VISOR GEOGRÁFICO GEOMIN PARA LA VISUALIZACIÓN DE DATOS EN EL SECTOR MINERO EN LA JURISDICCION CAR

Autor

Ing Alexis Xiomara Fajardo Rodríguez

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director German Cifuentes Contreras

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

BOGOTÁ D.C.

2024

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 4
2. MARCOS DE REFERENCIA 6
   2.1 Marco conceptual 6
   2.2 Marco legal ´ 9
   2.3 Marco geográfico 10
   2.4 Antecedentes 12
   3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 16
4. JUSTIFICACIÓN 18
5. OBJETIVOS 20
   5.1 Objetivo general 20
   5.2 Objetivos específicos 20
6. METODOLOGÍA 21
   6.1 Análisis 22
   6.2 Diseño 23
   6.3 Construcción 24
   6.4 Evaluación 25
7. RESULTADOS 27
   7.1 Análisis 27
   7.2 Diseño 30
      7.2.1. Vista lógica 31
      7.2.2 Vista de Procesos 34
      7.2.3 Vista de desarrollo 35
      7.2.4 Vista física 37
      7.2.5 Fuente y recolección de datos 38
      7.2.6 Diagrama de persistencia 41
   7.3 Implementación 42
   7.4 Evaluación 45
8. CONCLUSIONES 49

Lista de imágenes

Imagen 1. Mapa Jurisdicción CAR - Cundinamarca 12
Imagen 2. Metodología SCRUM 22
Imagen 3. Diagrama de Casos de Uso 30
Imagen 4. Diagrama de secuencias 31
Imagen 5. Diagrama de clases 33
Imagen 6. Diagrama de paquetes por casos de uso 34
Imagen 7. Diagrama de actividad 35
Imagen 8. Diagrama de paquetes por clases. 36
Imagen 9. Diagrama de componentes 37
Imagen 10. Diagrama de despliegue 38
Imagen 11. Diagrama de persistencia 42
Imagen 12. Vista de GEOMIN 45
Imagen 13. Gráfico de evaluación 47

Lista de tablas

Tabla 1. Requerimientos funcionales 28
Tabla 2. Requerimientos no funcionales 29
Tabla 3. Fuente y recolección de datos 39
Tabla 4. Parámetros de evaluación empleados en las entrevistas 45
Tabla 5. Criterios de calificación 46
Tabla 6. Resultados de la evaluación 47

1. INTRODUCCIÓN

El sector minero representa una de las actividades económicas de mayor impacto ambiental y social, debido a la explotación intensiva de recursos naturales y a la alteración de los ecosistemas donde se desarrolla (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, 2019). Para mitigar estos efectos, resulta fundamental identificar y caracterizar adecuadamente las áreas de influencia de los proyectos mineros, abarcando tanto los aspectos bióticos abióticos y socioeconómico, este proceso de caracterización requiere un enfoque interdisciplinar que integre conocimientos de distintas áreas, con el fin de desarrollar solicitudes sólidas para licencias y permisos ambientales, así como para facilitar los procesos de evaluación, seguimiento y control. Una caracterización detallada permite una mejor comprensión de los posibles impactos y la implementación de estrategias de mitigación efectivas, lo cual es esencial para lograr un desarrollo minero más sostenible (Bebbington et al. 2008).

La información geográfica adquiere en este contexto un papel central, ya que proporciona una base que facilita el análisis de los territorios afectados, a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), es posible integrar, visualizar y analizar datos complejos que describen las condiciones de las zonas de influencia minera. Esto permite una toma de decisiones informada, asegurando que los impactos se evalúen de manera integral y se implementen medidas de control adecuadas.

En este trabajo se presenta el desarrollo de GEOMIN, un visor geográfico diseñado para la visualización y consulta de datos específicos del sector minero en este sentido la finalidad de esta

herramienta es facilitar el acceso a información geográfica relevante, apoyando a los profesionales del sector minero y los entes responsables en la evaluación y monitoreo continuo de las actividades mineras. Este visor está pensado para proporcionar una plataforma intuitiva y accesible que permita integrar múltiples capas de información geoespacial, favoreciendo el análisis detallado y la identificación de áreas prioritarias para la intervención ambiental, áreas para la extracción entre otras. Con GEOMIN, se espera optimizar los procesos de formulación, seguimiento evaluación y control ambiental, contribuyendo así al cumplimiento de los requisitos normativos y al desarrollo de prácticas mineras más responsables y sostenibles.

2. MARCOS DE REFERENCIA

2.1 Marco conceptual

Los geovisores están estrechamente relacionados con los Sistemas de Información Geográfica - SIG, ya que actúan como interfaces visuales que permiten a los usuarios interactuar y analizar datos geoespaciales de manera intuitiva, siendo los Sistemas de información geográfica los que se pueden definir como herramientas informáticas, capaces de gestionar y analizar la información georreferenciada, con vistas a la resolución de problemas de base territorial y medio ambiental a través de la realización de operaciones automáticas en los ordenadores, enfocándose en la gestión, análisis y modelación de información geográfica, la cual puede ser de doble componente, temático y espacial, en este sentido los SIG están dirigidos al conocimiento y estudio de las estructuras espaciales donde la posición relativa que ocupan los elementos geográficos relativos a un determinado fenómeno resultan esenciales, siendo así multipropósito (Pérez et al. 2023).

Por otra parte, un geovisor es una herramienta basada en SIG que permite visualizar, consultar y analizar datos geoespaciales a través de mapas interactivos el cual se utiliza comúnmente para la representación de información geográfica en forma visual, facilitando el acceso a capas de datos, mediciones y análisis de territorios o fenómenos geográficos, siendo de gran utilidad para la toma de decisiones en áreas como la planificación urbana, la gestión ambiental y la investigación geográfica (Gascón, 2018).

En ese sentido se hace relevante conocer a uno de los actores que son indispensables para que las herramientas geográficas como los geovisores se desarrollen y faciliten la gestión y el análisis, los

Datos abiertos los cuales son datos públicos gratuitos que cuentan con condiciones técnicas y jurídicas necesarias para su uso, reutilización y redistribución libre por cualquier persona, en cualquier momento y lugar, estos deben ser accesibles mediante formatos digitales, deben permitir ser usados a través de formatos o estándares que faciliten la interoperabilidad y por ultimo deben ser compartidos con certeza jurídica e integridad, según lo establecido en la carta internacional de Datos Abiertos (Serale y Muente, 2018).

Otro de los elementos a considerarse para la implementación de un geovisor son las bases de datos, siendo estas un conjunto de datos almacenados y organizados a través de una estructura de datos, algunos de los sistemas más empleados para este fin son PosgreSQL, MySQL y Oracle, las cuales se diseñan para satisfacer los requerimientos de una organización o proyecto (Marqués, 2011), las bases de datos se basan en modelos de datos, siendo estos el instrumento para generar la abstracción de datos que permite ocultar características sobre almacenamiento físico, relaciones entre datos, restricciones, actualizaciones y demás procesos que el usuario no necesita conocer, identificando que para el desarrollo de geovisores se utiliza el modelo relacional el cual se basa en el concepto matemático que se representa a través de tablas empleando terminología matemática de la teoría de conjuntos y de la lógica de predicados (Marqués, 2011).

En consecuencia, las bases de datos geográficas o espaciales permiten describir objetos espaciales a través de tres características básicas, localización o ubicación espacial en un sistema de referencia, geometría del objeto o atributo y por último la topología, a través de las cuales se realizan relaciones (Gutiérrez, 2006). Al ser un geovisor un servicio para ser accedido en la web es esencial mencionar al servidor web, el cual establece la comunicación entre distintos sistemas de software y hardware pudiendo encontrar sistemas que difieren típicamente de sus configuraciones permitiendo acceder a sus funciones a través de internet, siendo este el sistema

que comunica la bases de datos y publicación de geoservicios permitiendo así a los usuarios compartir y editar datos geoespaciales siendo un producto de código abierto destacado por su larga trayectoria y estabilidad (Puigvert, 2018), el cual cuenta con un workspace que sirve como contenedor para gestionar las capas de datos (Morales, 2022).

Por otra parte, en cuanto al sector minero es de gran relevancia conocer que acorde a la normatividad, los mineros deben formular instrumentos como el Estudio de Impacto Ambiental – EIA, para la toma de decisiones sobre los proyectos, obras o actividades que requieren licencia ambiental, este estudio deberá ser elaborado de conformidad con la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales y los términos de referencia expedidos para el efecto, e incluir como mínimo los ítems señalados en el artículo 2.2.2.3.5.1 del Decreto 1076 de 2015 (Osorio Sierra, Á. 2017) y presentarlos a las autoridades competentes la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, las Corporaciones Autónomas Regionales y las de Desarrollo Sostenible, los municipios, distritos y áreas metropolitanas cuya población sea superior a un millón de habitantes dentro de su perímetro urbano y las autoridades ambientales creadas mediante la Ley 768 de 2002, para poder obtener así una licencia ambiental la cual es la autorización que otorga la autoridad ambiental para la ejecución de un proyecto, obra o actividad que de acuerdo con la ley tiene alta potencialidad de generar impactos ambientales en este caso minería (Decreto 2041 de 2014 Por el cual se reglamente el título VIII de la ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. 15 de octubre 2014.).

Considerando que el trabajo tiene como área la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR Cundinamarca, siendo este un ente corporativo publico creado por la ley integrados por las entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica,

dotados de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargados por la ley de administrar, dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible (MADS, 2015), quien se encarga de realizar la evaluación seguimiento y control de los proyectos mineros de mediana y pequeña minería, quienes a través de visitas y revisión de documental otorgan o no licencias ambientales, se responden solicitudes, peticiones quejas o reclamos ciudadanos entre otros.

2.2 Marco legal

Entendiendo el sector minero colombiano como un gran ecosistema donde cada norma es una pieza fundamental la Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Sistema Nacional Ambiental - SINA, establece que toda actividad minera debe contar con una licencia ambiental, asegurando que se desarrollen bajo criterios de sostenibilidad, así mismo está la Ley 685 de 2001, el Código de Minas, siendo este el compendio normativo que regula todas las fases de la actividad minera, desde la exploración hasta la clausura. Esta ley busca un equilibrio entre la explotación de los recursos y la protección del medio ambiente, promoviendo un desarrollo minero sostenible.

Partiendo de estas dos leyes se despliegan diversidad de normas que proponen un lineamiento para el desarrollo de la actividad minera, una de ellas es el Decreto 1073 de 2015 específicamente reglamenta aspectos clave como las concesiones mineras, el uso de recursos naturales, y junto con el Decreto 2041 del 2014 establece que los EIA son requeridos para la obtención de licencias ambientales en proyectos relacionados con la explotación de recursos naturales, como hidrocarburos, minería y energía, estas definen el procedimiento para su presentación, evaluación y aprobación.

Estas normas de manera integrada con la Resolución 2206 del 2016, Resolución 0447 del 2020 entre otras, que establecen los términos de referencia a cumplir en para la elaboración de los EIA, incluyendo la obligación de identificar, prevenir y mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente.

Además, el sector minero debe cumplir con las normativas ambientales vigentes y estar sujeto a la participación de las comunidades afectadas en el proceso de evaluación y dar cumplimiento a normas como el Decreto 2811 de 1974, el cual en relación con la minería, establece los principios básicos de gestión y protección de los recursos naturales, regula el uso racional de los recursos del subsuelo, de la mano con la Resolución 0421 de 2024 adoptan medidas de protección de ecosistemas de importancia internacional, entre otras normas que se encargan de la protección de los ecosistemas de importancia y los servicios que estos proveen.

Por último, existen varias normas que establecen la delimitación áreas para la explotación minera como el Decreto 977 de 2024 y la Resolución 201 de 2024, o como lo han hecho y específicamente para el área de estudio la Resolución 1197 de 2004, Resolución 2001 de 2016, y Resolución 222 de 1994 que establecen estas áreas para la explotación minera en la sabana de Bogotá para los diferentes materiales susceptibles de explotación.

2.3 Marco geográfico

El trabajo se desarrolló para el área de la jurisdicción de la CAR Cundinamarca, con un área de 18.706, 4 Km^2, donde se encuentran 104 municipios: 98 pertenecientes al departamento de Cundinamarca, 6 al departamento de Boyacá y la zona rural del Distrito Capital de Bogotá D.C.

Dividida en siete regionales, Sabana de Occidente con sede en Funza, que agrupa a 9 municipios; Sumapaz en Fusagasugá con 10 municipios; Tequendama y Alto Magdalena en Girardot con 20

municipios; Rionegro con sede en Pacho y 8 municipios; Gualivá y Magdalena Centro con sede en Villeta y Sabana Norte y Almeidas en Zipaquirá con 21 municipios cada una y 15 direcciones regionales.

Siendo un territorio que tiene la presencia de 9 cuencas hidrográficas de primer orden, con algunas de las cuencas más importantes para el país como lo es la cuenca del Río Bogotá, cuenca del Río Magdalena y cuenca del Río Sumapaz (CAR Cundinamarca, 2015).

Donde en cuanto a minería dentro del territorio CAR Cundinamarca prevalece la extracción de carbón, las calizas, la sal, la roca fosfórica, las arcillas, las gravas, las arenas y las rocas, minera con la presencia de 30.000 títulos mineros de explotaciones de materiales de construcción (CAR Cundinamarca, 2015).

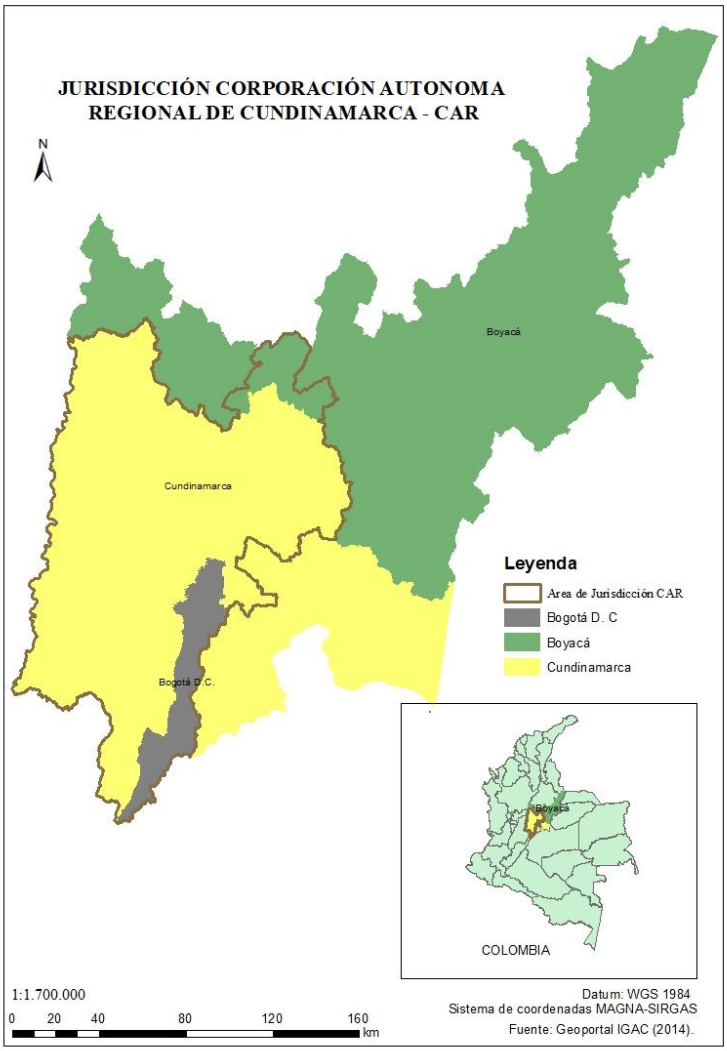

Imagen 1. Mapa Jurisdicción CAR - Cundinamarca

Fuente: Elaboración propia (2024).

2.4 Antecedentes

Los geovisores y la información geográfica en el ámbito de la minería se han consolidado como herramientas importantes para la gestión y análisis de grandes volúmenes de datos espaciales, facilitando la toma de decisiones y optimizando procesos tanto en la fase de exploración como en la explotación de recursos minerales. Estos sistemas permiten visualizar información georreferenciada en tiempo real, integrando capas de datos geográficos.

En el contexto internacional se puede encontrar uno de los sistemas más robustos desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos denominado USGS (United States Geological Survey) el cual proporciona acceso a una amplia gama de datos geoespaciales, como imágenes satelitales, mapas topográficos y datos ambientales. A través de herramientas como el Earth Explorer y el USGS National Map, permite a los usuarios visualizar, descargar y analizar información geológica, hidrológica y biológica, siendo un recurso clave para investigaciones científicas, la gestión de recursos naturales como el agua, los minerales por su parte cuentan con el geovisor Mineral Resources Data System - MRDS ofrece datos detallados sobre depósitos minerales a nivel mundial y proporciona información sobre ubicaciones de yacimientos, minerales extraídos y su geología (The U.S. Geological Survey - USGS, 1996).

Del mismo modo, en el continente europeo se implementó la plataforma geoespacial del Instituto Geológico y Minero de España - IGME diseñada para ofrecer acceso a información geológica y minera del territorio español. Específicamente para el sector minero, esta herramienta permite la visualización de datos sobre yacimientos minerales, concesiones mineras y recursos geológicos estratégicos. Además, facilita el acceso a mapas geológicos y estudios específicos sobre recursos minerales, apoyando la exploración y explotación sostenible de los recursos mineros en España (Ministerio de Ciencia, innovación y Universidades, 2024.).

En países como Australia se desarrolló un geovisor denominado AGSON Geoscience Portal, por el gobierno australiano para encontrar de manera centralizada los datos geográficos del país en un solo geovisor, el cual proporciona acceso a datos geológicos, ambientales y mineros. El portal permite la visualización de capas geoespaciales en cuanto a minería que incluyen concesiones mineras, mapas geológicos y datos de exploración (Australian Geological Survey Organisations Network , s. f.). otro de los geovisores desarrollados a nivel internacional es el Mineral Information

Map - Natural Resources Canada siendo este un geovisor canadiense que permite la consulta de datos sobre recursos minerales, ubicaciones de minas activas y pasadas, así como estadísticas sobre la producción minera, de la misma manera podremos encontrar diversidad de geovisores que se desarrollaron para la presentación de datos requeridos para la toma de decisiones en el sector minero.

Por otra parte, en Colombia cuenta con tres geovisores que presentan información geográfica correspondiente al sector minero el primero es el geovisor de la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH, con un enfoque a hidrocarburos como su nombre lo indica que proporciona información geológica y geoespacial que puede ser útil en el contexto de recursos minerales y minería. Permite explorar mapas de áreas de interés y concesiones de recursos no renovables (ANH, s.f.) el segundo es el geovisor del Ministerio de Minas y Energía denominado IDE-ME Infraestructura de Datos Espaciales del Sector Minero Energético, el cual implementó los geoservicios de la ANH, Agencia Nacional de Minería - ANM, geoservicios del instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas - IPSE, geoservicios del Servicio Geológico Colombiano - SGC, geoservicios de la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME y algunos aspectos ambientales como amenazas por incendios forestales, inundaciones y movimientos en masa (Ministerio de Minas y Energía, s.f.). desarrollada por la ANM

Por último, el geovisor ANNAMINERÍA desarrollado por la ANM siendo este el más completo presentando información minera, alguna información ambiental relacionada con el licenciamiento, áreas de exclusion, comunidades, restitución de tierras entre otras, además de permitir al usuario interactuar y cargar información y desarrollar búsquedas (ANM, s.f.).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al observar el comportamiento del sector minero colombiano se logra identificar que dicha actividad es de gran importancia para la economía del País, la cual se ha visto condicionada principalmente por el impacto ambiental que está ejerce, el sector minero energético generó 2.000 empleos nuevos e ingresos por $14,08 billones para Colombia (Ministerio de Minas y Energía, 2021), siendo un sector muy estable, teniendo un descenso importante debido a la Pandemia ocasionada por el Covid 19 y en crecimiento desde entonces, predominando la extracción níquel, carbón, oro, plata, caliza, material de construcción y esmeraldas (Echeverri et al., 2021).

En concordancia el impacto ambiental ejercido por la minería en los medios biótico, abiótico y socioeconómico, incentivó la implementación de prácticas sostenibles y regulaciones estrictas para mitigar los daños ambientales asociados a la actividad minera, en ese sentido se establece la ley 99 de 1993 por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA, el cual establece la obligatoriedad de la licencia ambiental para el desarrollo de actividades mineras, reglamentada a través del Decreto 2041 del 2014 en el cual se establece que deben presentarse ante la autoridad ambiental competente EIA que cumplan con los términos de referencia establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible y la ANLA, para la elaboración, de los instrumentos ambientales para minería se requiere un alto volumen de información geográfica que sirva como insumo para describir, caracterizar y diseñar el proyecto.

En este sentido la formulación, evaluación, seguimiento y control de los proyectos mineros está a cargo de profesionales que deben conocer toda la información posible del área de influencia del proyecto minero, a través de datos abiertos que se encuentran dispersos en diferentes plataformas, como el SGC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, Instituto de Hidrología, Meteorología

y Estudios Ambientales - IDEAM, ANM entre otras, lo que dificulta a los profesionales la sinergia entre estas áreas de estudio, haciendo que la recopilación, análisis y aplicación de la información sea un proceso dispendioso y propenso a errores, toda vez que se requiere tener conocimientos previos en el manejo de información geográfica para obtener los datos apropiados asimismo realizar numerosas búsquedas y descargas de información por ejemplo se debe consultar los datos en el IGAC, ANM, instituto Humboldt, IDEAM, SGC como mínimo, además de tener que contar con un sistema de información geográfica y conocimiento previo para poder integrar los datos, visualizarlos e interactuar con ellos, esta situación no solo retrasa la toma de decisiones informadas, sino que también puede llevar a evaluaciones incompletas o sesgadas de los proyectos mineros.

Por lo tanto la implementación de un geovisor en este caso GEOMIN como herramienta donde se encuentra toda la información geográfica de importancia para desarrollar el proceso de formulación, evaluación, seguimiento y control en proyectos de minería, que incluye todas las capas temáticas, herramientas de visualización, que permite el cargue de puntos de referencia tomados en campo para la observación de problemáticas puntuales, solicitudes, entre otros, facilitando así el análisis holístico a través de la integración y visualización de la información temática, favoreciendo la gestión de recursos, minimizando o previniendo impactos ambientales previsibles desde la formulación, contribuyendo así a avanzar hacia una minería más sostenible y responsable con el medio ambiente y la sociedad.

4. JUSTIFICACIÓN

La implementación de GEOMIN como herramienta que posibilita la integración y presentación de la información geográfica relevante para proyectos mineros, permite superponer capas de datos geoespaciales, como la topografía, geología, geomorfología, hidrología, hidrogeología, meteorología, ecosistemas, suelos y usos de la tierra, áreas de exclusion minera, infraestructura existente, títulos mineros y áreas mineras entre otros, facilitando así comprender el terreno y sus características, a través de la superposición de capas, herramientas de visualización como acercar y alejar para obtener diversidad de perspectivas y detalle de la información, filtros de búsqueda además de permitir el cargue de puntos relevantes identificados en campo.

Al contar con estas características GEOMIN, se presenta como una herramienta práctica para el sector minero al facilitar la búsqueda y presentación de datos geográficos relevantes. La plataforma organiza y muestra la información de manera clara y comprensible, permitiendo a los profesionales del sector minero acceder a datos de manera interdisciplinar, de fácil visualización y consulta a través de un entorno intuitivo. Esto evitará que el profesional deba realizar la búsqueda, descarga y recopilación de información en diversas plataformas, donde, además, se requerirían conocimientos previos en herramientas y tecnologías relacionadas con información geográfica para interactuar con los datos. De este modo, GEOMIN unifica la información, haciendo más eficiente la formulación de proyectos mineros y la revisión de antecedentes de las áreas a evaluar.

El uso de GEOMIN no solo mejora la eficiencia, sino que también incrementa la capacidad de los usuarios para identificar riesgos, planificar operaciones y asegurar el cumplimiento de normativas ambientales. Al proporcionar una visión consolidada y accesible de la información geoespacial, los profesionales pueden tomar decisiones más informadas, que favorecen tanto la protección del

medio ambiente como el desarrollo de una minería de manera responsable y sostenible. De tal forma que se de actividad minera que respete y proteja los recursos naturales, minimizando los impactos negativos en el entorno.

Adicionalmente, cabe destacar que GEOMIN promueve la transparencia y la colaboración entre las partes interesadas en la actividad minera. Al ofrecer una plataforma común para la visualización y el intercambio de datos geoespaciales, facilita la comunicación entre mineros, ingenieros, planificadores y autoridades reguladoras, quienes se encargan de tomar decisiones, de realizar la formulación de los instrumentos ambientales como EIA también se encargan de realizar evaluación seguimiento y control de los proyectos mineros, la cual le servirá de apoyo para obtener calidad y pertinencia en el desarrollo de sus actividades. Este enfoque colaborativo no solo mejora la coordinación y reduce los errores, sino que también garantiza el cumplimiento de las normativas como los son la Ley 99 de 1993 donde se establece la obligatoriedad de la Licencia Ambiental, así como el Decreto 2041 del 2014 en la cual se establece la presentación de EIA en cumplimiento con el lineamiento de MADS y ANLA, promoviendo una gestión más responsable del territorio y de los recursos naturales. Así, herramientas tecnológicas como GEOMIN potencian la capacidad de las organizaciones para tomar decisiones informadas y sostenibles, impulsando un desarrollo minero más consciente y respetuoso con el medio ambiente.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Implementar un visor geográfico para la presentación de información geográfica como insumo para la formulación, evaluación seguimiento y control de proyectos de pequeña y mediana minería en la jurisdicción CAR Cundinamarca.

5.2 Objetivos específicos

- Determinar los requerimientos técnicos y funcionales del visor geográfico, identificando las fuentes de información y necesidades de los usuarios para proyectos mineros en la CAR Cundinamarca.
- Diseñar la arquitectura del software siguiendo el modelo 4+1, estableciendo los componentes clave y sus interacciones, con el propósito de garantizar un diseño modular, escalable y alineado con los requisitos funcionales y no funcionales del visor geográfico.
- Construir un visor geográfico el cual permita realizar la visualización, consulta e interacción con los datos geográficos del sector minero.
- Evaluar la funcionalidad y usabilidad del visor geográfico GEOMIN mediante pruebas de usuarios, con el propósito de identificar oportunidades para mejorar su implementación técnica y experiencia de usuario.

6. METODOLOGÍA

Se eligió la metodología Scrum (ver imagen 2) para el desarrollo del geovisor GEOMIN, ya que proporciona un marco de trabajo ágil que facilita la adaptabilidad y las entregas rápidas, cualidades esenciales considerando que el proyecto tiene un alcance definido y un tiempo limitado para su desarrollo. La implementación de Scrum resulta particularmente adecuada porque organiza el trabajo en iteraciones cortas llamadas sprints, cada una con una duración de dos semanas. Esto permite realizar entregas incrementales, evaluar el progreso con frecuencia y realizar ajustes según sea necesario, optimizando tanto el tiempo como los recursos disponibles (Schwaber y Sutherland, 2020).

El enfoque ágil de Scrum no solo permitió dividir el proyecto en ciclos manejables, sino que también facilitó la coordinación entre las diferentes etapas de análisis, diseño, construcción y evaluación. Adicionalmente, el uso de prácticas de reutilización de componentes simplificó el desarrollo técnico y aseguró la consistencia del sistema.

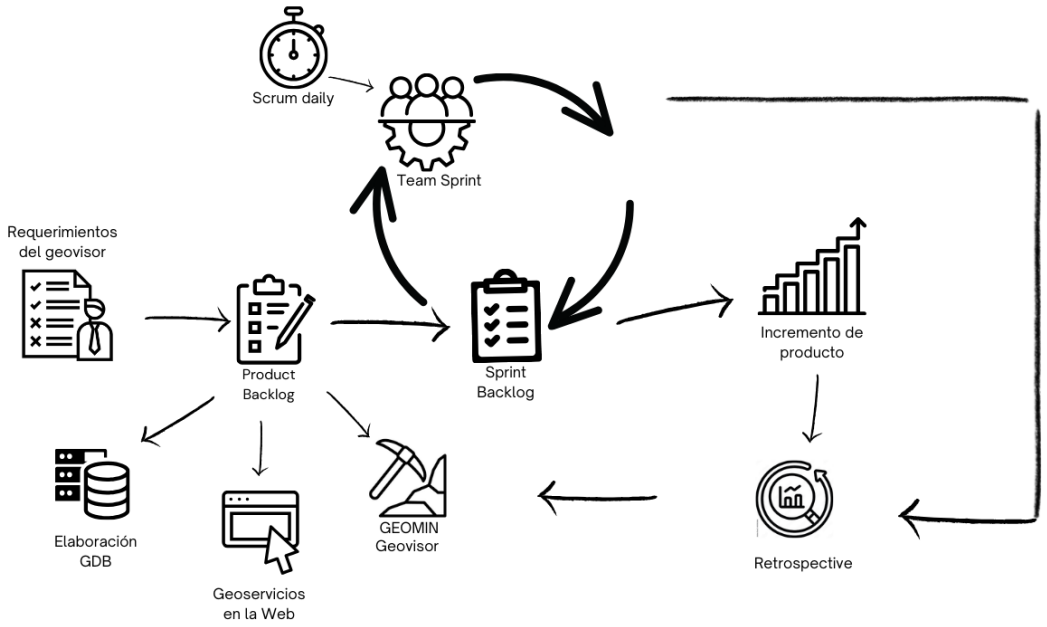

Imagen 2. Metodología SCRUM

Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el desarrollo del proyecto y acorde a la metodología empleada se definieron 4 sprint, para el sprint 1 se desarrollaron requerimientos funcionales y no funcionales y casos de uso iniciales, para el sprint 2 se elaboró el diseño de la arquitectura de software compuesto por diagramas de paquetes por casos de uso, de actividad, de componentes , en el sprint 3 se elaboró el diagrama de persistencia y la base de datos, por último el sprint 4 en el que se implementó la arquitectura de software planteada y se desarrolla el geovisor.

Para el desarrollo del proyecto y acorde a la metodología empleada se definieron 4 fases fundamentales para la consecución del mismo, descritas a continuación.

6.1 Análisis

En esta fase inicial, se llevó a cabo un análisis detallado para sentar las bases del desarrollo del geovisor GEOMIN. Este proceso comenzó con la selección y diseño de la metodología Scrum, considerando los recursos disponibles, las restricciones de tiempo y la viabilidad técnica del proyecto. La elección de esta metodología ágil aseguró un enfoque iterativo y flexible para abordar los desafíos del desarrollo.

A continuación, se identificaron los usuarios potenciales del sistema, principalmente profesionales encargados de la formulación, evaluación, seguimiento y control de proyectos mineros en la jurisdicción de la CAR. Este análisis permitió determinar las necesidades específicas de los usuarios, que fueron clave para la definición de los requerimientos funcionales y no funcionales del visor. Entre los aspectos destacados, se priorizó la capacidad del geovisor para ofrecer herramientas de visualización, navegación de datos geográficos, alineándose con los objetivos del proyecto.

Además, se desarrollaron casos de uso detallados que describen cómo interactuarían los usuarios con el sistema para alcanzar sus objetivos. Estos casos de uso incluyeron funcionalidades esenciales como la visualización de capas geográficas y la integración de datos en formatos compatibles. Estos elementos se convirtieron en insumos fundamentales para guiar las etapas posteriores de diseño e implementación del software, asegurando que el geovisor cumpliera con las expectativas y necesidades identificadas en esta etapa de análisis.

6.2 Diseño

En la etapa de diseño, implementó un modelo 4 +1 orientado a la reutilización para lograr un análisis del problema y una descripción del sistema desde diferentes perspectivas, para lo cual se establecieron 4 vistas, la vista lógica enfocada en describir la estructura y funcionalidad del sistema a través del diagrama de clases y paquetes por casos de uso, seguido de la vista de desarrollo la cual representa la administración de los artefactos de software través del diagrama de componentes en este caso componentes como el navegador web, geoserver, postgre SQL con PostGIS, React-geo y paquetes por clases, posteriormente la vista de proceso que representa los procesos y sus interacciones a través de los diagramas de actividad y por último la vista física o de despliegue que se ocupa de la topología de componentes físicos del software compuestos por el cliente – Navegador Web y el servidor quien alberga al geovisor y a Docker con sus respectivos contenedores, y para finalizar el modelo están los escenarios los cuales articulan toda la arquitectura a través del diagrama de casos de uso. Finalmente, el sistema fue sometido a una validación exhaustiva para asegurar su funcionalidad y rendimiento antes del despliegue.

Simultáneamente, se llevó a cabo la conceptualización y diseño de la base de datos espacial, definiendo tanto su estructura interna como su representación en un modelo de datos geoespaciales. Esta base de datos fue diseñada considerando la organización y optimización de la información geográfica requerida, garantizando la integridad y el rendimiento en las consultas espaciales. Se procedió también al diseño de los componentes del sistema, estableciendo su integración y operación conjunta para asegurar que el sistema, en su totalidad, funcionara de manera fluida y eficiente.

6.3 Construcción

Se llevaron a cabo una serie de actividades orientadas al desarrollo, integración y optimización de los componentes fundamentales del geovisor, se procedió con la instalación y configuración de las herramientas de desarrollo, estableciendo un entorno adecuado tanto para el servidor de mapas web como para el sistema gestor de bases de datos espaciales en este caso Docker. Posteriormente, se avanzó en la creación de la base de datos espacial, asegurando que la estructura definida en la fase de diseño fuera implementada correctamente y optimizada para el manejo eficiente de datos geoespaciales.

A continuación, se desarrolló la codificación de las funcionalidades clave**,** o que incluyó tanto la lógica de negocio del geovisor como la integración con servicios web, empleando estándares de Open Geospatial Consortium – OGC específicamente el estándar Web Map Service – WMS y el estándar Web Feature Service para la publicación y visualización de los datos espaciales. Además, se desarrolló la interfaz gráfica, con el objetivo de proporcionar una experiencia de usuario intuitiva y ajustada a las necesidades de los usuarios finales. Finalmente, se ejecutó la

configuración de herramientas y opciones del software, asegurando que el geovisor contara con las funcionalidades necesarias para la visualización y análisis de datos geoespaciales.

6.4 Evaluación

Durante esta fase se diseñó una herramienta específica para validar tanto la funcionalidad como la usabilidad del geovisor. Esta evaluación se centró en asegurar que la experiencia de usuario fuera intuitiva y eficiente, alineándose con los objetivos planteados en las fases iniciales del proyecto. Para ello, se aplicó un cuestionario a un grupo diverso de usuarios, donde se evaluaron aspectos clave como la navegación, la claridad de la interfaz y la respuesta del sistema a las acciones del usuario.

Dicha herramienta o cuestionario fue dirigido a 4 usuarios sin experiencia en el manejo de herramientas SIG específicamente a profesionales de diferentes áreas, y a 2 usuarios con conocimiento en SIG, el tamaño de la muestra utilizada para evaluar el desempeño del geovisor fue determinado bajo un enfoque cualitativo, priorizando la diversidad de perfiles de usuarios para obtener una evaluación integral y representativa. Se seleccionaron 4 usuarios sin experiencia en herramientas SIG, representando el perfil más probable de los usuarios finales, con el fin de identificar barreras de usabilidad y accesibilidad. Adicionalmente, se incluyeron 2 usuarios con conocimientos en SIG, con el objetivo de evaluar aspectos técnicos más avanzados y específicos relacionados con el desempeño y la funcionalidad esperada por expertos.

La combinación de estos perfiles asegura una retroalimentación equilibrada, identificando tanto mejoras necesarias para usuarios inexpertos como optimizaciones técnicas relevantes para usuarios experimentados. Aunque la muestra es reducida, su diseño estratégico permite identificar

tendencias cualitativas significativas y cumplir con los objetivos del análisis de mejora del geovisor, considerando los recursos disponibles y el alcance inicial del proyecto.

A partir de los resultados obtenidos, se realizaron los ajustes necesarios, garantizando que GEOMIN cumpliera con los estándares de calidad esperados y ofreciendo una experiencia de usuario satisfactoria.

7. RESULTADOS

7.1 Análisis

Posteriormente al establecimiento conceptual de GEOMIN y considerando la necesidad de facilitar el desarrollo de actividades de formulación, evaluación, control y seguimiento a través de la integración de la información geográfica del sector minero en la jurisdicción CAR, se identifica al usuario como actor principal, quien ingresará a GEOMIN para interactuar con la información geográfica de los componentes del medio biótico, abiótico y socioeconómico.

Requerimientos funcionales

Se identificaron los requerimientos funcionales del geovisor, priorizándolos según su importancia para garantizar una experiencia de usuario completa, intuitiva y alineada con los objetivos del sistema. La priorización sigue un esquema de niveles: Alta (A), Media (M), y Baja (B), considerando factores como impacto en la usabilidad, frecuencia de uso y valor estratégico.

RF-01: Visualización de capas de información geográfica (Prioridad: Alta)

El sistema debe permitir la representación clara y detallada de los datos espaciales mediante capas, asegurando la comprensión de la información geográfica. Este es el núcleo funcional del visor y fundamental para todas las demás interacciones.

RF-02: Activar y desactivar capas de información (Prioridad: Alta)

Los usuarios deben poder personalizar la visualización activando o desactivando las capas según sus necesidades específicas. Esta funcionalidad es crítica para la obtención de información.

RF-03: Funciones de zoom y desplazamiento (Prioridad: Alta)

Es necesario habilitar herramientas de navegación intuitiva que permitan a los usuarios explorar el mapa de manera fluida y adaptativa, mejorando la experiencia de uso.

RF-04: Realización de visualización de datos de la tabla de atributos (Prioridad: Alta)

El visor debe permitir visualizar información atributiva sobre las capas seleccionadas, facilitando a los usuarios obtener detalles relevantes de los datos espaciales.

RF-05: Cargue de archivos en formato KML (Prioridad: Media)

La capacidad de cargar archivos KML permitirá a los usuarios integrar datos externos al visor, ampliando la funcionalidad del sistema. Aunque es esencial, no es una función de uso constante.

RF-06: Presentación de información de la entidad seleccionada (Prioridad: Media)

El sistema debe mostrar la información específica de una entidad seleccionada, lo que facilita análisis detallados. Su prioridad es media, ya que complementa las visualización atributivas (RF-04).

Esta priorización asegura que el desarrollo del geovisor se enfoque primero en los aspectos más críticos para los usuarios, garantizando un despliegue efectivo y escalable.

Tabla 1. *Requerimientos funcionales*

Ítem	Descripción
RF-01	El sistema debe permitir la visualización de las capas de información geográfica.
RF-02	El sistema debe permitir activar y desactivar capas de información geográfica.
RF-03	El sistema debe permitir funciones de zoom y desplazamiento.
RF-04	El sistema debe permitir la visualización de información tabla de atributos.
RF-05	El sistema debe permitir el cargue de archivos en formato KML.
RF-06	El sistema debe presentar información de la entidad seleccionada.

Fuente: Elaboración propia

7.1.1 Requerimientos no funcionales

En cuanto a los requerimientos no funcionales, estos definen las características esenciales de calidad que debe cumplir el geovisor para garantizar su rendimiento y usabilidad, en términos de usabilidad, el sistema debe ser adaptable a navegadores web en dispositivos de escritorio (RNF-

01), asegurando compatibilidad y accesibilidad, además de ser intuitivo, ágil y fácil de manejar (RNF-02), lo que permite a los usuarios interactuar con la plataforma sin una curva de aprendizaje elevada, adicionalmente desde el punto de vista de la eficiencia, el geovisor debe ser tolerante a fallas (RNF-03), minimizando interrupciones en el servicio. Además, debe soportar la concurrencia de hasta 30 usuarios en su primera fase de implementación sin afectar su funcionamiento (RNF-04).

Por otro lado, la funcionalidad, el sistema debe estar completamente en idioma español (RNF-05), facilitando su uso en el contexto regional, y debe garantizar el funcionamiento correcto de cada elemento de la interfaz (RNF-06), asegurando que cada componente interactivo opere como se espera.

Tabla 2. *Requerimientos no funcionales*

Ítem	**Descripción**
1.	**Producto**
1.1	**Usabilidad**
RNF-01	El sistema debe ser adaptable a navegadores web en dispositivos de escritorio.
RNF-02	El sistema debe ser intuitivo, ágil y de fácil manejo.
1.2	**Eficiencia**
RNF-03	El Geovisor debe ser tolerante a fallas.
RNF-04	El Geovisor debe permitir el ingreso de varios usuarios, sin presentar fallas en las operaciones con concurrencia máxima de 30 usuarios en su primera fase de implementación.
1.3	**Funcionalidad**
RNF-05	El sistema debe estar en idioma español
RNF-06	El sistema debe garantizar el funcionamiento de cada elemento presente en la interfaz.

Fuente: Elaboración propia.

Casos de uso

Se identificaron 8 casos de uso a partir de lo definido en los requerimientos funcionales permitiendo identificar las funcionalidades esperadas de GEOMIN detallando el flujo de tareas que aseguren que el usuario pueda cumplir el objetivo esperado en este caso poder obtener la información geográfica necesaria para la formulación, evaluación, seguimiento y control en el sector minero.

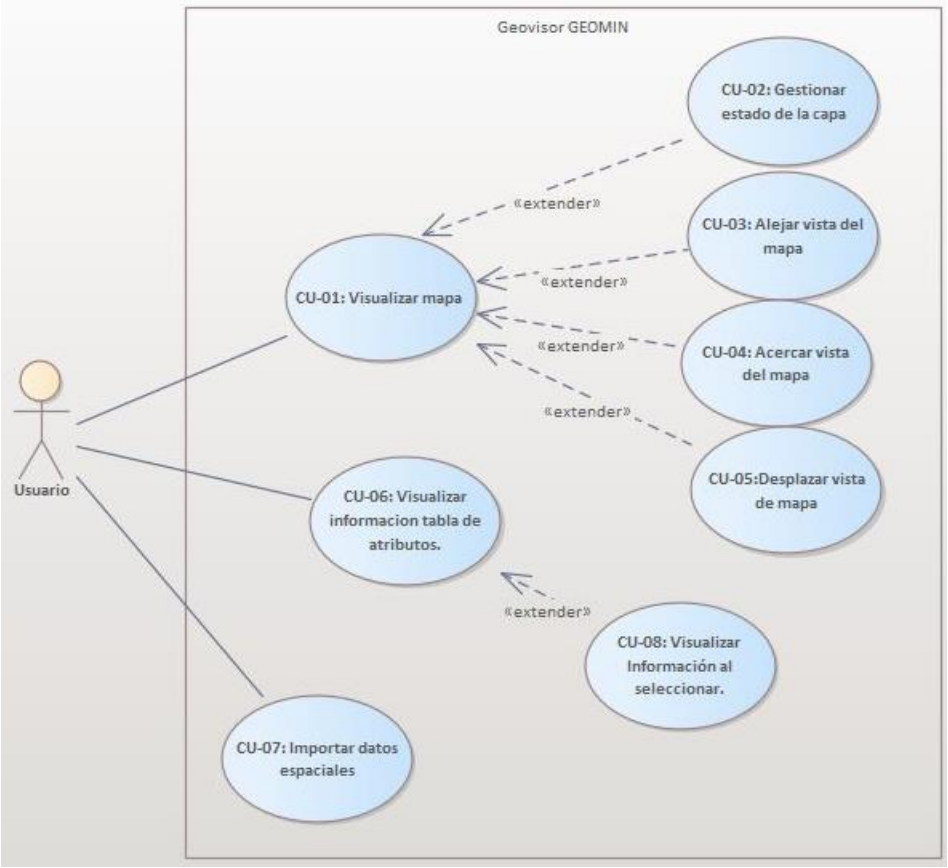

Imagen 3. Diagrama de Casos de Uso

Fuente: Elaboración propia (2024)

7.2 Diseño

En esta fase de diseño se elaboraron diversos diagramas que permiten presentar la arquitectura de software de GEOMIN acorde al modelo 4+1.

7.2.1. Vista lógica

Diagrama de Secuencia

El diagrama de secuencia presentado modela el flujo dinámico de interacción entre un usuario y los componentes clave del sistema durante el proceso de visualización de capas geográficas en el geovisor. Este diagrama describe cómo las acciones del usuario desencadenan una serie de intercambios de mensajes entre los elementos del sistema, asegurando la correcta actualización y renderización de las capas en el visor, se seleccionó este diagrama de secuencia toda vez que permite visualizar las relaciones entre los módulos del sistema, mostrando qué mensajes se intercambian y en qué orden, lo que es fundamental para garantizar la integridad y sincronización del sistema, así como también permite representar la secuencia temporal de eventos en el proceso de cambio de estado de las capas, detallando cómo cada acción desencadena respuestas en los componentes del sistema.

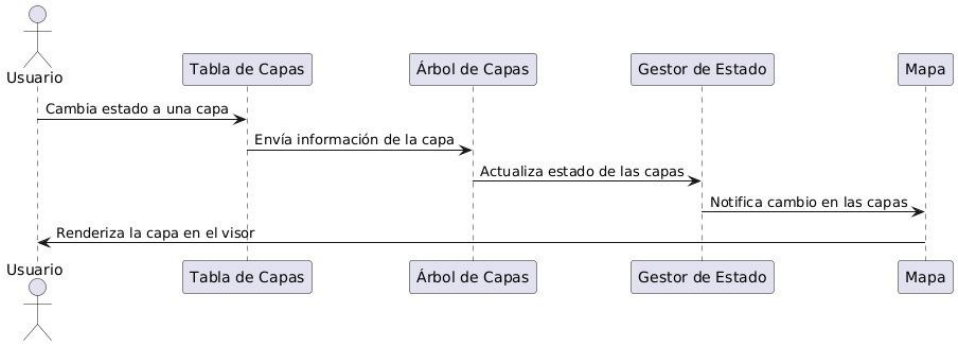

Imagen 4. Diagrama de secuencias

Fuente: Elaboración propia (2024)

Diagrama de clases

Este está estructurado bajo lo requerido por React, este posee como clase principal App, la cual coordina la inicialización y renderización de la aplicación, delegando funciones específicas a componentes especializados de la siguiente manera.

- **Componentesmapa**: Gestiona la renderización del mapa y la integración de capas mediante la clase AdmonCapa.
- **AdmonCapa**: Administra las capas geográficas (agregar, eliminar y obtener atributos) y colabora con la tabla de atributos para mostrar y filtrar información atributiva.
- **ComponenteBuscar**: Proporciona capacidades de búsqueda en el mapa, destacando a través de la iluminación resultados de la selección.
- **AdmonVentanaEmergente**: Controla la apertura y cierre de ventanas emergentes para mostrar información contextual.
- **CargaArchivos**: Maneja la carga y validación de archivos, asegurando compatibilidad con formatos específicos.

El diseño sigue principios de separación de responsabilidades, promoviendo escalabilidad y mantenibilidad.

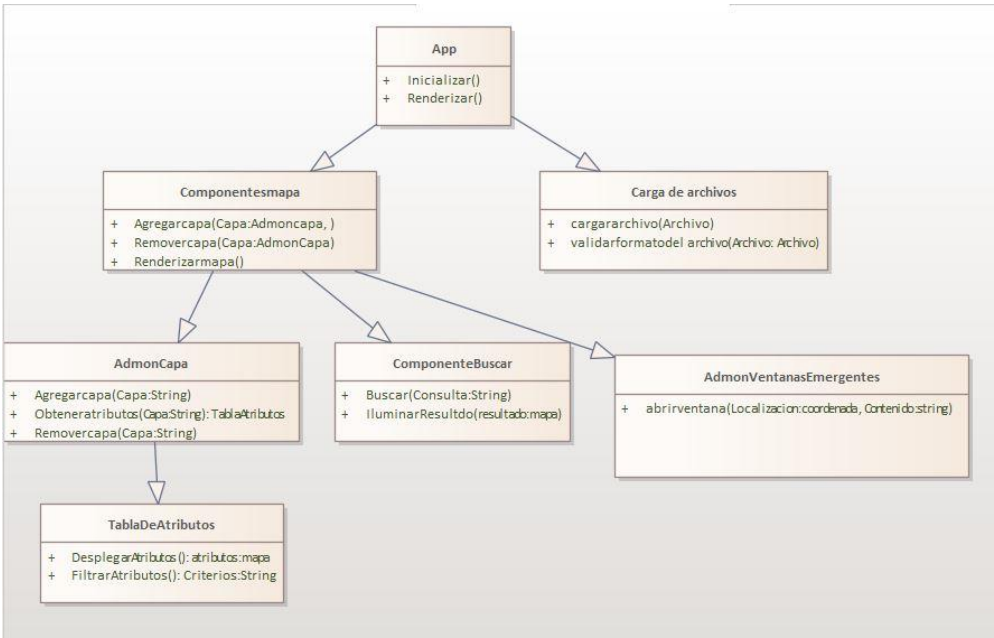

Imagen 5. Diagrama de clases

Fuente: Elaboración propia (2024)

Diagrama de paquetes por casos de uso

En el desarrollo del geovisor GEOMIN, se ha diseñado un sistema organizado en diversos paquetes de funcionalidad representados mediante un diagrama de paquetes por caso de uso. Estos paquetes comprenden aspectos clave como la visualización, la navegación y la carga de datos. Cada uno de estos paquetes agrupa diferentes casos de uso, como la visualización de mapas (CU-01) y la gestión de capas (CU-02), que permiten al usuario interactuar con los datos geoespaciales de manera intuitiva. Además, el sistema facilita la navegación por el mapa mediante funciones para alejar (CU-03) y acercar la vista (CU-04), desplazarse (CU-05). La visualización de información atributiva (CU-06) y la importación de datos espaciales como polígonos o puntos (CU-07) completan el conjunto de herramientas que ofrece GEOMIN, proporcionando una solución integral para la gestión y análisis de datos geográficos.

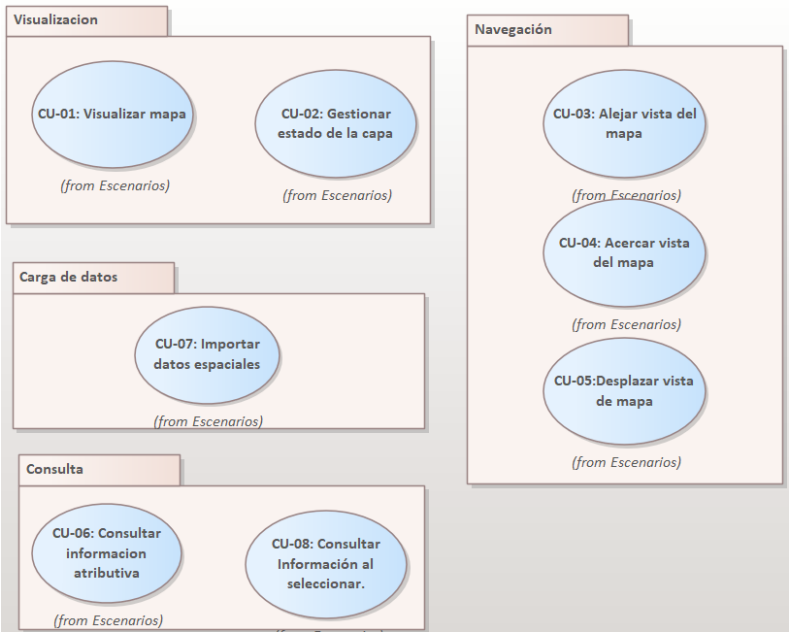

Imagen 6. *Diagrama de paquetes por casos de uso*

Fuente: Elaboración propia (2024)

7.2.2 Vista de Procesos

Diagrama de actividad

Se selecciona el diagrama de actividad del caso de uso visualizar mapa, porque permite modelar de manera clara y secuencial el flujo de acciones involucradas en el proceso de visualización en GEOMIN siendo esta la actividad más importante, destacando las decisiones disponibles para el usuario, este representa el flujo de acciones en el proceso de visualización, donde el usuario puede visualizar el mapa e interactuar con las funcionalidades de visualización.

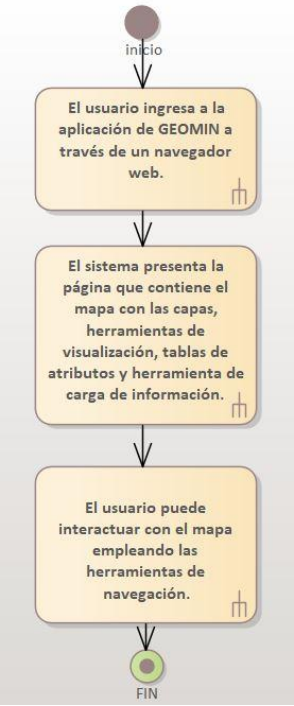

Imagen 7. Diagrama de actividad

Fuente: Elaboración propia (2024)

7.2.3 Vista de desarrollo

Diagrama de paquetes por clases

Este diagrama representa el acoplamiento acorde a los servicios ofrecidos, destacando como servicio principal la visualización, este paquete denominado GEOMIN contendrá todo lo relacionado para obtener esta funcionalidad, conteniendo las clases de AdmonCapa, Carga de Archivos, AdmonVentanasEmergentes, ComponenteBuscar, Componentesmapa, Tabladeatributos, y un ultima clase App que inicializará y renderizará.

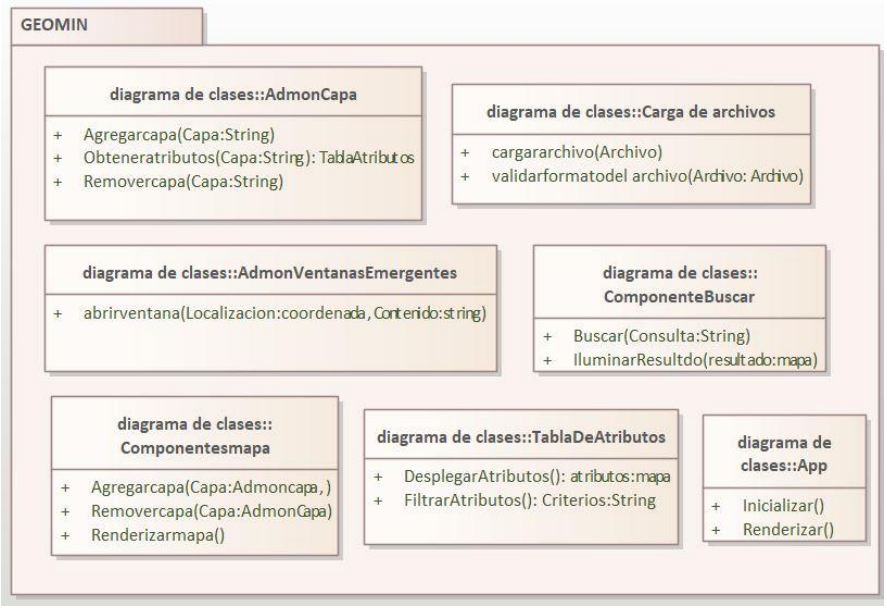

Imagen 8. Diagrama de paquetes por clases.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Diagrama de Componentes

En el desarrollo del geovisor GEOMIN, el diagrama de componentes destaca la arquitectura tecnológica utilizada, con base en el análisis y parte inicial del diseño, que se integra de la persistencia por parte del motor de la base de datos Postgre SQL con PostGIS, quien proporciona la información al Geoserver empleando estándares del Open Geospatial Consortium – OGC para proporcionar el servicio de mapas a GEOMIN finalizando con la interacción del usuario a través del navegador web, accediendo a todas estas funcionalidades de manera integrada.

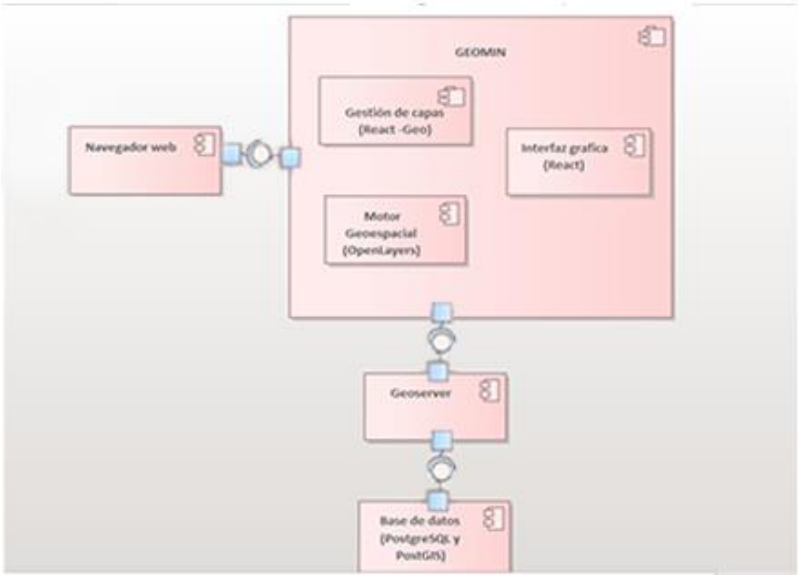

Imagen 9. *Diagrama de componentes*

Fuente: Elaboración propia (2024)

7.2.4 Vista física

Diagrama de despliegue

En el diagrama de despliegue del geovisor GEOMIN, se refleja la estructura física del sistema, donde los componentes clave se distribuyen entre un cliente y un servidor. El usuario interactúa con el sistema a través de un navegador web, permitiendo el acceso a las funcionalidades del geovisor sin la necesidad de instalar aplicaciones adicionales. En el servidor, se despliegan varios componentes esenciales:

Iniciando con GEOMIN que es la aplicación principal que gestiona la interfaz y las operaciones geoespaciales del sistema, proporcionando acceso a las funcionalidades del geovisor, esta accede a través de servicios web al Geoserver, componente que actúa como un servidor de mapas, encargado de gestionar y servir datos geoespaciales (capas, geometrías, etc.) a través de consultas

espaciales en PostgreSQL con PostGIS donde se encuentra la base de datos geográficos proporcionando las extensiones necesarias para gestionar y consultar datos espaciales a través de PgAdmin4 siendo este una herramienta de administración de bases de datos que permite la gestión de PostgreSQL y sus extensiones, proporcionando una interfaz web para el mantenimiento y supervisión de la base de datos.

Estos componentes a excepción de GEOMIN se encuentran en Docker el cual es una herramienta que permite la creación de contenedores para aislar aplicaciones, facilitando su despliegue y asegurando que el entorno de desarrollo sea consistente.

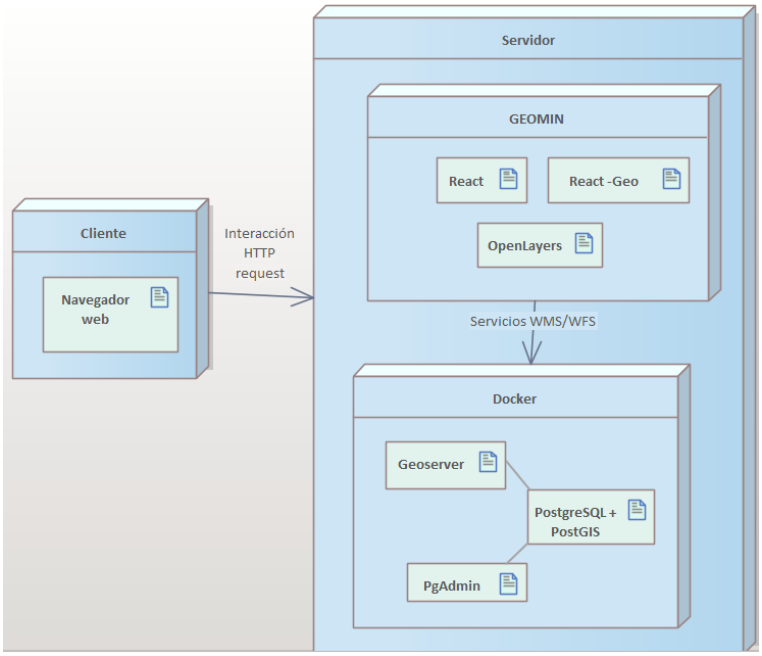

Imagen 10. *Diagrama de despliegue*

Fuente: Elaboración propia (2024)

7.2.5 Fuente y recolección de datos

El proceso de fuente y recolección de datos para el desarrollo del visor geográfico GEOMIN se fundamentó en la integración de información geoespacial proveniente de diversas entidades nacionales y fuentes confiables. Este procedimiento buscó garantizar la disponibilidad de datos

precisos, actualizados y relevantes para cubrir las necesidades del proyecto en términos de visualización, consulta y análisis. La recolección se estructuró en categorías temáticas como cartografía base, componente geológico, ambiental, social, biótico y minero, cada una aportando datos específicos en formatos compatibles (principalmente shapefiles). Estos insumos se obtuvieron mediante plataformas públicas y geoservicios ofrecidos por entidades reconocidas como la CAR, el IGAC, el SGC, y la ANM, asegurando la interoperabilidad y aplicabilidad en el visor. Esta metodología permitió centralizar y estructurar la información de manera eficiente, maximizando la funcionalidad del visor y su capacidad para apoyar procesos de evaluación y control ambiental en el sector minero.

***Tabla 3*. Fuente y recolección de datos**

CARTOGRAFIA BASE			
Nombre	**Entidad**	**Link de descarga**	**Formato**
Jurisdicción CAR	CAR	https://datosgeograficos.car.gov.co/search?categories=jurisdiccion%20car	Shapefile
Veredas	DANE	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-91.07859485351267,-7.805258012453602,-57.416485478521615,17.804556739187547,4686&b=igac&u=0&t=29&servicio=690	Shapefile
Predios	ANM	https://annamineria.anm.gov.co/Html5Viewer/index.html?viewer=SIGMExt&locale=es-CO&appAcronym=sigm	Shapefile
Vías	IGAC	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-81.04258411133272,1.3340568841441278,-72.62705676758493,8.41194794859443,4686&b=igac&u=0&t=3901&servicio=103	Shapefile
Curvas de nivel	IGAC	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-95.40446155273511,-3.897797927519199,-43.28532092774895,23.814895739577405,4686&b=igac&l=205&u=0&t=2306&servicio=205	Shapefile
Localidades Bogotá	Datos abiertos Bogotá	https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/localidad-bogota-d-c	Shapefile
municipios	DANE	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-91.07859485351267,-7.805258012453602,-57.416485478521615,17.804556739187547,4686&b=igac&u=0&t=29&servicio=610	Shapefile
Centros poblados y cabeceras municipales de Colombia	DANE	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-91.07859485351267,-7.805258012453602,-57.416485478521615,17.804556739187547,4686&b=igac&u=0&t=29&servicio=591	Shapefile
COMPONENTE GEOLIGICO			
Nombre	**Entidad**	**Link de descarga**	**Formato**

Mapa geológico	SGC	https://datos.sgc.gov.co/maps/c05c6dbf27f645eb883bae3a9cd0d08f/about	Shapefile
Fallas	SGC	https://datos.sgc.gov.co/maps/e03339c845d24e7baceb6d67397a23b3	Shapefile
Geomorfología	IGAC IAVH	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-85.9231277200713,-3.5427284296705532,-59.86355740757822,10.610154131535452,4686&b=igac&l=807&u=0&t=4304&servicio=807	Shapefile
Suelos	CAR	https://datosgeograficos.car.gov.co/search?categories=suelos	Shapefile
COMPONENTE AMBIENTAL			
Nombre	**Entidad**	**Link de descarga**	Shapefile
Cuencas	CAR	https://datosgeograficos.car.gov.co/maps/cuencas-y-subcuencas-a-escala-125-000-en-la-jurisdicci%C3%B3n-car	Shapefile
Paramos	CAR	https://datosgeograficos.car.gov.co/maps/p%C3%A1ramos	Shapefile
Áreas de protegidas declaradas	CAR	https://datosgeograficos.car.gov.co/maps/%C3%A1reas-protegidas-declaradas-en-jurisdicci%C3%B3n-car	Shapefile
Ríos	IGAC	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-95.40446155273511,-3.897797927519199,-43.28532092774895,23.814895739577405,4686&b=igac&l=205&u=0&t=2306&servicio=205	Shapefile
Rondas	CAR	https://datosgeograficos.car.gov.co/maps/delimitaci%C3%B3n-de-rondas	Shapefile
POMCAS	CAR	https://datosgeograficos.car.gov.co/search?categories=pomcas	Shapefile
Van Der Hammen	CAR	https://datosgeograficos.car.gov.co/search?categories=van%20der%20hammen	Shapefile
VISOR SOCIAL			
Nombre	**Entidad**	**Link de descarga**	**Formato**
RESGUARDOS INDIGENAS	IGAC	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-81.04258411133272,1.3340568841441278,-72.62705676758493,8.41194794859443,4686&b=igac&u=0&t=41&servicio=105	Shapefile
Área arqueológica protegida	ANM	https://annamineria.anm.gov.co/Html5Viewer/index.html?viewer=SIGMExt&locale=es-CO&appAcronym=sigm	Shapefile
COMPONENTE BIOTICO			
Nombre	**Entidad**	**Link de descarga**	**Formato**
Coberturas De La Tierra	IGAC	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-81.04258411133272,1.3340568841441278,-72.62705676758493,8.41194794859443,4686&b=igac&u=0&t=4302&servicio=881	Shapefile
Humedales	IAVH	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-91.07859485351392,-7.805258012453501,-57.41648547852286,17.804556739187635,4686&b=igac&u=0&t=2&servicio=817	Shapefile
Ecosistemas continentales, marinos y costeros de Colombia	IGAC	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-91.07859485351392,-7.805258012453501,-57.41648547852286,17.804556739187635,4686&b=igac&u=0&t=2&servicio=1212	Shapefile
Biodiversidad	IGAC	https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-100.30711047851145,-7.805258012453501,-48.1879698535253,17.804556739187635,4686&b=igac&u=0&t=2&servicio=1970	Shapefile

COMPONENTE MINERO			
Nombre	**Entidad**	**Link de descarga**	**Formato**
Títulos vigentes	Agencia nacional de minería	https://annamineria.anm.gov.co/Html5Viewer/index.html?viewer=SIGMExt&locale=es-CO&appAcronym=sigm	Shapefile
Subcontratos			
Zonas compatibles con la minería – sabana de Bogotá			
Zonificación de exclusion de la actividad minera			
Área de reserva especial declarada			
Área de reserva especial en tramite			

Fuente: Elaboración propia (2024)

7.2.6 Diagrama de persistencia

A partir de la definición de los datos relevantes según las necesidades identificadas en el sector minero, se realizó el diagrama de persistencia que representa la estructura de almacenamiento de los datos en la base de datos, siendo esta la que permitirá la visualización de las capas en el geovisor, la gestión de base de datos se realizó por medio de PostgreSQL con la extensión de PostGIS que dio soporte para los datos espaciales.

Este es un diagrama de persistencia sin relaciones mostrando únicamente las tablas independientes, detallando su estructura interna, toda vez que las tablas no tienen dependencias entre sí, los datos están organizados para ser consultados de forma aislada, actuando como entidades autónomas (Hernández Orallo, E., y García-Rubio, C, 2013).

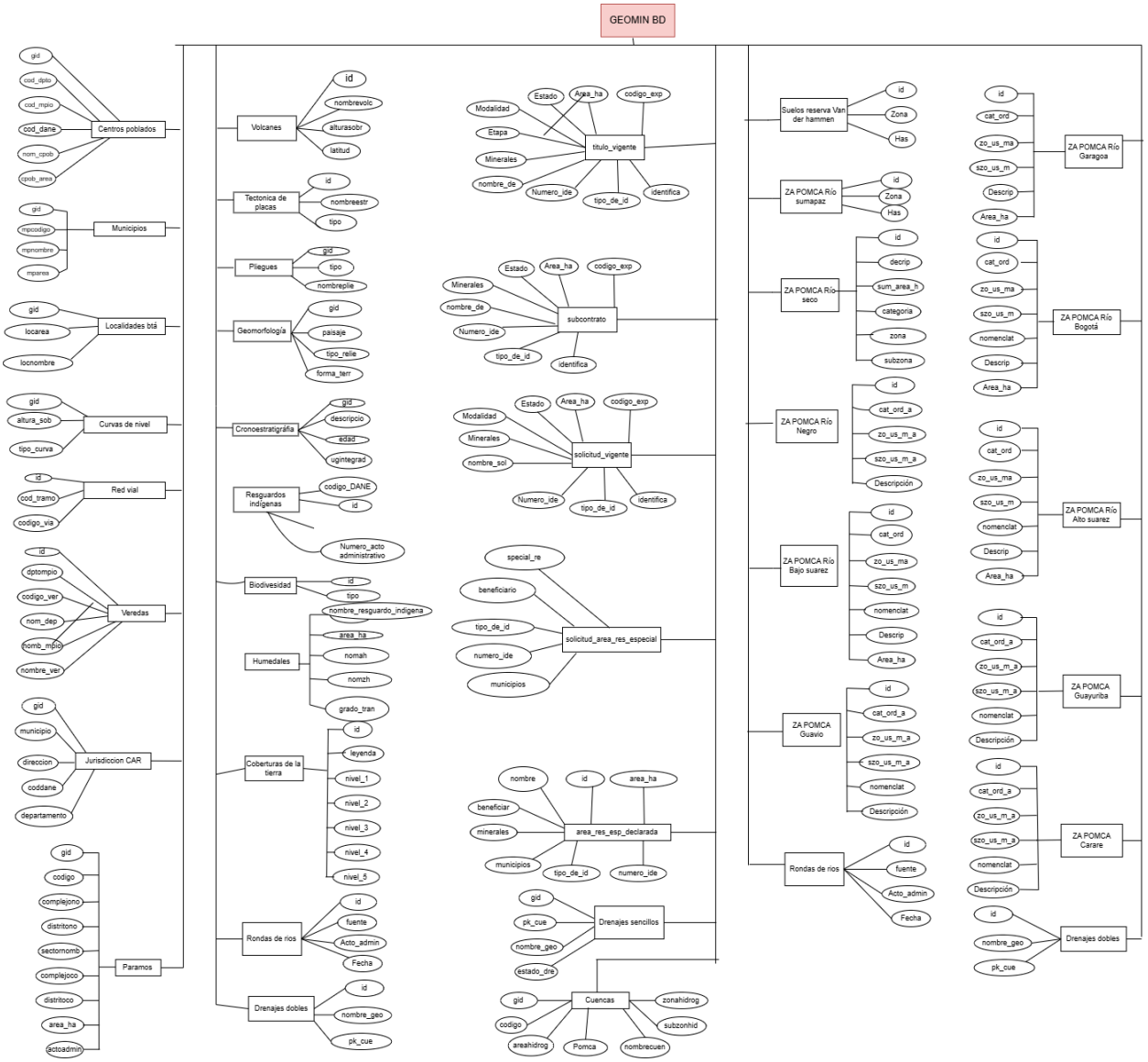

Imagen 11. *Diagrama de persistencia*

Fuente: Elaboración propia

7.3 Implementación

La implementación inicial del geo-visor GEOMIN se apoya en Docker para gestionar componentes clave de su infraestructura, lo que facilita la creación y administración de contenedores para diversos servicios. Aunque GEOMIN en sí no se ejecuta dentro de un contenedor, se han definido tres contenedores fundamentales que soportan su funcionamiento: uno

dedicado a la base de datos utilizando Postgres junto con la extensión PostGIS para el manejo de datos espaciales, otro para la administración de la base de datos mediante PGAdmin, y un tercero para el servicio de mapas a través de GeoServer.

Docker proporciona un entorno aislado y reproducible para estos servicios, garantizando la consistencia y estabilidad en distintos entornos, ya sea en desarrollo o en producción, independientemente de la infraestructura subyacente.

Cada contenedor tiene un rol específico: el contenedor de Postgres+PostGIS gestiona el almacenamiento y manejo de datos geoespaciales, el contenedor de PGAdmin permite la gestión visual de la base de datos, y el contenedor de GeoServer se encarga de servir y gestionar los servicios de mapas y capas geoespaciales.

En cuanto a la interfaz de usuario de GEOMIN, está desarrollada con React-Geo, mientras que la gestión de los datos espaciales en el visor se realiza mediante la librería OpenLayers. Este conjunto de herramientas permite una manipulación avanzada de mapas, capas y otros elementos geoespaciales de manera escalable.

Este enfoque de arquitectura mejora el uso de recursos y asegura un entorno completamente aislado, reproducible y escalable, lo que facilita la gestión y operación del geovisor. Para garantizar la interoperabilidad, Docker permite empaquetar todos los servicios y dependencias del sistema en contenedores independientes, asegurando que los componentes como GeoServer, PostgreSQL/PostGIS y PgAdmin se comuniquen entre sí mediante redes internas definidas en el entorno Docker.

El uso de servicios contenedorizados también mejora el rendimiento al asignar recursos específicos a cada contenedor, evitando la competencia entre servicios por CPU o memoria (Thomas y

Johnson, 2021). Además, al utilizar configuraciones predeterminadas en los contenedores, se reduce el tiempo de despliegue y se asegura la compatibilidad entre entornos de desarrollo, pruebas y producción (Kane y Boettiger, 2023)

De esta manera, GEOMIN se beneficia de:

- Escalabilidad: Es posible agregar o eliminar contenedores según la carga del sistema.
- Flexibilidad: Los servicios pueden ser actualizados o reemplazados de manera independiente sin afectar a otros componentes.
- Aislamiento: Cada contenedor opera de manera independiente, minimizando conflictos entre dependencias.
- Reproducibilidad: La infraestructura definida en Docker Compose garantiza que el sistema funcione de manera idéntica en cualquier entorno.

Este enfoque asegura que GEOMIN pueda desplegarse fácilmente en diferentes entornos con una mínima configuración adicional, manteniendo altos estándares de rendimiento y compatibilidad (Smith y Wang , 2017).

Para finalizar se presentaron las funciones implementadas en GEOMIN de la siguiente manera

1. Visualización del mapa
2. Gestionar estado de la capa
3. Alejar vista del mapa
4. Acercar vista de mapa
5. Desplazar vista de mapa
6. Visualizar información atributiva
7. Importar datos espaciales

8. Visualizar información atributiva al seleccionar una entidad.

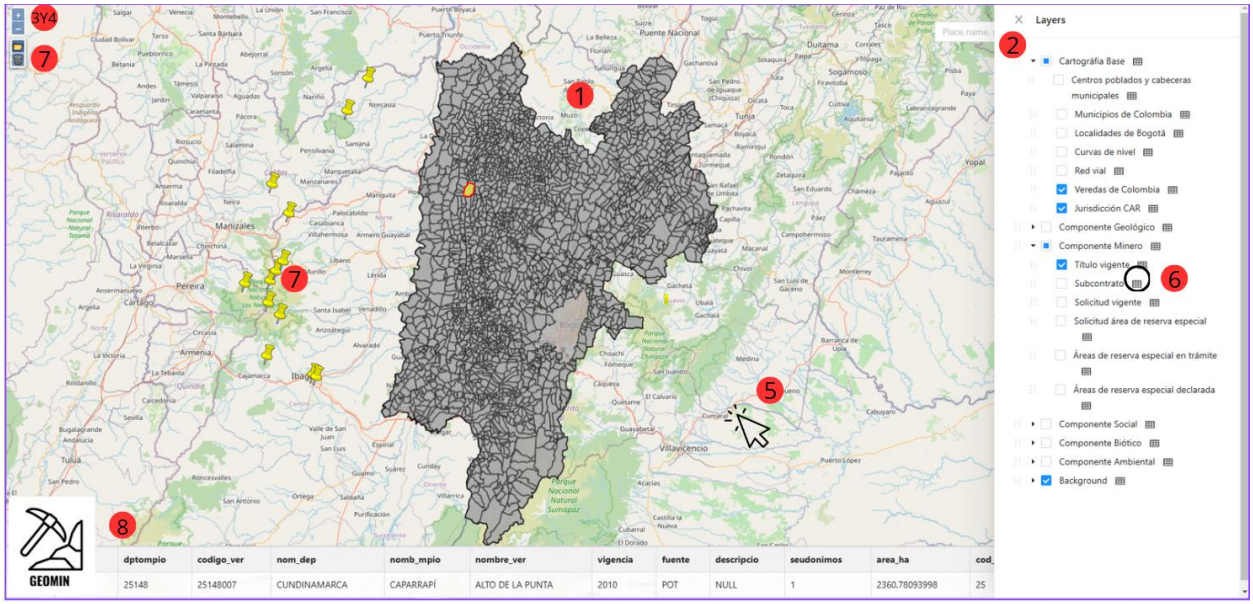

Imagen 12. *Vista de GEOMIN*

Fuente: Elaboración propia

7.4 Evaluación

Para la evaluación de GEOMIN se realizaron diversas pruebas para así poder conocer el funcionamiento de las herramientas con respecto a los requerimientos iniciales y el alcance determinado previamente, para ello se empleó el estándar ISO 9126:2001 como base, con el fin de poder identificar si la calidad del geovisor a través de la cuantificación y calificación de las características básicas del geovisor como la funcionalidad, confiabilidad, usabilidad, eficiencia, , portabilidad y satisfacción como se presenta a continuación (Verity, 2022).

Tabla 4. *Parámetros de evaluación empleados en las entrevistas*

Parámetro	Preguntas
Funcionalidad	1. ¿Cree que el geovisor satisface las necesidades para las que fue desarrollado?

Confiabilidad	2. ¿Funcionó el geovisor sin mayor fallo o irregularidad?
Usabilidad	3. ¿He conseguido usar el geovisor sin apoyo técnico, o conocimiento previo? 4. ¿Usaría este geovisor con frecuencia?
Eficiencia	5. ¿ Cree que el geovisor hace optimo uso de los recursos en términos de tiempo y desempeño?
Portabilidad	6. ¿ Cree que fue fácil acceder y utilizar el Geovisor, asegurando que esté disponible y usable en su equipo?
Satisfacción	7. ¿Tuvo una experiencia positiva al observar la información del geovisor en cuanto a su estética? 8. ¿Ha conseguido gestionar e interactuar con la información del geovisor con facilidad?

Fuente: Elaboración propia

La tabla presenta un sistema de criterios de calificación basado en un puntaje del 1 al 5, donde 5 representa un desempeño excelente, seguido de 4 para un desempeño bueno, 3 para un nivel aceptable, 2 indicando que podría mejorar y 1 para un desempeño considerado malo. Este esquema facilita la evaluación de forma clara y objetiva, permitiendo identificar áreas de fortaleza y aspectos que requieren atención.

Tabla 5. *Criterios de calificación*

Criterio de calificación	***Puntaje***
Excelente	*5*
Bueno	*4*
Aceptable	*3*
Podría mejorar	*2*

Malo	*1*

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6. Resultados de la evaluación

Parámetro	Pregunta	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4	Usuario 5	Usuario 6
Funcionalidad	***1***	5	5	5	5	5	5
Confiabilidad	***2***	5	5	5	5	5	5
Usabilidad	***3***	5	5	5	5	5	5
	4	4	5	4	5	5	5
Eficiencia	***5***	5	5	5	5	5	5
Portabilidad	***6***	5	5	5	4	4	5
Satisfacción	***7***	5	4	5	5	5	5
	8	5	5	5	4	4	5

Fuente: elaboración propia

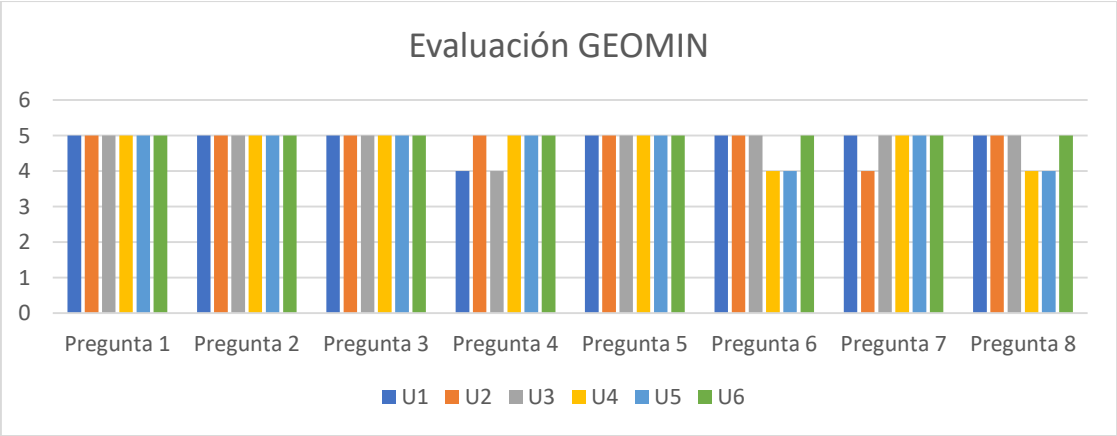

Imagen 13. Gráfico de evaluación

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la aplicación del instrumento se obtuvieron los siguientes resultados **tabla 5**, lo cual indica que el geovisor alcanzo una puntuación promedio general de 4.8 donde los usuarios otorgaron altas calificaciones a todos los parámetros evaluados, lo que sugiere una percepción

positiva de la herramienta. En términos de funcionalidad, todos los usuarios calificaron el geovisor con un puntaje de 5, indicando que cumple plenamente con las necesidades para las que fue desarrollado. En el criterio de confiabilidad, también se obtuvo una calificación máxima de 5 por parte de todos los usuarios, lo que refleja que el geovisor funcionó sin problemas significativos. En cuanto a usabilidad, la puntuación fue igualmente alta, aunque un usuario dio una calificación de 4, lo que sugiere que la mayoría pudo utilizar el geovisor sin necesidad de apoyo técnico, en cuanto a la eficiencia y portabilidad recibieron puntuaciones perfectas de 5 en todos los casos, indicando que el geovisor hace un uso óptimo de los recursos y es fácil de acceder desde los computadores de los usuarios. Finalmente, en el aspecto de satisfacción, hubo una calificación de 4 y cinco de 5, sugiriendo una experiencia positiva en cuanto a la estética y la facilidad de interacción con la información proporcionada por el geovisor. En resumen, los resultados reflejan una evaluación muy favorable del geovisor GEOMIN, con un desempeño especialmente destacado en funcionalidad, confiabilidad y eficiencia.

8. CONCLUSIONES

La fase de análisis del desarrollo de GEOMIN fue crucial para establecer una base sólida en el avance del geovisor, en la cual se identificaron un total de 6 requerimientos funcionales y 6 requerimientos no funcionales para su desarrollo. Entre estos, se priorizaron funcionalidades críticas como la visualización de capas geográficas y la visualización de datos atributivos, alcanzando un 100% de cumplimiento en su implementación según lo evaluado en la fase de construcción. Además, se consultaron y sistematizaron 5 fuentes de información clave (SGC, ANM, IGAC, IDEAM, y CAR) que respaldaron las necesidades de los usuarios finales, asegurando la integración eficiente de datos geoespaciales relevantes.

La arquitectura del software estructurada con base en el modelo 4+1, logró una representación completa de las vistas lógica, de procesos, de desarrollo y física. La validación del diseño incluyó la elaboración de 8 diagramas técnicos, como el diagrama de clases y el diagrama de componentes, entre otros, que constituyeron la robustez del diseño, entregando los elementos esenciales para asegurar la funcionalidad y usabilidad del geovisor, además de ser escalable para futuras ampliaciones del sistema.

Como herramienta de visualización de información georreferenciada para el sector minero, GEOMIN mostró un tiempo de respuesta promedio de 2 segundos para la carga de mapas, consigue integrar datos ambientales, geológicos, sociales, mineros y bióticos junto con sus atributos específicos a través de 31 capas de datos, en una plataforma intuitiva y accesible, implementando 7 funcionalidades clave, incluyendo la visualización de mapas, el manejo de capas geográficas y la importación de datos en formato KML, funcionalidades que facilitan a los profesionales el análisis de información crucial para la elaboración y seguimiento de los requisitos necesarios en la solicitud de permisos, licencias ambientales, demás solicitudes y cumplimiento normativo, reduciendo el tiempo de trabajo al evitar realizar búsquedas en las

distintas plataformas, reduciendo errores y generando una perspectiva interdisciplinar, promoviendo así una gestión más eficiente y responsable en el contexto de la minería y el medio ambiente. En este sentido GEOMIN responde a las necesidades del sector y contribuye al desarrollo de proyectos mineros sostenibles y alineados con las normativas ambientales.

Por ultimo GEOMIN empleando el estándar ISO 9126:2001 para su evaluación, obtuvo una calificación promedio general de 4.8 sobre 5, destacando en los criterios de funcionalidad (5/5), confiabilidad (5/5) y eficiencia (5/5), en su primera fase obtuvo una valoración positiva, una aceptación generalizada y una experiencia positiva entre los usuarios en todos los criterios evaluados, la herramienta demostró ser funcional, confiable y eficiente, cumpliendo con los objetivos para los cuales fue desarrollada y ofreciendo una experiencia satisfactoria en términos de usabilidad y estética mostrando potencial para un uso frecuente y efectivo.

9. REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Hidrocarburos. (s. f.). Geovisor ANH. Recuperado de https://geovisor.anh.gov.co/tierras/
- Agencia Nacional de Minería. (s. f.). ANNAMINERÍA. Recuperado de https://annamineria.anm.gov.co/Html5Viewer/index.html?viewer=SIGMExt&locale=es-CO&appAcronym=sigm
- Australian Geological Survey Organisations Network. (s. f.). AGSON Geoscience Portal. Recuperado de https://portal.geoscience.gov.au/
- Bebbington, A., Hinojosa, L., Humphreys, D., Burneo, M. L., & Warnaars, X. (2008). Contention and ambiguity: Mining and the possibilities of development. Development and Change, 39(6), 6-27. Recuperado de https://hummedia.manchester.ac.uk/schools/seed/andes/publications/papers/Bebbington_etal_July_08%20.pdf
- CAR Cundinamarca. (2015). Cartilla informativa Minería. Bogotá, D.C. Recuperado de https://sigci.car.gov.co/wp-content/uploads/2023/07/CARTILLA-MINERIA-FINAL.pdf
- Corporación Geoambiental Terrae. (2023). Análisis del modelo institucional de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en el seguimiento y control del licenciamiento ambiental en Colombia. Recuperado de https://co.boell.org/es/2023/05/16/analisis-del-modelo-institucional-de-la-autoridad-nacional-de-licencias-ambientales-anla

- Decreto 2041 de 2014. Por el cual se reglamenta el título VIII de la ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. 15 de octubre de 2014. Diario Oficial de Colombia.
- Echeverri Valencia, M. F., Navas Gómez, S., & Suárez Ramírez, M. A. (2021). Producción del sector minero colombiano. Recuperado de https://www.eafit.edu.co/escuelas/economiayfinanzas/noticias-eventos/Paginas/produccion-del-sector-minero-colombiano.aspx
- Gascón, J. V. (2016). GeoVisor dels inventaris del Pla Especial de Protecció del Medi Natural i el Paisatge (PEPNat) del Parc Natural de la Serra de Collserola. Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de https://vimac.upc.edu
- Gutiérrez, M. (2006). El rol de las bases de datos espaciales en una infraestructura de datos. Concepción: Universidad Católica de la Santísima Concepción. Recuperado de https://geo.cepal.org/en/contenido/categoria-ide/tecnología/archivos/pdf/rol_de_las_bases_de_datos_espaciales_en_una_ide.pdf
- Kane, S., & Boettiger, C. (2023). Docker: Up & Running (3.ª ed.). O'Reilly Media. Recuperado de https://www.oreilly.com/library/view/docker-up/9781098131814
- Marqués, M. (2011). Bases de datos (Vol. 1). Universitat Jaume I. Recuperado de https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/24183/s18.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2019). Documento técnico de investigación científica y sociológica respecto a los impactos de la actividad minera y la explotación ilícita de minerales en los ecosistemas del territorio colombiano. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co

- Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. (2024). Cartografía del IGME. Recuperado de https://info.igme.es/cartografiadigital/portada/default.aspx
- Ministerio de Minas y Energía. (2021). Informe EITI Colombia 2020.
- Morales, A. (2022). Geoserver para novatos. MappingGIS. Recuperado de https://mappinggis.com/2022/06/geoserver-para-novatos/
- Osorio Sierra, Á. (2017). Evaluación de impacto ambiental y ordenación del territorio. Bogotá: Universidad Externado de Colombia. Recuperado de https://bdigital.uexternado.edu.co
- Pérez, G., Franco, I., García, N., & Ruiz, M. (2023). Herramientas SIG, revisión de sus fundamentos, tipos y relación con las bases de datos espaciales. Ciencias Técnicas Agropecuarias, 32(3), 1-4. Recuperado de http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v32n3/es_2071-0054-rcta-32-03-e10.pdf
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). The Scrum Guide™: The definitive guide to Scrum: The rules of the game. Scrum.org. Recuperado de https://scrumguides.org/scrum-guide.html
- Serale, F., & Muente, A. (2018). Los datos abiertos en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de https://webimages.iadb.org/publications/spanish/document/Los-datos-abiertos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf
- Smith, J., & Wang, T. (2017). An introduction to Docker and analysis of its performance. International Journal of Computer Science and Network Security, 17(3), 185–192. Recuperado de https://paper.ijcsns.org/07_book/201703/20170327.pdf

- Thomas, A., & Johnson, M. (2021). Docker High Performance (2.ª ed.). O'Reilly Media. Recuperado de https://www.oreilly.com/library/view/docker-high-performance/9781789807219
- Verity. (2022). La ISO/IEC 9126: 2001: Características de la calidad de software. Recuperado de https://www.verity.cl/que-es-norma-iso-iec-9126-2001/