunicaciones externas basada en la co-creación entre el Grupo de Trabajo de Comunicaciones y los equipos técnicos del SGC, dirigida a los siguientes públicos: i) la opinión

pública; ii) las comunidades que habitan los territorios donde el SGC lleva a cabo investigaciones o hace presencia; iii) la comunidad científica; iv) la academia; y v) los actores del sector público y privado cruciales para su gestión.

A través de un trabajo intensivo de gestión de prensa, el desarrollo de material pedagógico sobre temas estratégicos del SGC y la producción de contenidos y campañas rigurosos, claros y oportunos para los canales digitales, la presencia del SGC ante la sociedad colombiana ha aumentado notablemente. De acuerdo a las cifras recabadas por el grupo de Comunicaciones, el número de noticias (internet, radio, televisión y prensa) que mencionan al SGC pasó de 3453 en 2022 a 16.873 en 2023, con audiencias respectivas de 815.919 y 4,5 millones de personas, y equivalentes a un valor comercial de \$33 mil millones de pesos en 2022 y \$196 mil millones de pesos en 2023 (el SGC no pagó por ninguna mención en medios). Además, a lo largo de 2023, las redes sociales del SGC crecieron, en promedio, un 500 % en relación con 2022, y en el portal web institucional se ha avanzado en la actualización de algunas secciones hacia un lenguaje más claro y atractivo para los públicos no especializados, así como en la producción de artículos de alta calidad que visibilicen el conoci-

miento generado por las diferentes áreas técnicas.

Para potenciar estos resultados y aportar a la misión del SGC, se realizarán una serie de acciones y productos como comunicados y ruedas de prensa, contenidos de redes sociales, hojas informativas, salidas con periodistas, guías de cobertura, notas para el portal web y campañas, entre otros. Estas acciones permitirán: i) divulgar el trabajo realizado por las demás áreas técnicas del SGC, de tal forma que los colombianos no solo asocien al SGC con el estudio de las amenazas de origen geológico (sismos, volcanes y movimientos en masa); ii) potenciar las habilidades en comunicaciones del personal del SGC para que transmitan de manera clara y simple los mensajes estratégicos; iii) optimizar la articulación con las diferentes áreas del SGC en torno a la comunicación de temas estratégicos; iv) proporcionar a los periodistas espacios y herramientas para que cubran de manera más efectiva los temas que el SGC estudia; v) aportar información útil y clara a las comunidades donde el SGC lleva a cabo investigaciones o hace presencia; y vi) mejorar la divulgación del conocimiento generado por el SGC hacia públicos especializados como la comunidad científica, la academia y los sectores estratégicos con los que trabaja.

➔ **Producto e indicador componente 2.2:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Acciones y productos para potenciar las habilidades en comunicación del personal del SGC	5	20	40	60
Informe de la presencia del SGC en medios de comunicación	1	4	9	11
Informe de la presencia y alcance del SGC en redes sociales	0	3	7	9
Informe de optimización de contenidos del portal web del SGC	0	3	7	9

Informe de comunicaciones dirigidas a actores estratégicos del SGC	0	3	7	9
Encuesta de reconocimiento de marca del SGC	0	2	4	5

Proyecto 3. El conocimiento geocientífico como eje fundamental en la construcción de instrumentos normativos, técnicos y de política pública

El conocimiento geocientífico y nuclear es fundamental para alcanzar objetivos superiores relacionados con aspectos sociales, ambientales, culturales y económicos que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de vida de los colombianos. En tal sentido, es necesario orientar y priorizar la producción de este conocimiento de manera que responda a los principales desafíos que enfrenta el país y sirva como insumo para la construcción de políticas públicas, normatividad e instrumentos técnicos como manuales, guías, estándares y lineamientos susceptibles de impactar.

De manera complementaria, es necesario garantizar la intervención de la ciudadanía y de grupos de interés en el proceso de elaboración de proyectos reglamentarios e instrumentos de gestión pública, con el fin de responder a las demandas de la sociedad y dar mayor transparencia al proceso.

Lo anterior implica no solo el fortalecimiento del conocimiento generado, sino también de estrategias que faciliten su uso y apropiación por parte del sector público, privado, la academia y la comunidad en general, para que se logre el impacto deseado.

| Componente 3.1. Revisión y actualización del marco normativo

El SGC ha venido impactando temas estratégicos de relevancia pública a nivel local y nacional, como la microzonificación sísmica, la política pública minera, y diferentes mejoras regulatorias relacionadas con el licenciamiento y control a nivel nacional de las actividades concernientes a la utilización de materiales radiactivos por parte de usuarios públicos y privados. También, ha influido en la gestión integral para la protección del patrimonio geológico o paleontológico del país. Aunque no se cuenta con una cuantificación del impacto de todos estos instrumentos, una evaluación económica del mapa de amenaza sísmica muestra que hay una contribución económica neta de 2,25 mil millones de USD de 2019 (cerca del 0,68 % del PIB) y una relación costo-beneficio de 1:22 (Luque Molano, 2020).

Para dar continuidad a estos grandes logros, este programa busca impulsar el uso y la apropiación del conocimiento geocientífico generado por el SGC en la formulación de políticas públicas y en la elaboración de normas e instrumentos técnicos relacionados con la misión del SGC. Esto se logrará mediante la implementación de una es-



Deformación dúctil en capas de calizas de la Formación Chengue, en San Juan de Nepomuceno (Bolívar).

trategia de gestión del conocimiento que facilite la articulación del conocimiento generado con los instrumentos a impactar, y la identificación continua de dichos instrumentos. Esto requerirá de un

seguimiento continuo y de análisis detallados que permitan cuantificar el impacto ambiental, cultural y económico, y la contribución al bienestar de los ciudadanos.

➔ **Producto e indicador proyecto 3:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Lista de normas identificadas como obsoletas, en desuso, desactualizadas o nuevas	0	4	8	10
Listado de políticas públicas sectoriales que se puedan impactar con el conocimiento generado por SGC	0	4	8	10
Listado de instrumentos técnicos que se puedan impactar con el conocimiento geocientífico	0	4	8	10

Proyecto 4: Fortalecimiento de las capacidades institucionales en torno a la ciencia, tecnología e innovación a través de la cooperación interinstitucional con actores del orden nacional e internacional

El SGC fue reconocido por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) como centro de investigación del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTel) mediante la Resolución 1427 de 2022, vigente hasta el 24 de octubre de 2027.

En el marco de la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de este ministerio, una de las estrategias para la consolidación de capacidades y resultados aplicables es el apoyo a la promoción y fortalecimiento de los centros de investigación y centros de desarrollo tecnológico. El propósito final es elevar la competitividad en áreas estratégicas del país y fortalecer la capacidad institucional en ciencia, tecnología e innovación.

En atención a lo anterior, durante el último proceso de renovación como centro de investigación,

el SGC realizó una autoevaluación desde las direcciones técnicas y áreas transversales. El objetivo fue visualizar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas en el desarrollo de su misión, así como los avances y fortalezas en ciencia, tecnología e innovación.

A partir de este autodiagnóstico, se pudo establecer que, desde su reconocimiento como centro de investigación y gracias a la interacción con otros actores del SNCTel y otras entidades de orden nacional e internacional, el SGC ha trabajado en el fortalecimiento de su infraestructura y recurso humano. Como resultado de estas acciones, durante los últimos cinco años, se realizaron 3721 productos que se reconocieron como resultado de las actividades de los grupos de investigación. Estos productos fueron reconocidos y clasificados dentro de las cuatro tipologías de producción de ciencia, tecnología e innovación de Minciencias, como se evidencia en la tabla 1.

Para el cumplimiento de su misión y con el propósito de fortalecer las actividades en ciencia, tecnología e innovación, el SGC prioriza la consoli-

→ Tabla 1. Producción científica de actividades de CTel del SGC 2017-2021

Producción científica resultado de actividades de investigación 2017-2021						
Tipología de producción en ciencia, tecnología e innovación/Año	2017	2018	2019	2020	2021	Total general
Apropiación social del conocimiento	631	694	361	231	97	2014
Desarrollo tecnológico e innovación	3	1	2	18	2	26
Formación del recurso humano para ciencia, tecnología e innovación	32	39	60	34	118	283
Generación de nuevo conocimiento	242	630	336	145	45	1398
Total	908	1364	759	428	262	3721

dación de una estrategia de cooperación internacional. Reconociendo la creciente interconexión global, el SGC comprende la importancia de colaborar en torno a desafíos mundiales como la transición energética, el cambio climático, la gestión sostenible del agua y la utilización responsable de los recursos minerales. Estos desafíos trascienden las fronteras nacionales y demandan una respuesta concertada y efectiva a nivel internacional.

En este contexto, la cooperación internacional emerge como un mecanismo crucial para compartir mejores prácticas, datos e innovaciones, así como para fomentar el intercambio de conocimientos entre diversas instituciones y actores a nivel global. Con el objetivo de enfrentar estos desafíos de manera integral, el SGC ha venido estableciendo alianzas estratégicas con instituciones y organismos internacionales que comparten su visión y objetivos. A través del fortalecimiento de estos vínculos, se busca no solo fomentar un diálogo continuo y constructivo en torno a las problemáticas globales, sino también compartir recursos y capacidades, y promover activamente el intercam-

bio de experiencias y conocimientos técnicos, con el fin de impulsar la innovación y el desarrollo de soluciones efectivas y sostenibles.

De esta manera, el SGC aspira a contribuir de manera significativa a la búsqueda de respuestas colectivas a los desafíos más urgentes que enfrenta la humanidad desde el conocimiento geocientífico y nuclear, consolidando su posición como un actor clave en el escenario internacional.

Teniendo en cuenta lo anterior y con el fin de fortalecer el relacionamiento del SGC con otras instituciones del orden nacional e internacional que interactúan de manera permanente con esta entidad, en razón de los proyectos de investigación planteados por las áreas misionales, a través de la Resolución 011 del 27 de enero de 2023 se creó el Grupo de Trabajo de Investigación y Cooperación Internacional. Este grupo se encarga del relacionamiento del SGC con organismos de cooperación a nivel nacional e internacional, con el fin de fortalecer las capacidades de los grupos de investigación del SGC y la construcción de proyectos conjuntos, encaminados al cumplimiento de los objetivos del PND.

| Componente 4.1. Herramientas de formación y orientación para ampliar el alcance de los grupos de investigación

Actualmente, el SGC está trabajando para mejorar la cantidad y calidad de los productos científicos que se producen a nivel interno, por lo que se estructuró un plan de mejoramiento que establece una serie de acciones para fortalecer las capacidades científicas y tecnológicas. Esta apuesta a largo plazo contempla las siguientes acciones:

- Establecer los parámetros para la participación de las direcciones técnicas y áreas transversales del SGC en los diferentes mecanismos para la asignación de recursos destinados al fortalecimiento de la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i).
- Proponer y trabajar en acciones para la asignación de recursos y el fortalecimiento de la infraestructura que permita incentivar la investigación en el SGC.
- Actualizar de manera continua las nuevas tecnologías para el cumplimiento de la misión del SGC.
- Socializar y orientar sobre el proceso de reconocimiento y categorización de grupos de investigación e investigadores, así como sobre las convocatorias externas que apoyen la financiación de proyectos de investigación científica.
- Crear e implementar la política institucional de ciencia, tecnología e innovación.
- Crear e implementar el Comité de Ética de la Investigación.
- Generar lineamientos que permitan la articulación misional, administrativa y financiera para la firma de convenios de ciencia, tecnología e innovación.

- Establecer una correcta divulgación de la oferta y demanda de cooperación en ciencia, tecnología e innovación existente en el SGC.
- Generar normativas sobre la gestión de los grupos de investigación para fortalecer su consolidación.
- Brindar lineamientos de afiliación institucional.
- Fomentar la producción científica de alta calidad.

Para llevar a cabo estas acciones dirigidas a fortalecer el ejercicio científico que desarrollan los equipos de trabajo y grupos de investigación del SGC, desde el componente de gestión de la investigación se realiza el acompañamiento y la articulación institucional para el desarrollo de habilidades del personal del SGC en la planificación y estructuración de proyectos de investigación acordes con las necesidades del país y los requisitos del (SNCTel).

Asimismo, se brinda asistencia técnica en el proceso de postulación de investigadores y grupos de investigación en las convocatorias ofertadas, tanto a nivel nacional como internacional, y en la obtención de financiación de proyectos de investigación. Para ello, se plantean capacitaciones institucionales conforme a los requerimientos, criterios de evaluación y procedimiento de inscripción establecidos en los términos de referencia de las convocatorias.

Por otro lado, se ofrecen servicios de asistencia técnica a los investigadores y grupos de investigación para acompañarlos en el proceso de postulación a otros mecanismos de participación ofertados por el SNCTel, siendo uno de los más relevantes la “Convocatoria nacional para el reconocimiento y medición de grupos de investigación, desarrollo tecnológico o de innovación y para el reconocimiento de investigadores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación - SNCTel”. Este acompañamiento permite diagnosticar, organizar y postular a los investigadores y grupos de investigación en el proceso de medición conforme a los requerimientos establecidos por Minciencias.

Por último, esta asistencia técnica contempla el acompañamiento en la suscripción de instrumentos de cooperación con entidades nacionales del sector público, académico y privado, para el intercambio de conocimiento y desarrollo de producción científica, transferencia de conocimiento y tecnología, e identificación de acciones de mejora en el desarrollo de la labor científica. Además, se espera realizar un diagnóstico de la oferta y demanda de cooperación nacional dentro del instituto. A partir de este, se definirán los criterios para establecer relaciones

exitosas y, finalmente, se definirán las estrategias de seguimiento y medición de los resultados y capacidades adquiridas por el SGC durante la ejecución de estos instrumentos de cooperación.

Para lograr lo anteriormente mencionado, es necesario crear los lineamientos que permitan la articulación misional y administrativa, y que contengan las normativas para la generación de capacidades de CTel a nivel interno. Para ello, se debe formular e implementar la política institucional de ciencia, tecnología e innovación.

→ Producto e indicador componente 4.1:

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Instrumentos de la Política de Ciencia, Tecnología e Innovación	0	100 %	N/A	N/A
Talleres internos para el fortalecimiento de las capacidades científicas y de gestión de la investigación del personal científico del SGC	5	16	32	48
Número de convocatorias nacionales en las que participa el SGC	4	8	12	20

| Componente 4.2.

Consolidación de la estrategia de cooperación internacional para potenciar el conocimiento geocientífico y nuclear del país.

Con el propósito de robustecer las capacidades institucionales en ciencia, tecnología e innovación, resulta indispensable consolidar el posicionamiento y relacionamiento del SGC dentro del Sistema Nacional de Cooperación Internacional (SNCI) y en la comunidad internacional, a corto, mediano y largo plazo. Este enfoque se erige como un mecanismo esencial para fortalecer de manera eficiente y efectiva la misión y las prioridades de la entidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, el SGC ha venido identificando actores clave, tanto a nivel nacional como internacional, con el fin de contribuir al propósito de fortalecer la colaboración con socios estratégicos a nivel global y consolidar alianzas que resulten en el logro de un mayor alcance de las investigaciones desarrolladas, el acceso a recursos técnicos y financieros, el uso de tecnologías avanzadas y la contribución significativa a la investigación en torno al potencial de recursos del subsuelo, la identificación de amenazas de origen geológico y la gestión segura de los materiales nucleares y radiactivos del país.

Adicionalmente, el SGC también ha estado desarrollando un análisis exhaustivo de las capacidades y necesidades internas, con el fin de establecer una

estrategia para la búsqueda de nuevas alianzas estratégicas y la identificación y el relacionamiento con socios potenciales relevantes en la comunidad internacional en áreas de interés para el SGC.

Como resultado de la estrategia de posicionamiento y relacionamiento internacional, se espera:

- Acceder a oportunidades de cooperación internacional para recibir conocimientos técnicos avanzados, tecnología y financiamiento en temas de interés para el SGC.
- Expandir la cooperación internacional con nuevos socios y diversificar en áreas de interés para el SGC.
- Intercambiar buenas prácticas (recibir y ofrecer conocimientos científicos y de investigación).
- Fomentar las alianzas público-privadas para la investigación y la cooperación con el fin de impulsar el conocimiento geocientífico.
- Fortalecer y potenciar el relacionamiento del SGC con actores estratégicos a nivel global.

Lo anterior permite al SGC aprovechar eficazmente los recursos y conocimientos disponibles a nivel nacional e internacional, impulsando así su capacidad de investigación y contribuyendo al avance y conocimiento geocientífico y nuclear en el país. Además, se busca asegurar la continuidad de la colaboración a largo plazo mediante la integración de la cooperación internacional en la planificación estratégica institucional y la diversificación de las fuentes de financiamiento para garantizar

la sostenibilidad de las actividades misionales y para el fortalecimiento institucional.

Esto último se logra, por una parte, a través de instrumentos de cooperación internacional que fomenten el intercambio de conocimientos, la capacitación de investigadores, la realización de proyectos conjuntos de investigación y desarrollo, y la transferencia de conocimiento y tecnología. Asimismo, mediante el establecimiento de mecanismos de evaluación y seguimiento para asegurar el impacto y la sostenibilidad de la cooperación internacional dentro del SGC.

Por otra parte, esta estrategia tiene como prioridad la búsqueda y participación en convocatorias internacionales con énfasis en la promoción de la ciencia, tecnología e innovación como una estrategia para impulsar la colaboración científica y potenciar el alcance y los resultados de las investigaciones en las temáticas priorizadas por el SGC en el mediano y largo plazo.

Acceder a recursos técnicos y financieros de cooperación internacional permite al SGC el intercambio de experiencias, mejores prácticas para enriquecer la capacidad técnica y científica del país, fomentar la colaboración internacional entre científicos e investigadores expertos, desarrollar proyectos innovadores y multidisciplinarios para abordar los desafíos geológicos a nivel mundial, realizar investigaciones de alto impacto de manera sostenible y acceder a equipos especializados y generar nuevas capacidades para los investigadores del SGC. Todo esto se traduce en aplicaciones prácticas en áreas como la gestión de bienes naturales, la mitigación y prevención de desastres, la planificación del uso del subsuelo del país y la mitigación del cambio climático, entre otros.

➔ **Producto e indicador componente 4.2:**

Producto esperado	Metas acumuladas			
	Línea base	2026	2030	2032
Instrumentos de cooperación internacional firmados y perfeccionados	4	8	18	24
Número de convocatorias internacionales en la que participa el SGC	4	9	15	20

Presupuesto

Para determinar el valor de los programas misionales y habilitantes de este plan, se utilizaron los datos consignados en los proyectos de inversión en la totalidad de su horizonte. Teniendo en cuenta que el plan se estimó para diez años, se proyectó el promedio del proyecto con la inflación promedio de los últimos años. Esto se hizo bajo el supuesto

de que, una vez finalizados los proyectos actuales, se formularán nuevos proyectos que garanticen el cumplimiento de las metas trazadas en el plan estratégico decenal del SGC.

El IPC usado en las proyecciones corresponde al promedio de los últimos cinco años, basado en el último informe del IPC del DANE (DANE, s.f.).

Programa N.º	Presupuesto proyectado Plan Estratégico SGC 2023-2032 (programas misionales y habilitantes)	Presupuesto inversión + funcionamiento (millones de pesos)
1	Generación de conocimiento geocientífico que contribuya a tomar decisiones para el ordenamiento y desarrollo del territorio, la gestión del riesgo, la soberanía nacional y la seguridad alimentaria con el fin de aportar al bienestar y el desarrollo sostenible.	1.319.538.842.685,49
2	Contribución a la transición energética justa por medio de la investigación y la generación de conocimiento geocientífico sobre fuentes energéticas del subsuelo como geotermia, gas natural e hidrógeno blanco, y contaminantes asociados a hidrocarburos.	114.905.761.304,51
3	Generación de conocimiento geocientífico del paleoclima para la adaptación y mitigación del cambio climático.	131.904.569.866,10
4	Generación de conocimiento hidrogeológico con miras a completar el entendimiento del ciclo del agua, para mejorar su cuidado y manejo estableciendo las interrelaciones de los acuíferos, manantiales y las zonas de recarga como aporte al cumplimiento de los ODS.	26.778.844.971,02
5	Conocimiento nuclear y radiactivo aplicado a la salud pública, la preservación del ambiente y del patrimonio natural y cultural.	152.112.992.518,50
6	Implementación del Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico de la Nación para su identificación, protección, conservación, rehabilitación y divulgación.	20.905.647.399,85
7	Investigación y caracterización química y geomecánica aplicada a las geociencias a partir de estudios y ensayos validados y de calidad que permiten obtener información básica y transversal en el conocimiento geocientífico.	905.967.085.123,96

8	Investigación en minerales para la toma de decisiones sobre su aprovechamiento responsable, desde un enfoque de seguridad alimentaria, gestión ambiental, salud pública, industrialización e infraestructura.	601.393.331.368,67
9	Gestión institucional para una respuesta eficiente y oportuna a la ciudadanía.	747.446.457.567,15
10	Fortalecimiento de la gobernanza institucional de la ciencia, tecnología e innovación para la apropiación social del conocimiento geocientífico generado.	890.618.772.461,14
	Total	4.911.572.305.266,39

Glosario

Las definiciones que se citan a continuación están destinadas exclusivamente a facilitar la comprensión del contenido de este plan. Su propósito es asegurar la coherencia y precisión en los términos técnicos empleados y no tienen fines reglamentarios. El Servicio Geológico Colombiano no se hace responsable del uso, interpretación o aplicación que se dé a estas definiciones por fuera del contexto mencionado.

- **Activación neutrónica:** proceso por el cual un núcleo atómico absorbe un neutrón, se convierte en un radionúclido y se desintegra emitiendo una radiación característica.
- **Actividad antrópica:** acción o intervención realizada por el ser humano que genera modificaciones en la naturaleza.
- **Actividad volcánica:** conjunto de manifestaciones de la dinámica de un volcán que ocurren tanto en su interior como en su parte externa y que están relacionadas con la evolución geológica de la Tierra.
- **Acuífero:** cuerpo de rocas porosas o fracturadas que tienen la capacidad de recibir, transmitir (dejar pasar continuamente) y almacenar agua en el subsuelo.
- **Agua subterránea:** agua que se encuentra en el subsuelo producto de la infiltración a través de poros o fracturas de sedimentos y rocas proveniente de lluvias o de fuentes superficiales. También se considera agua subterránea a aquella porción de agua que una roca contenía en el momento en que fue sepultada.
- **Amenaza:** de acuerdo con lo que establece la Ley 1523 de 2012, es el peligro latente de que un evento físico o químico de origen natural, o causado o inducido por la acción humana, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los bienes ambientales.
- **Amenaza sísmica:** probabilidad de ocurrencia de cualquier fenómeno físico (por ejemplo, una sacudida o falla del terreno) asociado con un terremoto que puede producir efectos adversos sobre las actividades normales de la gente.

- **Amenaza volcánica:** peligro latente de que un evento de origen volcánico se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en salud, bienes, infraestructura, medios de sustento, prestación de servicios y la base natural.
- **Bioestratigrafía:** rama de la geología que estudia la distribución y aparición de fósiles de plantas y animales en las diferentes capas de roca para determinar la relación que existía entre el entorno natural y la edad relativa de los cuerpos sedimentarios que hoy están representados en esas capas.
- **Captura, uso y almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂):** conjunto de procesos tecnológicos que buscan reducir las emisiones de carbono en la atmósfera, capturando el CO₂ generado a grandes escalas y en fuentes fijas para almacenarlo en el subsuelo de manera segura y permanente.
- **Ciclo del carbono:** es el intercambio de carbono entre los reservorios de la Tierra —la atmósfera, la biosfera terrestre y acuática, los sedimentos geológicos y la litosfera— a través de procesos químicos, físicos, geológicos y biológicos. Es fundamental para la regulación del clima y el sustento de la vida en la Tierra.
- **Colecciones de referencia:** colecciones especializadas de elementos geológicos que han sido colectados para ser estudiados y que permiten generar, validar o perfeccionar el conocimiento científico.
- **Diapirismo:** proceso de inyección de un material blando, deformable y móvil a través de rocas más duras ubicadas sobre él.
- **Drenaje ácido:** fluido acuoso de pH bajo (menor de 7) con una elevada concentración de iones de hidrógeno y sulfatos, acompañado normalmente de elementos químicos potencialmente peligrosos, generado por la interacción de rocas enriquecidas con sulfuros con agua y la atmósfera y por su subsecuente oxidación. Esta reacción química se puede dar de manera natural o puede ser detonada por actividades mineras.
- **Drenaje alcalino:** fluido acuoso de pH alto (mayor de 7) caracterizado por tener una alta concentración de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y estar acompañado de elementos químicos potencialmente peligrosos, solubles bajo estas condiciones de pH. Estos fluidos se generan a través de la interacción del agua con rocas ricas en carbonatos y pueden tener lugar de manera natural o ser detonados por actividades mineras.
- **Elementos potencialmente peligrosos:** elementos que ocasionan efectos adversos para la salud en diferentes niveles de concentración. Generalmente están incluidos metales pesados y metaloides como el plomo, el cadmio, el mercurio y el arsénico.
- **Escenario de riesgo:** fragmentos o campos delimitados de las condiciones de riesgo del territorio presentes o futuras, que facilitan la comprensión y priorización de los problemas como la formulación, así como la ejecución de las acciones de intervención requeridas.
- **Espectrometría alfa:** técnica que identifica elementos de la tabla periódica que se encuentran en un estado inestable y que, en su búsqueda de estabilidad, emiten partículas que se comportan como los átomos de helio.
- **Espectrometría gamma:** técnica que identifica elementos de la tabla periódica que se encuentran en un estado inestable y que, en su búsqueda de estabilidad, emiten fotones de energía.
- **Estandarización de los metadatos:** conjunto de directrices o lineamientos claros para realizar un proceso de documentación que permite que los metadatos sean consistentes y comprensibles a través de diferentes sistemas y organizaciones.

- **Fallas geológicas:** fracturas en la corteza terrestre que tienen diferentes tamaños y que presentan desplazamiento de uno o los dos bloques rocosos separados por la fractura. Pueden generar desde movimientos imperceptibles hasta elevar o profundizar enormes cuerpos de roca formando cordilleras o grandes depresiones.
- **Favorabilidad geológica:** conjunto de condiciones o características geológicas inherentes a un territorio que hacen posible que en él se presenten determinados depósitos minerales. Es sinónimo del término prospectividad mineral.
- **Flujo de calor terrestre:** se refiere a la cantidad de calor que se transfiere desde el interior de la Tierra hacia su superficie. Se deriva de la radiación del calor residual del proceso de formación del planeta, de la desintegración radiactiva de elementos de la corteza y el manto, y del movimiento de calor a través del manto terrestre.
- **Geoamenazas:** peligros latentes asociados con la manifestación de un fenómeno físico o químico cuyo origen se encuentra en dinámicas geológicas y que puede resultar en la muerte o lesiones a seres vivos, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica, daños ambientales o de servicios ecosistémicos.
- **Geocronología:** ciencia que determina cuánto tiempo ha pasado desde que ocurrieron eventos importantes en la historia de nuestro planeta como la formación de montañas, la erupción de volcanes o la evolución de la vida, para entender mejor la historia y evolución de la Tierra, así como de los seres vivos que la habitan.
- **Geodesia:** ciencia que estudia la forma y dimensiones de la Tierra. Esto incluye la determinación del campo gravitatorio externo de la Tierra y la superficie del fondo oceánico. Dentro de esta definición se incluye también la orientación y posición de la Tierra en el espacio.
- **Geodinámica:** rama de la geología que estudia los agentes, causas o fuerzas que intervienen en los procesos activos de la Tierra y su evolución.
- **Geofísica:** ciencia derivada de la geología que estudia las propiedades físicas de la Tierra, aplicada a la investigación de la estructura y composición interna del planeta, así como de otros fenómenos geológicos.
- **Geología médica:** es la disciplina que estudia la relación entre los factores geológicos naturales y la salud de los seres vivos, así como la influencia de los factores ambientales en la distribución geográfica de los problemas de salud resultantes de esa interacción.
- **Geoparque:** áreas geográficas únicas y unificadas en las que se gestionan sitios y paisajes de importancia geológica internacional a través de un concepto holístico de protección, educación y desarrollo sostenible. Actualmente existen 213 geoparques mundiales de la Unesco ubicados en 48 países.
- **Geotermia:** calor natural al interior de la Tierra. Este calor es una fuente de energía que puede ser aprovechada y se le conoce como energía geotérmica.
- **Geotopo:** segmento o porción espacial claramente delimitado de la geosfera, definido en virtud de los valores patrimoniales, científicos, educativos o culturales existentes en sus elementos integrantes o en el conjunto de estos.
- **Geositio:** tipo especial de geotopo de interés global donde los bienes de interés geológico y paleontológico, individualmente o en conjunto, son relevantes desde el punto de vista patrimonial geológico y paleontológico de la nación.
- **Gradiente geotérmico:** variación de la temperatura del subsuelo con respecto a la profundidad. En promedio, el gradiente geotérmico de la Tierra es de 30 °C por cada 1000 metros de profundidad.

- **Gestión del riesgo:** conjunto de actividades coordinadas para identificar, cuantificar, analizar, hacer seguimiento e intervenir para evitar o reducir los riesgos a la salud ambiental y humana.
- **Haz de electrones:** flujo de electrones de alta energía utilizado para irradiar alimentos y otros productos para desinfectarlos o cambiar sus propiedades.
- **Hidrogeoquímica:** ciencia interdisciplinaria que trata el origen, los procesos y la evolución de la composición del agua almacenada en las rocas y sedimentos. Determina la calidad natural del agua mediante análisis fisicoquímicos e isotópicos y aporta información al modelo hidrogeológico conceptual.
- **Hidrógeno blanco:** tipo de gas emanado de forma natural en escenarios geológicos específicos, producto de reacciones químicas relacionadas por la interacción del agua con las rocas. En Colombia tiene un gran potencial como combustible limpio para la generación de energía eléctrica a comunidades cercanas a las zonas prospectivas.
- **Huella de carbono:** rastro que deja la cantidad total de gases de efecto invernadero (como el dióxido de carbono) liberados a la atmósfera debido a actividades humanas como el uso de energía, la producción de alimentos y el transporte.
- **Huella digital de minerales:** técnica dirigida a determinar y cuantificar elementos químicos presentes en pequeñas cantidades en el mineral de interés. Estos minerales se presentan en un espectrograma, que es único para cada muestra mineral.
- **Huella geoquímica:** designa la composición química característica que permite identificar la historia geológica y los procesos que han afectado a una muestra geológica, siendo útil en la exploración de recursos y la evaluación ambiental.
- **Impacto ambiental:** cualquier alteración en el medio ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, la cual pueda ser atribuida al desarrollo de un proyecto, obra o actividad (Decreto 1076, 2015).
- **Irradiación de muestras:** proceso por el cual las muestras son introducidas al reactor nuclear para ser activadas con neutrones e inducir radiactividad en ellas.
- **Isótopos:** distintos tipos de átomos de un mismo elemento químico con la misma cantidad de protones, pero diferente cantidad de neutrones en su núcleo que, además, comparten propiedades fisicoquímicas similares.
- **Fisión nuclear:** proceso por el cual un núcleo atómico se divide en dos núcleos más pequeños liberando energía, radiación y neutrones.
- **Línea base geoquímica:** concentraciones naturales de elementos químicos en determinada ubicación geográfica que se pueden cuantificar mediante el análisis de diferentes medios naturales como agua, sedimentos, suelos y rocas.
- **Línea meteórica:** herramienta creada mediante la colección de agua lluvia de manera periódica y utilizada para interpretar resultados isotópicos de muestras de agua provenientes de acuíferos, ríos, lagos, embalses, entre otros. Permite inferir el origen, flujos y tiempos de tránsito del agua subterránea.
- **Lixiviación:** término utilizado en geoquímica y en geología para indicar cualquier proceso de extracción o solubilización selectiva de constituyentes químicos de una roca, mineral, depósito sedimentario o suelo, por la acción de un fluido.
- **Metalogénesis:** estudio de los procesos geológicos que conducen a la formación de depósitos minerales. Esta disciplina combina conocimientos de geología, geoquímica, geofísica y tectónica para entender dónde,

cuándo y cómo se acumulan los metales en la corteza terrestre.

- **Mercurio:** elemento químico con símbolo Hg conocido por ser un metal líquido a temperatura ambiente. Es altamente tóxico, capaz de causar daños neurológicos y ambientales significativos, especialmente cuando se convierte en metilmercurio en el medio ambiente, y, por tanto, afectar la vida acuática y la salud humana.
- **Minería artesanal:** actividad minera dedicada a la extracción o recolección de minerales mediante el empleo de herramientas y técnicas manuales, sin la utilización de equipo mecanizado, maquinaria o explosivos para su arranque o de reactivos tóxicos en los procesos de beneficio.
- **Mitigación del riesgo:** conjunto de acciones de prevención, control, atenuación, restauración o compensación de impactos ambientales negativos.
- **Modelo hidrogeológico conceptual:** representación bi o tridimensional de las condiciones estáticas y dinámicas de sistemas hidrogeológicos que sintetizan las condiciones básicas del estado y dinámica de las aguas subterráneas y sus relaciones con aguas superficiales y los aportes atmosféricos.
- **Movimiento en masa:** desplazamiento ladera abajo de material constituido por roca, suelo, tierras o escombros por acción de la gravedad. Los eventos detonantes de este tipo de proceso son intervenciones humanas (cortes para diversos tipos de infraestructura), lluvias, sismos o ascensos en los niveles de aguas subterráneas.
- **Nanocompuestos:** materiales que incorporan nanopartículas (tamaños de milésimas de milímetro) en una matriz de material para mejorar propiedades como la resistencia mecánica, la durabilidad o la funcionalidad eléctrica y térmica.
- **Nanopartícula:** una partícula que mide menos de 100 nanómetros, lo que le confiere propiedades únicas que no se encuentran en materiales más grandes, tales como cambios en la reactividad, la resistencia y las características ópticas. Esto hace que las nanopartículas sean útiles en campos como la medicina, la electrónica y la energía.
- **Neutrón:** partícula que se encuentra dentro del núcleo atómico y su nombre se deriva del no poseer carga eléctrica; es decir, es neutra.
- **Nivel freático:** plano o superficie que separa condiciones saturadas de las no saturadas de agua en suelos o rocas. Suele seguir de manera aproximada la superficie del terreno dependiendo de la presión del agua en el subsuelo. En términos geoquímicos, el nivel freático separa condiciones de reducción y oxidación.
- **NORM:** materiales que contienen elementos radiactivos que se encuentran naturalmente en la corteza terrestre. Contienen radionúclidos de elementos como el uranio, el torio o el potasio en cantidades variables. Son de interés dado que por su contenido radiactivo se utilizan en aplicaciones industriales o porque pueden representar riesgos para la salud y el medio ambiente.
- **Patrimonio espeleológico:** conjunto de elementos y procesos asociados a las cuevas y cavernas, tanto a nivel superficial como del subsuelo. Son objeto de protección y aprovechamiento sostenible por sus valores ecológicos, paisajísticos, arqueológicos, culturales, hidrogeológicos y paleontológicos.
- **Patrimonio geológico:** conjunto de elementos o lugares que poseen valores de naturaleza patrimonial con características científicas, culturales y educativas, que permiten conocer, estudiar e interpretar el origen y evolución de la Tierra, los procesos que la han modelado, los climas y paisajes del pasado y presente, así como el origen y evolución de la vida.

- **Patrimonio paleontológico:** está integrado por los fósiles y los yacimientos donde estos se encuentran, que permiten conocer, estudiar e interpretar la evolución de la historia geológica de la Tierra.
- **Pasivos ambientales:** secuelas que quedan en los ecosistemas por actividades extractivas como la minería, los hidrocarburos, el sector agrícola e industrial, antiguos botaderos de residuos, entre otros, y que no han sido reparadas o restauradas.
- **Petrocronología:** rama especializada de la geología que se enfoca en estudiar la historia temporal de las rocas utilizando una variedad de técnicas analíticas para reconstruir la evolución de las rocas a lo largo del tiempo geológico.
- **Potencial mineral:** probabilidad de existencia de depósitos minerales en función de la geología, la geofísica y la geoquímica. Está condicionada por los procesos geológicos que ocurren en el área y por la presencia de rasgos geológicos indicativos de dichos procesos.
- **Placas tectónicas:** fragmentos de la corteza del planeta que se comportan como capas relativamente rígidas y frías, de espesores y tamaños variables, las cuales se mueven sobre la astenosfera (una zona relativamente plástica del manto superior de la Tierra). Las placas están en continuo movimiento desde el enfriamiento de la Tierra y suelen deslizarse, montarse o hundirse unas con respecto a otras.
- **Radiación gamma:** tipo de radiación ionizante con alta energía, generada por el decaimiento de ciertos isótopos radiactivos.
- **Radiación ionizante:** tipo de energía que puede remover electrones de las capas electrónicas de los átomos y las moléculas, creando iones.
- **Radiactividad:** proceso por el cual los núcleos inestables decaen o se desintegran espontáneamente, emitiendo energía o partículas. Un elemento radiactivo posee un núcleo inestable que se descompone con el tiempo, liberando partículas (como electrones, alfas, positrones o neutrones) o fotones (como los rayos gamma).
- **Radionúclido:** elemento químico que se encuentra en un estado inestable, liberando radiación a medida que se descompone y logra su estabilidad.
- **Radiotrazador:** compuesto radiactivo utilizado para rastrear procesos o estudiar el comportamiento de sustancias en medicina, agronomía, hidrología, industria e investigación. En medicina se usa para diagnosticar enfermedades al observar cómo el trazador se distribuye en el cuerpo.
- **Reactor nuclear:** instalación en donde se producen energía y neutrones, a partir de la fisión nuclear controlada.
- **Recurso mineral:** concentración u ocurrencia de material natural, inorgánico, sólido o líquido, en o sobre la corteza terrestre y en forma, calidad y grado tal que tiene posibilidades razonables para la extracción económica de un producto por medios mecánicos o mineralúrgicos.
- **Resiliencia climática:** capacidad de las comunidades y los ecosistemas para adaptarse y recuperarse de los impactos del cambio climático, como tormentas más intensas y sequías más prolongadas.
- **Riesgo de desastres:** daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a eventos físicos o químicos peligrosos de origen natural, socionatural, tecnológico, biosanitario o humano, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos.
- **Roca:** esencia del material geológico. Se forma por partículas o cristales unidos entre sí por aglutinantes naturales que le confieren dureza. El modo más simple de su conformación es

la acumulación de partículas que se compactan en condiciones apropiadas de presión y temperatura. Otra manera común del proceso de formación de rocas es el enfriamiento de materiales fundidos en el subsuelo que, al ascender hacia la superficie, se enfrían y cristalizan formando cuerpos macizos.

- **Sismo:** expresión de la liberación de energía cuando se producen rupturas de las rocas debidas a la actividad de las fallas geológicas. Esto también ocurre por movimientos en el subsuelo producidos por el ascenso de materiales, como en los volcanes. Se pueden producir sismos de manera artificial, como en las grandes detonaciones en obras de infraestructura, en sobrecarga de las grandes represas o en la actividad relacionada con la extracción de hidrocarburos, aprovechamiento geotérmico, etc.
- **Sismicidad inducida o desencadenada:** sismicidad provocada por una modificación humana en el entorno, que incrementa la actividad sísmica. Si bien las magnitudes de esta sismicidad suelen ser mínimas, ciertas actividades como la inyección de fluidos en el subsuelo, el llenado de grandes represas y la minería de gran escala pueden generar sismos de magnitudes con capacidad de destrucción.
- **Sistemas de Información Geográfica (SIG):** herramientas para el tratamiento de datos espaciales. Abarcan aspectos como *hardware* y *software*, lenguajes de programación, datos geoespaciales y su funcionamiento conjunto que permiten crear consultas interactivas, analizar información espacial, editar datos, integrar mapas y presentar los resultados de estas operaciones.
- **Sistema geotérmico:** región de la Tierra donde las rocas sólidas han sufrido, mediante procesos naturales, una elevación en la temperatura con respecto a regiones contiguas. Las rocas pueden contener importantes cantidades de fluido. El sistema geotérmico puede estar constituido por una fuente de calor, reservorio, capa sello y zonas de recarga.
- **Sistemas minerales:** factores geológicos y geodinámicos que controlan a todas las escalas el inicio, evolución y preservación de los depósitos minerales y acentúan los procesos de movilización de los componentes minerales desde una fuente, transportándolos y acumulándolos en forma más concentrada y luego preservándolos a lo largo de la historia geológica.
- **Sitio de la geodiversidad:** cualquier segmento o porción espacial de la diversidad geológica constituido por elementos abióticos naturales in situ, tales como afloramientos de roca, yacimientos, formas del relieve, paisajes geológicos, formaciones y estructuras rocosas o procesos geológicos activos. Es la denominación otorgada a un sitio geológico previo a ser declarado como geotopo.
- **Suelo:** capa superior de la corteza terrestre compuesta por minerales, materia orgánica, agua, aire y seres vivos. Funciona como un medio vital para el crecimiento de las plantas, desempeña un papel crucial en el ciclo de nutrientes y sirve como un filtro natural para las aguas subterráneas. Resulta esencial para la agricultura y la silvicultura, ya que proporciona soporte para la producción de alimentos y biomasa.
- **Subsuelo:** se trata de todo aquello que se encuentra desde el núcleo del planeta Tierra hasta el suelo. El subsuelo consiste en todos aquellos materiales geológicos a los que solamente se puede acceder mediante excavaciones y perforaciones.
- **Técnicas isotópicas:** los trazadores isotópicos ambientales son herramientas con las cuales es posible evaluar el origen, interacción con el ambiente, fuentes de contaminación y la calidad de diferentes matrices como el agua, suelo y subsuelo. Para la evaluación del ciclo del agua, el uso de técnicas isotópicas permite

conocer el origen, flujo, tiempos de residencia, dinámicas de evaporación, etc.

- **Tectónica:** especialidad de la geología orientada al estudio de las estructuras geológicas producidas por deformación de la corteza terrestre y a los procesos que estas estructuras originan. La deformación puede ser dúctil (plegamientos o dobleces de los materiales geológicos) o frágil (fracturas que incluyen fallas y diaclasas).
- **Termocronología:** disciplina de la geología que utiliza la distribución de elementos radiactivos en minerales para determinar los cambios de temperatura a los que se ha sometido una roca, por ejemplo, cuánto tiempo ha pasado desde que la roca alcanzó cierta temperatura. La aplicación de esta técnica permite comprender la historia geológica de una región.
- **Tierras raras:** grupo de 17 elementos químicos que incluye 15 lantánidos más el escandio y el itrio. Debido a sus propiedades magnéticas, luminiscentes y catalíticas, son esenciales para la fabricación de dispositivos electrónicos, motores eléctricos y tecnologías de energía renovable. No son raros en la corteza, pero su extracción y procesamiento resultan complejos y costosos.
- **Tratamiento fitosanitario:** proceso que se usa para proteger las plantas y productos agrícolas de plagas, enfermedades y otros daños.
- **Uranio:** elemento pesado cuyo radionúclido ^{235}U tiene la propiedad de fisionarse y que se utiliza como combustible nuclear.
- **Volcán:** ruptura de la superficie terrestre, por donde suben materiales fundidos y emanan a la superficie a modo de gases, cenizas, bloques o roca fundida.
- **Volcanes de lodo:** colinas en forma de cono o de domo formadas por el abombamiento de la superficie y por el ascenso de fluidos, que liberan la presión en el subsuelo producida por descomposición bacteriana de grandes cantidades de materia orgánica acumulada dentro de sedimentos.
- **Vulnerabilidad:** susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que una comunidad o sus medios de subsistencia tienen de ser afectados o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico o químico peligroso se presente.
- **Vulnerabilidad ambiental:** susceptibilidad de los ecosistemas y las comunidades a sufrir daños o cambios adversos debido a factores como la contaminación, el cambio climático, la deforestación o la sobreexplotación de recursos naturales.
- **Zona de Protección Patrimonial Geológica y Paleontológica:** área geográficamente delimitada y declarada por el Servicio Geológico Colombiano en razón de la presencia de un geotopo o conjunto de geotopos que por su excepcionalidad geológica presentan valor científico, educativo o cultural, lo cual implica el establecimiento de medidas de manejo, protección y conservación.
- **Zonas de recarga:** lugares en donde, debido a condiciones de fracturamiento, tipo de roca o porosidad de suelos y rocas, el agua se infiltra y llega hasta los acuíferos.

Bibliografía anexos

- Agencia Ambiental Europea. (8 de diciembre de 2022). *Soil pollution and health*. <https://www.eea.europa.eu/publications/zero-pollution/health/soil-pollution>
- Agencia Internacional de Energía. (2021). *The role of critical minerals in clean energy transitions*. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- Arrobas, D. L., Hund, K. L., McCormick, M. S., Ningthoujam, J. y Drexhage, J. R. (2017). *The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future (English)*. World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/207371500386458722/The-Growing-Role-of-Minerals-and-Metals-for-a-Low-Carbon-Future>
- Banco Mundial. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: Un aporte para la construcción de políticas públicas*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/671321468026993367/pdf/701030ESWOP1290ESTIONODELORIESGOWeb.pdf>
- Bouchet, M., Landais, A., Grisart, A., Parrenin, F., Prié, F., Jacob, R., Fourré, E., Capron, E., Raynaud, D., Lipenkov, V. Y., Loutre, M. F., Extier, T., Svensson, A., Legrain, E., Martinerie, P., Leuenberger, M., Jiang, W., Ritterbusch, F., Lu, Z.-T. y Yang, G.M. (2023). The AICC2023 chronological framework and associated timescale for the EPICA Dome C ice core, EGU sphere. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-1081>
- Castro, L. N. y Melgar, R. J. (2005). Rocas fosfáticas. En H. Nielson y R. Sarudiansky (Eds.), *Minerales para la agricultura en Latinoamérica* (pp. 39-61).
- Celis, T. (12 de noviembre de 2015). La tragedia de Armero le costó al país 2,05% del Producto Interno Bruto de 1985. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/la-tragedia-de-armero-le-costo-al-pais-2-05-del-producto-interno-bruto-de-1985-2321931>
- Comisión Colombiana del Océano. (2018). *Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros – PNOEC*. <https://cco.gov.co/pnoec/>
- Comité Técnico Nacional de Asuntos Antárticos. (2014). *Agenda Científica Antártica de Colombia 2014-2035*. Comisión Colombiana del Océano.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (s.f.). *Índice de precios al consumidor*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc/ipc-historico>
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Índice municipal de riesgo de desastres ajustado por capacidades*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/IndiceMunicipaldeRiesgodeDesastres.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación. (2023). *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026*.
- Enerdata. (s.f.). *Producción de carbón y lignito*. <https://datos.enerdata.net/carbon-lignito/produccion-carbon.html>
- Grand View Research. (2022). *Phosphate Rock Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Fertilizers, Food & Feed Additives, Industrial), By Region (North America, Europe, APAC, South America, MEA), And Segment Forecasts, 2022 - 2030* (Informe GVR-3-68038-281-5). <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/phosphate-rock-market>

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2021). *Informe del estado de los glaciares colombianos 2020*.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2022). *Estudio Nacional del Agua*.
- International Atomic Energy Agency. (2022). *Assessment of soil phosphorus status and management of phosphatic fertilisers to optimise crop production* (Informe IAEA-TECDOC-1272). <https://www.iaea.org/publications/6419/assessment-of-soil-phosphorus-status-and-management-of-phosphatic-fertilisers-to-optimize-crop-production>
- Luque Molano, J. (2020). *Evaluación económica de la producción de información geocientífica: Mapa de Amenaza Sísmica en Colombia* [Tesis de maestría, Universidad de Los Andes]. <http://hdl.handle.net/1992/48444>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente NSR-10. Tomo 1*. https://www.andi.com.co/Uploads/Reglamento_colombiano_construccion_sismo_resistente_636536179523160220.pdf
- Mora-Páez, H., Giraldo, L., Corchuelo, Y., Gutiérrez, N., Bohórquez, O., Ramírez, J., Díaz, F., Martínez G., Álvarez C., Moreno R. y Escalante-Sierra, C. (2021). Velocidades geodésicas horizontales GPS GeoRED 2.0. Servicio Geológico Colombiano.
- Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable. (s.f.). *Hydrogen Storage*. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Organismo Internacional de Energía Atómica. (2007). Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. *Boletín FAO Fertilizantes y Nutrición Vegetal*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/68c034e9-fdf8-4f8e-9ecc-a57ad16951c7/content>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2022, 10 de febrero). *Cumbre “Un Océano”: la UNESCO se compromete a cartografiar al menos el 80 % de los fondos marinos para 2030* [Comunicado de prensa]. <https://www.unesco.org/es/articulos/cumbre-un-oceano-la-unesco-se-compromete-cartografiar-al-menos-el-80-de-los-fondos-marinos-para-2030>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2019). *Global Material Resources: Outlook to 2060: Economic drivers and environmental consequences*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>
- Rixhon, G. (2022). A question of time: historical overview and modern thought on Quaternary dating methods to produce fluvial chronologies. *Quaternaire*, 33(2), 75-98. <https://doi.org/10.4000/quaternaire.16705>
- Rojas Hayes, C. (2019). Transformación de la minería. *Portafolio*.
- Rueda, C., Rodríguez, F., Ortega, M., Ballesteros, J., Tovar, C., Sierra, H., García, J., Ruíz, J., Barbosa, H. y Figueroa, G. (2023). *Lineamientos para el establecimiento de Minerales Estratégicos en Colombia*. Agencia Nacional de Minería – Grupo de Promoción.
- Tate, R. D. (2022). Bigger than oil or gas? Sizing up coal mine methane. *Global Energy Monitor Report*. <https://globalenergymonitor.org/es/report/worse-than-oil-or-gas/>
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2023). Consolidado anual de emergencias. <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Consolidado-Atencion-de-Emergencias.aspx>

Decretos y leyes

- CONPES 3577 de 2009. Política Nacional para la Racionalización del Componente de Costos de Producción Asociado a los Fertilizantes en el Sector Agropecuario. 18 de marzo de 2009.
- CONPES 4010 de 2020. Declaración de Importancia Estratégica del Compromiso por Colombia: Programa Vías para la Legalidad y la Reactivación, Visión 2030. 30 de noviembre de 2020.
- Decreto 1353 de 2018, por el cual se adiciona el capítulo 10 al Título V de la parte 2 del libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía en lo relacionado con la gestión integral del patrimonio geológico y paleontológico de la Nación y se dictan otras disposiciones. 31 de julio de 2018.
- Decreto 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. 13 de mayo de 2014.
- Decreto 2703 de 2013, por el cual se establece la estructura interna del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y se determinan las funciones de sus dependencias. 22 de noviembre de 2013.
- Decreto 4131 de 2011, por el cual se cambia la Naturaleza Jurídica del Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas). 3 de noviembre de 2011.
- Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. 24 de abril de 2012.
- Ley 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. 13 de mayo de 2014.
- Ley 1753 de 2015, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”. 9 de junio de 2015.
- Ley 2099 de 2021, por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones. 10 de julio de 2021.
- Ley 2237 de 2022, por medio de la cual se protege el patrimonio espeleológico colombiano. 8 de julio de 2022.
- Ley 2294 de 2023, por la cual se adopta el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026. 19 de mayo de 2023.
- Ley 2327 de 2023, por medio de la cual se establece la definición de pasivo ambiental, se fijan lineamientos para su gestión y se dictan otras disposiciones. 13 de septiembre de 2023.

SERVICIO
GEOLÓGICO
COLOMBIANO

