

Research article

GeoStraOntology: Ontología aplicada para la gestión de información estratigráfica de los motores de búsqueda del Servicio Geológico Colombiano

GeoStraOntology: An applicate ontology for stratigraphic information management for the Servicio Geológico Colombiano search engines

Miguel Á. Gómez-Fonseca¹ ; Jaime A. Garzón-Barrios¹ ; Alberto García-Bolívar¹ 

¹ Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, Colombia

Resumen

El Motor de Integración de Información Geocientífica (MIIG), del Servicio Geológico Colombiano (SGC), ha enfrentado desafíos significativos en la gestión y acceso a datos geocientíficos especializados. En respuesta a esta problemática, en 2019 se puso en marcha un proyecto para mejorar su modelo lógico, alineándose con los avances de la Cuarta Revolución Industrial y la creciente demanda de acceso a datos interconectados. El proyecto se centró en desarrollar un modelo ontológico aplicado al dominio de la estratigrafía, utilizando los estándares de la web semántica, como OWL, y adoptando la metodología de Ontology Development 101, la cual proporciona un enfoque estructurado y claro para representar de manera efectiva los conceptos del área de conocimiento seleccionada.

El modelo resultante establece una estructura taxonómica orientada a la recuperación de información, integrando clases, propiedades y axiomas que representan unidades estratigráficas, objetos de estudio, áreas disciplinares afines y conceptos operativos relevantes para la indexación y búsqueda de productos geocientíficos. Además, incorpora propiedades alineadas con la estructura de metadatos del MIIG, lo que permite mejorar la interoperabilidad semántica y la precisión en los procesos de consulta. Este desarrollo constituye un primer paso hacia la consolidación de una metaontología de las ciencias de la Tierra y aporta una base conceptual para optimizar la gestión y el acceso a la información geocientífica en los sistemas institucionales del SGC.

Palabras clave: Clases, Estratigrafía, Axiomas, Relaciones, Modelo Ontológico, Modelo Taxonómico

Abstract

The Geoscience Information Integration Engine (MIIG by the Spanish acronym) of the Colombian Geological Survey (SGC) has faced significant challenges in the management and access to specialized geoscientific data. In response to this issue, a project was launched in 2019 to improve its underlying logical model, in line with the advances of the Fourth Industrial Revolution and the growing demand for access to interconnected data. The project focused on developing an ontological model applied to the domain of stratigraphy, using Semantic Web standards such as OWL and adopting the Ontology Development 101 methodology, which provides a structured and systematic approach for the effective representation of concepts within the selected knowledge domain.

The resulting model establishes a taxonomic structure oriented toward information retrieval, integrating classes, properties, and axioms that represent stratigraphic units, objects of study, related disciplinary areas, and operational concepts relevant to the indexing and search of geoscientific products. In addition, it incorporates properties aligned with the MIIG metadata structure, thereby enhancing semantic interoperability and improving the accuracy of query processes. This development constitutes a first step toward the consolidation of meta-ontology for the Earth sciences and provides a conceptual foundation for optimizing the management and access to geoscientific information within the institutional systems of the SGC.

Keywords: Classes, Stratigraphic, Axiom, Relationships, Ontological Model, Taxonomic Model

Citación: Gómez-Fonseca, M.A., Garzón-Barrios, J.A., García-Bolívar, A. (2025). GeoStraOntology: Ontología aplicada para la gestión de información estratigráfica de los motores de búsqueda del Servicio Geológico Colombiano. *Boletín Geológico*, 52(2).

<https://doi.org/10.32685/0120-1425/bol.geol.52.2.2025.760>

1. INTRODUCCIÓN

El Motor de Integración de Información Geocientífica (MIIG), en funcionamiento desde el 27 de agosto de 2017, fue concebido para facilitar y apoyar los procesos misionales relacionados con la generación y suministro de información derivada de la investigación del Servicio Geológico Colombiano (SGC) (Santafé & Melo, 2021). La búsqueda y el acceso a información geocientífica precisa y especializada han sido desafíos constantes en la gestión de datos de distintas áreas del conocimiento. Por esta razón, en 2019, el Grupo de Servicios y Divulgación Geocientífica y Museal de la Dirección de Gestión de Información inició un proyecto con el objetivo de mejorar el modelo lógico del MIIG. Este desafío se acentúa debido a que el Sistema Integrado de Información Geocientífica (SIIG), el nuevo gestor institucional de información del SGC comparte y hereda la estructura lógica del MIIG (Jaime Moreno, comunicación personal, 5 de junio de 2024).

La falta de eficiencia en la búsqueda dentro de estos sistemas ha generado una mayor complejidad para acceder a información especializada, especialmente dado el gran número de bases de datos y repositorios institucionales que maneja el SGC, los cuales contienen información tanto básica como altamente especializada en diversas disciplinas de las geociencias.

En este contexto, y reconociendo la importancia de adaptarse a la Cuarta Revolución Industrial, se decidió desarrollar GeoStraOntology, un modelo de conocimiento con enfoque ontológico para la web semántica. Este tipo de modelos, entendidos como estructuras organizadas para describir y representar conceptos, propiedades y relaciones (Guzmán et al., 2012), los cuales funcionan como mapas que permiten a las computadoras comprender y conectar la información en línea de manera más inteligente y significativa (Marciszack et al., 2009). El enfoque se basa en estándares y lenguajes de representación formal, como RDF y OWL, y busca mejorar significativamente la búsqueda, integración y uso de datos geocientíficos en la web.

La web semántica, también conocida como Web 4.0, tiene como objetivo añadir significado y contexto a la información en línea, lo que mejora la eficiencia y efectividad de los motores de búsqueda, permitiendo una interacción más inteligente y una comprensión más profunda entre los seres humanos y las máquinas (Castells, 2003).

En este trabajo, el término ontología se emplea desde una perspectiva aplicada, propia de la ingeniería de la información y de la web semántica, entendiendo el modelo propuesto como una ontología de dominio orientada a la organización, recuperación y

explotación de información geocientífica. En este sentido, GeoStraOntology no pretende constituir una ontología formal de carácter fundacional, sino un modelo semántico estructurado que permita describir conceptos, relaciones y propiedades relevantes para la estratigrafía, alineados con los requerimientos operativos del MIIG y SIIG.

Este enfoque prioriza la interoperabilidad, la estandarización terminológica y la mejora de los mecanismos de búsqueda avanzada sobre una formalización ontológica estrictamente intensional.

2. MARCO DE REFERENCIA

En 107 años de historia, el SGC ha generado y recibido un gran volumen de información geocientífica en las diferentes áreas de conocimiento de las geociencias, como la geología, amenazas de origen geológico, recursos minerales, asuntos nucleares, hidrocarburos y caracterización de laboratorios a nivel regional y nacional.

El MIIG, para abril de 2024 tiene el registro de 69.098 plantillas de metadatos (NTC-4611), que administran la catalogación de 11.035 paquetes de estudios/productos representado en 58.066 elementos (agrupados en 38.041 mapas y 20.025 documentos) de estudios geocientíficos, en 5.674.457 archivos editables (formatos ofimáticos y SIG como: .doc, .xls, .shp, mxd, .gdb, entre otros) y de visualización (formatos .pdf, .jpg, .tif entre otros) (Omar Santafé, comunicación personal, 18 de abril de 2024).

El 2.38% de la información disponible en el MIIG corresponde a la línea temática de estratigrafía y sedimentología, lo que equivale a 1,613 productos distribuidos a lo largo del territorio colombiano y con múltiples escalas (Figura 1). Por otra parte, en la Figura 2 es posible observar el aumento en el número de consultas anuales desde la implementación del MIIG. Además, según Omar Santafé (comunicación personal, 20 de noviembre de 2024), el porcentaje de búsquedas relacionadas con la línea temática seleccionada asciende al 1.45%, lo que la convierte en un caso ideal para la formulación e implementación del modelo ontológico propuesto.

3. MÉTODO

Con el fin de mejorar el modelo lógico subyacente del MIIG, se inició la construcción de una ontología específica para las ciencias de la Tierra, con especial énfasis en la estratigrafía. Este proceso se llevó a cabo utilizando el software de código abierto Protégé 5.6.1 (Standford, 2024), desarrollado por la Universidad de Stanford, y empleando el lenguaje de representación ontológica OWL (Motik et al., 2009) junto con el razonador HermiT (Shearer et al., 2008).

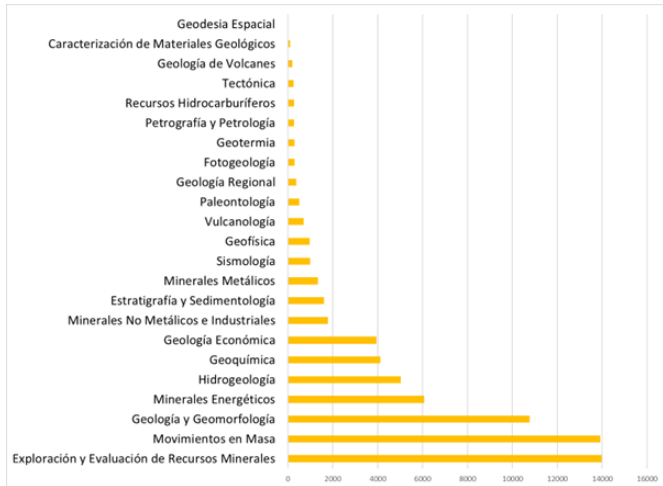


Figura 1. Cantidad de información generada por línea temática de las geociencias por el SGC. Fuente: Omar Santafé (comunicación personal, 18 de abril de 2024)

La construcción de GeoStraOntology se basó en una metodología de desarrollo ontológico de tipo a partir del texto (Ospina, 2011), siguiendo las directrices propuestas por Ontology Development 101 (Noy & McGuinness, 2001), debido a su carácter didáctico, su amplia adopción y su adecuación para proyectos aplicados en contextos institucionales. Si bien existen metodologías más recientes y completas, como NEON (The Open University, 2025), el enfoque adoptado permitió estructurar de manera clara y progresiva el dominio de la estratigrafía a partir de fuentes bibliográficas consolidadas.

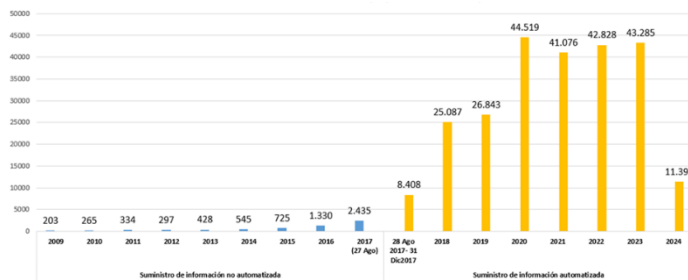


Figura 2. Suministro de información misional en paquetes de estudios/productos por el MIIG. Fuente: Omar Santafé (comunicación personal, 18 de abril de 2024)

La selección de esta metodología respondió a la necesidad de construir un modelo semántico funcional, orientado a la mejora de la recuperación de información en los sistemas MIIG y SIIG, priorizando la claridad conceptual, la trazabilidad terminológica y la alineación con los metadatos institucionales, sobre la complejidad metodológica. De esta manera, esta metodología proporciona un enfoque estructurado y claro para la creación del modelo, garantizando una representación efectiva de los conceptos geocientíficos en la web semántica y mejorando la capacidad

de búsqueda e integración de información geocientífica en el MIIG. El proceso se lleva a cabo mediante los siguientes pasos:

Definición de dominio y alcance de la ontología. Se seleccionó el dominio de las ciencias de la tierra, con un enfoque particular en la estratigrafía.

Utilización de ontologías existentes. Se realizó una búsqueda en portales académicos para verificar la existencia de ontologías previamente publicadas relacionadas con las ciencias de la tierra y la estratigrafía, se encontraron diversas ontologías, como es el caso de “GeomorphOntology”, “GeoCoreOntology” y “GeoScience Ontology” (Martínez, M., 2016; García et al., 2020; Brodaric & Richard, 2021), las cuales son ontologías enfocadas en las ciencias de la tierra o campos de estudio afines, pero no particularmente sobre la estratigrafía, además carecen una estructura taxonómica similar a la desarrollada en este documento.

Enumeración de conceptos importantes. Se creó un glosario de términos estratigráficos más relevantes para comprender este campo de estudio. Para esto se tomó como base la Guía Internacional de Estratigrafía (Comisión Internacional de Estratigrafía, 1980) y el Código Norteamericano de Estratigrafía (UNAM, 2010), dos fuentes bibliográficas más ampliamente utilizadas y reconocidas.

Definición de clases y su jerarquía. A partir del glosario, se agruparon los conceptos (clases en el modelo ontológico) estratigráficos en áreas temáticas, construyendo una jerarquía de conceptos en un modelo taxonómico (Figura 3).

Definición de propiedades de las clases. Se establecieron relaciones y propiedades que conectan los distintos conceptos, lo cual requirió ampliar la ontología para incluir áreas como los tipos de roca, sedimentología, paleontología y geocronología. Este enfoque permitió la formulación de axiomas y restricciones específicas, fortaleciendo la estructura y precisión del modelo.

Creación de instancias. Una vez construido el modelo ontológico, se poblaron las clases (conceptos) con instancias individuales (sujetos de estudio). Esto permitirá la conexión de información de repositorios institucionales con los datos del SGC.

Alcance. El alcance del modelo ontológico se definió a partir de criterios funcionales asociados a la recuperación de información, más que desde una perspectiva ontológica estrictamente formal. En consecuencia, el modelo integra clases que representan áreas disciplinares, objetos de estudio, unidades estratigráficas y conceptos de carácter operativo, entendidos como categorías funcionales necesarias para la descripción, indexación y recuperación de información en los sistemas de información geocientífica, organizados en una estructura taxonómica orientada a facilitar la indexación y búsqueda de contenidos geocientíficos.

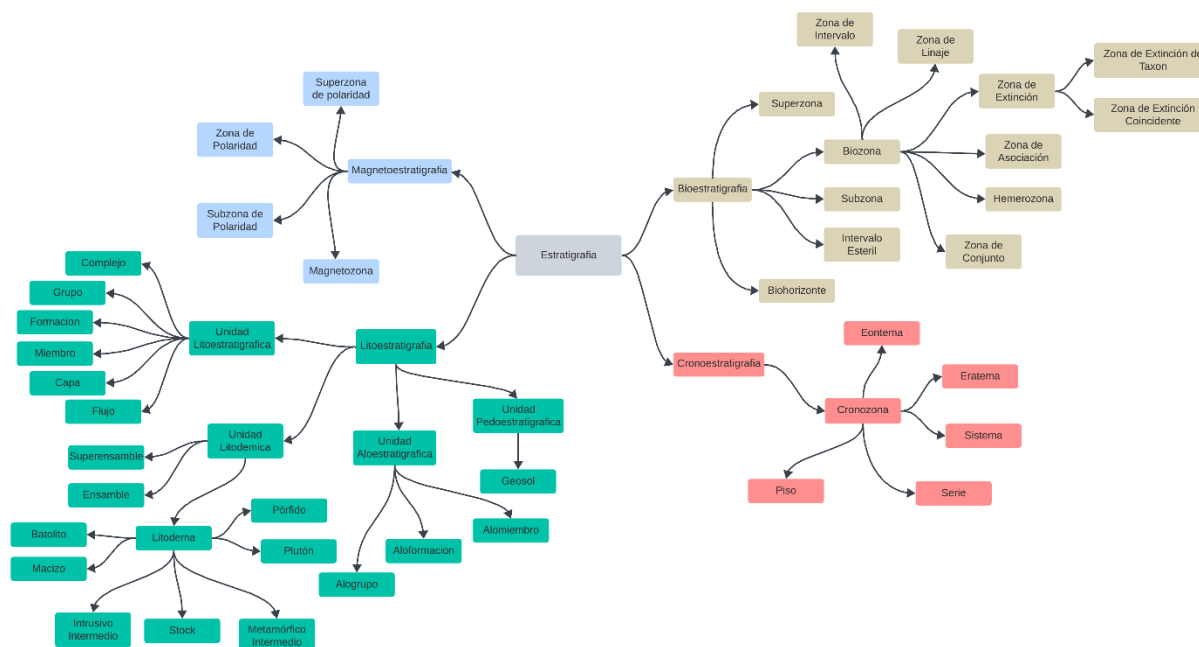


Figura 3. Modelo taxonómico de los conceptos estratigráficos seleccionados en el glosario de términos estratégicos.

En este contexto, la relación de jerarquía se utiliza como un mecanismo de organización conceptual que agrupa entidades relacionadas por su función informacional dentro del dominio de la estratigrafía, sin que ello implique necesariamente una relación ontológica de subsunción en sentido filosófico estricto.

4. RESULTADOS

Para el desarrollo del modelo ontológico, se incorporaron conceptos de áreas temáticas relacionadas con la estratigrafía, como la geocronología, paleontología y sedimentología, que comparten el objeto de estudio y complementan la disciplina principal. Esto permitió definir un total de 76 clases o conceptos, que incluyen la clasificación de los tipos de rocas estudiados por cada área temática. La Figura 4 muestra la relación de estas clases, destacando la integración de las diferentes disciplinas geocientíficas.

Basándose en el modelo taxonómico presentado en la Figura 3, se identificaron términos o clases equivalentes, lo que sugiere relaciones de equivalencia conceptual parcial o sinonimia parcial. Esto fue evidente al comparar los conceptos expuestos en la bibliografía utilizada para el glosario de términos. Un ejemplo de esto se observa en las clases asociadas a la cronoestratigrafía y la geocronología (Figura 5, A), donde ambas comparten definiciones relacionadas con el tiempo geológico, pero se diferencian en su enfoque de estudio y su relación espacio temporal (Hedberg, 1976; Murphy y Salvador, 1999). Un patrón similar se encuentra

en las relaciones entre la bioestratigrafía y la litoestratigrafía (Figura 5, B y C), reflejando variaciones debido a diferencias en las fuentes bibliográficas.

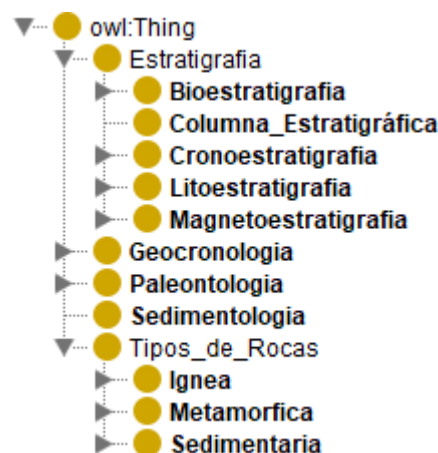


Figura 4. Clases subordinadas del modelo ontológico desarrollado.

Se definieron tres *ObjectProperty* (Tabla 1), que actúan como restricciones conceptuales en la ontología, permitiendo establecer una serie de axiomas que delimitan y definen conceptualmente las clases, ampliando las conexiones entre ellas (Smith et al., 2004; Torregrosa, 2020). Esto facilitó la especificación de los tipos de roca asociados a cada clase y su relación con los objetos de estudio, fortaleciendo la estructura semántica del modelo. La Figura 6 muestra cómo los axiomas detallan las relaciones y características de las clases.



Figura 5. Clases equivalentes entre áreas afines. (A) clases equivalentes entre los conceptos de la Cronoestratigrafía y Geocronología; (B) clases equivalentes entre los conceptos de Biozona, pertenecientes a la Bioestratigrafía; (C) clases equivalentes entre los conceptos de Unidad Litoestratigráfica y Unidad Litodemica, pertenecientes a la Litoestratigrafía. El símbolo (\equiv) representa la relación de sinonimia.

Tabla 1: Descripción de los *Object Property* definidos en el modelo ontológico.

| ObjectProperty | Definición | Dominio | Rango |
|----------------|---|---|--|
| ComObj_Estudio | Clases que comparten objetos de estudio | Estratigrafía | Geocronología, Sedimentología, Paleontología |
| constituidoPor | Tipo de rocas que constituyen o en las cuales pueden estar los objetos de estudios de una clase | Estratigrafía, Geocronología, Paleontología, Sedimentología | Tipos de Rocas |
| estudiaA | Clases que estudia a un objeto de estudio de otra clase | Estratigrafía | Sedimentología, Paleontología |



Figura 6. Construcción de axiomas a partir de los ObjectProperty.

Se definieron 16 DataProperty (Figura 7), que son propiedades de los datos o instancias del modelo ontológico (Smith et al., 2004; Torregrosa, 2020). Para este caso, teniendo en cuenta que la finalidad de este modelo es mejorar el motor de búsqueda avanzada del MIIG, se tomaron como base los ítems más relevantes de la estructura de los metadatos de dicha plataforma (Servicio Geológico Colombiano, 2025). Cada propiedad tiene un dominio y un rango, lo que implica especificar las clases a las que se pueden aplicar y el tipo de datos que pueden contener.

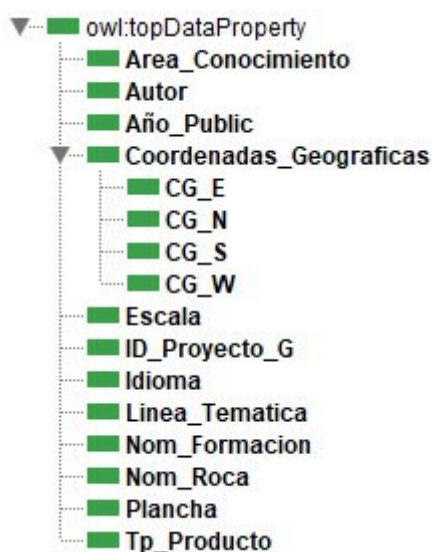


Figura 7. DataProperty del modelo ontológico desarrollado.

Las instancias definidas en el modelo corresponden a entidades de referencia conceptual utilizadas para poblar y operacionalizar la ontología en el contexto del MIIG. Estas instancias no

representan ocurrencias geológicas individuales en sentido estricto, sino conceptos controlados y entradas normalizadas que permiten la vinculación semántica con los metadatos y productos geocientíficos del SGC.

Este enfoque responde a los requerimientos del sistema de información, en el cual las instancias funcionan como nodos de indexación que facilitan la recuperación de información, más que como representaciones de entidades físicas particulares. De tal manera El modelo se pobló con 479 instancias, que se asignaron a las principales clases definidas. Cada instancia incluyó la asignación de uno o más DataProperty y/o ObjectProperty, (Figura 8).



Figura 8. Instancias o individuos del modelo ontológico desarrollado.

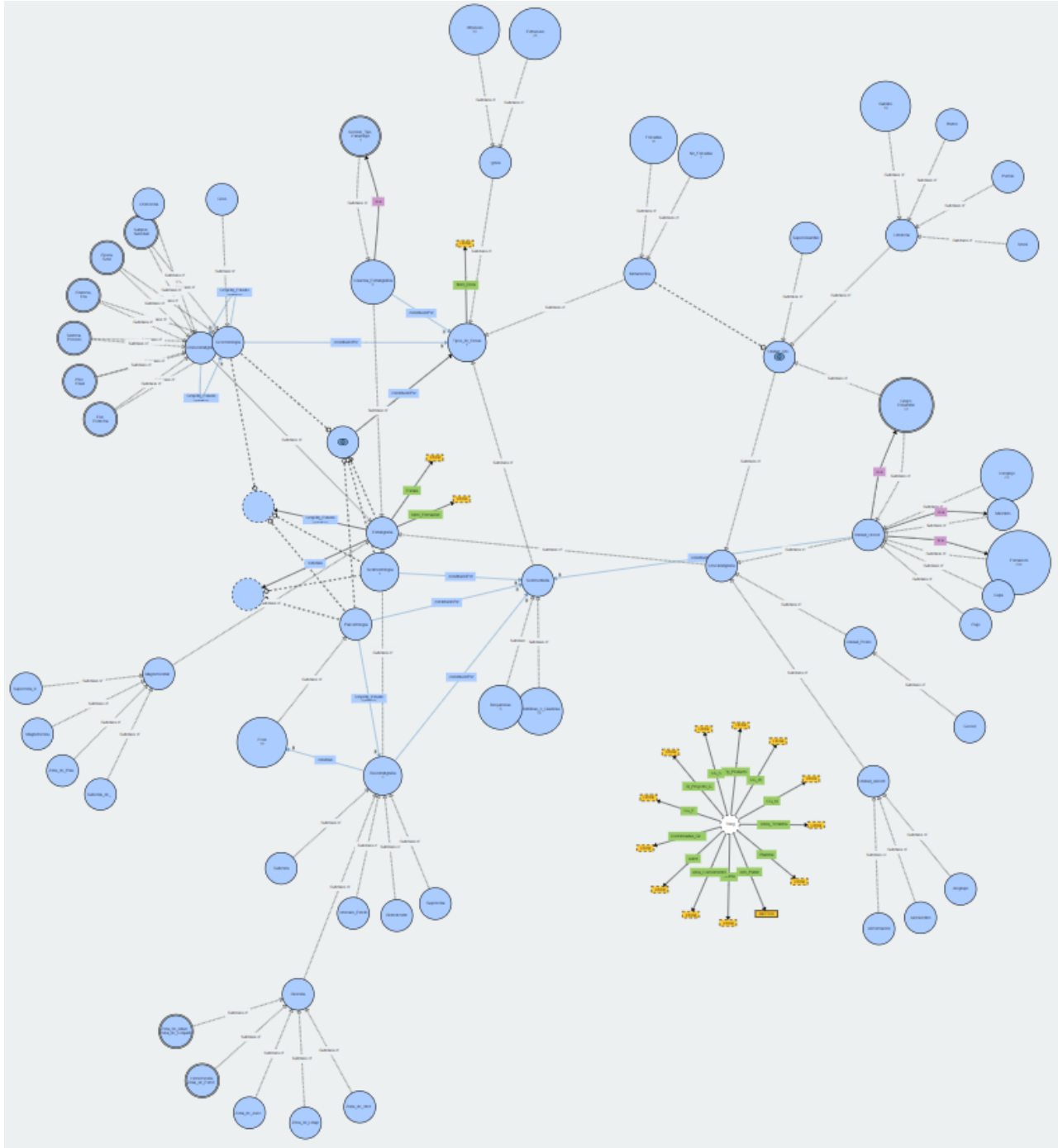


Figura 9. Modelo ontológico visualizado en la plataforma WebVOW. Fuente: Modificado de Lohmann et al. (2024)

La representación gráfica del modelo ontológico se llevó a cabo en la plataforma WebVOWL (Lohmann et al., 2024), como se muestra en la Figura 9. En esta figura, se pueden observar las relaciones definidas entre las clases, incluyendo herencia, sinonimia y dominios, lo cual proporciona una visión clara de la estructura semántica de la ontología.

5. DISCUSIÓN

El modelo ontológico presentado en este trabajo establece una estructura taxonómica para el área de la estratigrafía, alcanzando un mayor nivel de especificidad en comparación con ontologías desarrolladas para otros dominios de las ciencias de la Tierra, como GeoCore (García et al., 2020). Esta mayor especificidad es fundamental para abordar las necesidades del ámbito

estratigráfico, un área que requiere una precisión conceptual considerable para facilitar su estudio y aplicación en distintas plataformas y contextos.

A diferencia de ontologías derivadas de GeoCore, como GeoFault o GeoReservoir (Qu et al., 2024; Cicconeto et al., 2022), cuyo objetivo principal es la descripción de entidades geológicas específicas y el soporte a análisis orientados a escalas y contextos determinados, GeoStraOntology fue concebida con un propósito claramente diferenciado, optimizar la búsqueda, recuperación e integración de información estratigráfica en plataformas institucionales como el MIIG y el SIIG. Esta diferencia en los objetivos de diseño justifica tanto el nivel de especificidad alcanzado como las decisiones de modelado adoptadas, subrayando la necesidad de adaptar las ontologías al contexto operativo y a las necesidades concretas de los usuarios finales.

En el ámbito de las ontologías geocientíficas, destacan también propuestas de carácter fundacional y formal, como la *GeoScience Ontology* (GSO) desarrollada por Brodaric y Richard (2021). Este enfoque prioriza la consistencia ontológica, la definición rigurosa de entidades, procesos y relaciones, y se apoya en ontologías de nivel superior para modelar aspectos como la dependencia ontológica, la mereología y la categorización intensional del conocimiento geológico. Si bien este tipo de modelos constituye un referente fundamental para la formalización conceptual en las geociencias, su finalidad difiere sustancialmente de la planteada en GeoStraOntology.

En este sentido, GeoStraOntology no fue concebida como una ontología fundacional ni como un modelo orientado al razonamiento ontológico profundo, sino como una ontología de dominio aplicada, diseñada para responder a requerimientos funcionales específicos de los sistemas de información del Servicio Geológico Colombiano. Las decisiones de modelado se encuentran alineadas con la estructura de los metadatos institucionales y con las necesidades de indexación, consulta y recuperación de información estratigráfica, lo que implica priorizar relaciones de carácter descriptivo y operativo sobre una formalización ontológica de alto nivel.

Reconociendo el carácter holístico de la geología, fue necesario delimitar cuidadosamente los conceptos y clases incluidos en el modelo, con el fin de construir una ontología que permitiera una comprensión amplia y coherente de la estratigrafía sin perder su enfoque específico. En este proceso, se optó por excluir áreas como los yacimientos minerales, la geología estructural o la vulcanología, ya que, aunque estas disciplinas comparten ciertos elementos transversales con la estratigrafía, no presentan relaciones directas con las líneas temáticas definidas por

la bibliografía guía utilizada en este trabajo. Esta decisión permitió mantener el modelo centrado en aquellas áreas que refuerzan directamente el entendimiento estratigráfico, evitando la sobrecarga conceptual y preservando la claridad semántica del sistema.

Las propiedades definidas en GeoStraOntology describen relaciones orientadas a representar vínculos relevantes para la consulta, organización y análisis de información estratigráfica en entornos institucionales. Estas relaciones no buscan modelar exhaustivamente aspectos metafísicos o mereológicos, sino establecer asociaciones funcionales entre disciplinas, objetos de estudio y unidades estratigráficas, tal como se presentan en los productos geocientíficos y sus metadatos. En consecuencia, la semántica de las relaciones debe interpretarse dentro del marco de una ontología aplicada a sistemas de información, más que como una formalización ontológica estricta en términos filosóficos.

Finalmente, si bien GeoStraOntology responde a un enfoque aplicado, su estructura resulta compatible con modelos ontológicos más formales, como la GSO. En este sentido, el modelo desarrollado puede considerarse un primer paso hacia la consolidación de una metaontología de las ciencias de la Tierra, en la que futuras extensiones podrían incorporar ontologías de nivel superior para refinar la categorización ontológica y fortalecer la interoperabilidad semántica con otros modelos geocientíficos a nivel nacional e internacional.

6. CONCLUSIONES

La construcción de GeoStraOntology se llevó a cabo de manera fluida gracias al consenso general existente en el campo de la estratigrafía sobre las definiciones de los conceptos clave. Este acuerdo facilitó la unificación de términos y categorías, lo que permitió crear una ontología coherente y bien estructurada. Sin embargo, para proporcionar un contexto integral a las clases del modelo, fue necesario incluir conceptos de otras disciplinas geocientíficas y áreas relacionadas con la estratigrafía, lo que enriqueció la comprensión de este campo.

El enfoque específico de GeoStraOntology la distingue de otras ontologías geocientíficas, ya que se centra en optimizar el acceso a datos estratigráficos en los sistemas MIIG y SIIG. Este modelo deliberadamente excluye áreas no esenciales para garantizar una estructura centrada, altamente interoperable y relevante para la búsqueda y el análisis de datos geológicos. No obstante, para que el modelo despliegue todo su potencial, será fundamental implementarlo en los servidores del SGC, lo que requerirá un equipo multidisciplinario con profesionales expertos en tecnologías de la información.

El modelo ontológico constituye un primer paso hacia la consolidación de una metaontología de las ciencias de la Tierra, pero todavía necesita mejoras para abordar problemas asociados con el léxico estratigráfico en Colombia. Uno de los mayores desafíos es la homogeneización de la estratigrafía en el país, donde la sinonimia entre formaciones geológicas es un problema recurrente (Julivert, 1968; De Porta, 1974).

Aunque la ontología se diseñó principalmente para mejorar el modelo lógico del MIIG, también tiene el potencial de generar nuevas oportunidades para entender de manera más clara y profunda el estado actual de la estratigrafía en Colombia, tanto desde una perspectiva temporal como espacial, y para ofrecer un enfoque renovado en futuras investigaciones del campo.

Si bien GeoStraOntology no constituye una ontología fundacional en sentido estricto, representa un primer paso sólido hacia la consolidación de una metaontología de las ciencias de la Tierra orientada a la gestión de información geocientífica. Futuras extensiones del modelo podrán incorporar ontologías de nivel superior como marco conceptual, así como profundizar en la formalización ontológica de las entidades, de acuerdo con los requerimientos específicos de nuevas aplicaciones y líneas de investigación.

FINANCIAMIENTO

Este artículo fue financiado por el proyecto “Fortalecimiento de la gestión de la información del Servicio Geológico Colombiano apoyados en las tecnologías de la información y las comunicaciones – TIC”, código 1001647, del grupo de Servicios y Divulgación Geocientífica y Museal de la Dirección de Gestión de información del Servicio Geológico Colombiano.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Gestión de Información del Servicio Geológico Colombiano, particularmente al Grupo de Servicios y Divulgación Geocientífica y Museal.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses financieros o relaciones personales que puedan haber influido en el trabajo reportado en este artículo

REFERENCIAS

Brodaric, B., & Richard, S. M. (2021). The GeoScience Ontology reference (Open File 8796). Geological Survey of Canada. <https://doi.org/10.4095/328296>

- Castells, P. (2003). La Web Semántica: agregando significado y estructura a la información en la World Wide Web. Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid.
- Cicconeto, F., Viera, L., Abel, M., Alvarenga, R., Carbonera, J., García, L. (2022). GeoReservoir: An ontology for deep-marine depositional system geometry description.
- Comisión Internacional de Estratigrafía. (1980). Guía estratigráfica internacional. Editorial Reverté. https://www.google.com.co/books/edition/Gu%C3%ADa_estratigr%C3%A1fica_internacional/U0UM6XC38K0C?hl=es-419&gbpv=1&pg=PP1&printsec=frontcover
- De Porta, J., (1974). Lexique stratigraphique, Amérique Latine. Colombie (deuxième partie), Tertiaire et Quaternaire, V. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- Garcia, L., Abel, M., Perrin, M., Alvarenga, R. (2020). The GeoCore ontology: A core ontology for general use in Geology.
- Guzmán, J., López, M., Torres, I. (2012). Metodologías y métodos para la construcción de ontologías. Scientia et Technica Año XVII, No 50. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Hedberg, H. (ed). (1976). International Stratigraphic Guide. First Edition. John Wiley & Sons. Inc. 200 pp.
- Julivert M. (1968). Lexique stratigraphique international.
- Lohmann, S., Marbach, E., Negru, S. y Wiens, V. (1 de octubre de 2024). WebVOWL - Web-based Visualization of Ontologies. <http://vowl.visualdataweb.org/webvowl.html>
- Marciszack, M., Pérez, M., Antonelli, L., Cardenas, M. (2009), Construcción de una ontología utilizando Protégé para la elicitación de requerimientos. Congreso Nacional de Información y Comunicación para la Sociedad del Conocimiento. Centro de Ingenieros Córdoba - Jorge Sarmiento, Córdoba, Argentina.
- Martínez, M. (2016). Armonización semántica de conocimiento asociado a geoformas estructurales presentes en la cartografía temática de Colombia, mediante la construcción de una ontología. Escuela de Posgrados de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia.
- Motik, B., Patel-Schneider, P., Parsia, B., Bock, C., Fokoue, A., Haase, P., Hoekstra, R., Horrocks, I., Ruttenberg, A., Sattler, U., (2009). OWL 2 web ontology language: structural specification and functional-style syntax. W3C Recomm. 27, 159.
- Murphy M., & Salvador A. (1999). International Stratigraphic Guide - An abridged version. Episodes 22: 255 - 271.
- Noy, M., & McGuinness, D. (2001). Ontology development 101; A Guide to Creating Your First Ontology. Sanford

- Knowledge Systems Laboratory. https://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.pdf
- Ospina Rodríguez, M. C. (2011). Guía metodológica para la elaboración de una ontología a partir de un tesoro: estudio analítico comparativo. Fase I. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/sistemas_informacion_documentacion/454
- Qu, T., Perrin, M., Torabi, A., Abel, M., Giese, M. (2024). GeoFault: A well-founded fault ontology for interoperability in geological modeling
- Santafé O., & Melo J. (2021). Informe de Catálogo, consultas y descargas de productos geocientíficos en el motor de búsqueda de integración MIIG. Servicio Geológico Colombiano. Retrieved from https://www2.sgc.gov.co/Documents/Documentos-estadisticas/InformeMIIG_Vf_27_08_2021_OLD.pdf
- Servicio Geológico Colombiano. (1 de octubre de 2025). Motor de Integración de Información Geocientífica - MIIG. <https://miig.sgc.gov.co/Paginas/advanced.aspx>
- Shearer, R., Motik, B., Horrocks, I., 2008. Hermit: a highly-efficient OWL reasoner. In: Owled, pp. 91.
- Smith, M., Welty, C., McGuinness, D. (2004). OWL Web Ontology Language Guide. W3C Recommendation. <https://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210/#BasicDefinitions>
- Stanford. (1 de octubre de 2024). Protégé. <https://protege.stanford.edu/>
- The Open University (1 de diciembre de 2025). NeOn Toolkit, NeOn's Ontology Engineering Environment. <https://research-archive.stem.open.ac.uk/neon-toolkit/>
- Torregrosa, B. (2020). Ontologías. Universitat Oberta de Catalunya.
- UNAM. (2010). Código estratigráfico norteamericano. <https://www.sgm.gob.mx/pdfs/bol117.pdf>