



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Ontología para la Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera de Colombia

Angie Andrea Montoya Gonzalez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2023



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Ontología para La Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera de Colombia

Angie Andrea Montoya Gonzalez

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Geomática

Director:

Candidato PhD. Camilo Alexander León Sánchez

Co-Director:

PhD. Iván Alberto Lizarazo Salcedo

Línea de investigación:

Tecnologías Geoespaciales

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2023

A Dios, a mi familia, a mis amigos.

*El fin de todo discurso oído es este: Teme a Dios, y guarda
sus mandamientos; porque esto es el todo del hombre.*

Eclesiastés 12: 13

Agradecimientos

En primer lugar, gracias a Dios quién permite todo en mi vida, que me bendice y da las fuerzas, capacidades y conocimiento para realizar cada actividad que emprendo, al Señor Jesucristo quien me ha dado el don de la salvación.

A mis padres, Olga y Uriel, por cada palabra de ánimo, por cada abrazo, por cuidarme, por cada atención y por la confianza que me hacen sentir. Son la motivación para continuar y terminar este proceso, son la motivación para ser mejor profesional y mejor ser humano, merecen todo lo mejor de esta vida.

A mis hermanas, Alejandra y Laura, que siempre han creído en mis capacidades, quiénes me hacen reír y enseñan en cada momento. A mis mascotas, Messi, Policarpa y Gohan, quiénes estuvieron a mí lado mientras escribía esta tesis, quienes trasnocharon conmigo y nunca permitieron que me sintiera sola.

A la Universidad Pública de este país, mi amada Universidad Distrital Francisco José de Caldas por brindarme la oportunidad de ser profesional y a la Universidad Nacional por hacerme magíster. A los profesores Camilo León e Iván Lizarazo, por cada instrucción, acompañamiento y palabra de ánimo para continuar con esta investigación.

A la Dirección General Marítima y la Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera, quién me formó como profesional y me enseñó la importancia y apropiación que se debe tener por nuestro territorio marítimo. A Paola Echeverry, mi líder y amiga en este proceso, por ser ese hermoso ser humano que siente, habla y actúa con sinceridad.

A todos ustedes, gracias.

Resumen

Ontología para la Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera de Colombia

Las infraestructuras de Datos Espaciales – IDE, facilitan el descubrimiento, acceso, gestión, distribución, reutilización, y preservación de los recursos geográficos dispuestos digitalmente. La Dirección General Marítima, lidera una IDE Marítima, Fluvial y Costera – IDE-MFC, una IDE temática que busca aportar al conocimiento y apropiación de los océanos y litorales del país a la sociedad. Uno de los retos que enfrenta la IDE-MFC es establecer técnicas de organización y búsqueda pensadas en la recuperación de los datos e información geográfica que garanticen la correcta interpretación a los demás usuarios. Así, aparece el concepto ontológico como la estrategia para la representación y recuperación de los datos a través de su significado.

La construcción de ontologías ha permitido armonizar la semántica de los conceptos en el dominio geográfico, a través de la definición de relaciones, atributos, reglas y axiomas de los elementos, es posible contemplar un entendimiento común para usuarios y máquinas en un dominio específico. Para construir una ontología en la IDE-MFC, se tomaron los datos de 3 grandes áreas de conocimiento que disponen datos e información geográfica a la comunidad marítima. Se revisaron las metodologías existentes para la elaboración de ontologías, en donde se identificaron los pasos a seguir para la construcción y mantenimiento de la ontología, así mismo, realizar la especificación de la ontología para esta IDE temática.

Dentro del fortalecimiento de la semántica de los datos geográficos en el dominio marítimo, se identificaron recursos ontológicos y no ontológicos para fortalecer el conocimiento de los elementos espaciales seleccionados. Según la gestión de información de la IDE-MFC, se definieron clases, instancias, relaciones, propiedades y axiomas dentro del diseño ontológico. A través del software *Protégé* se construyó la ontología en el lenguaje *Ontology Web Language - OWL*, en donde se aprovechó el establecimiento de jerarquías entre las clases y la posibilidad de integrar la ontología *GeoSPARQL*. Se transformó la ontología al modelo de datos *Resource Description Framework – RDF* que permitió realizar consultas a través de la semántica de los datos en un punto de consulta *SPARQL Endpoint*.

La construcción de la ontología para la IDE-MFC, proporciona una representación estructurada del conocimiento, presentándose como una herramienta que puede apoyar el análisis y la evaluación de conceptos respaldados por diferentes fuentes de conocimiento en un mismo escenario. Se espera realizar su fortalecimiento y publicación siguiendo las directrices de la Dirección General Marítima.

Palabras clave: Infraestructura de datos espaciales – IDE, ontología, semántica, datos marítimos.

Abstract

Ontology for Colombia's Maritime, River, and Coastal Spatial Data Infrastructure

Spatial Data Infrastructures – SDI facilitate the discovery, access, management, distribution, reuse, and preservation of digitally geographic resources. Directorate General Maritime leads a Maritime, River and Coastal SDI – IDE-MFC, a thematic SDI that seeks to contribute to the knowledge and appropriation of the country's oceans and coastlines to society. One of the challenges facing the IDE-MFC is to establish organizational and search techniques designed to recover data and geographic information that guarantee the correct interpretation to other users. Thus, the ontological concept appears as the strategy for the representation and retrieval of data through its meaning.

The construction of ontologies has allowed to harmonize the semantics of the concepts in the geographical domain, through the definition of relationships, attributes, rules and axioms of the elements, it is possible to contemplate a common understanding for users and machines in a specific domain. To construct an ontology in the IDE-MFC, data were taken from 3 major areas of knowledge that provide data and geographic information to the maritime community. The existing methodologies for the elaboration of ontologies were reviewed, where the steps to be followed for the construction and maintenance of ontology were identified, as well as the specification of the ontology for this thematic SDI.

Within the strengthening of the semantics of geographical data in the maritime domain, ontological and non-ontological resources were identified to strengthen the knowledge of the selected spatial elements. According to the information management of the IDE-MFC, classes, instances, relations, properties, and axioms were defined within the ontological design. Through the Protégé software, ontology was built in the Ontology Web Language - OWL language, where the establishment of hierarchies between classes and the possibility of integrating the GeoSPARQL ontology that allowed the geographical link of the selected data was taken advantage of. For its implementation, the ontology was transformed to the Resource Description Framework – RDF data model that allowed to perform queries through the semantics of the data in a SPARQL Endpoint.

The construction of the ontology for the IDE-MFC, provides a structured representation of knowledge, presenting itself as a tool that can support the analysis and evaluation of concepts supported by different sources of knowledge in the same scenario. It is expected to be strengthened and published in accordance with the guidelines of the Directorate General Maritime.

Keywords: Spatial Data Infrastructures SDI, ontology, semantic, maritime data.

Tabla de contenido

Lista de figuras.....	4
Lista de tablas.....	6
1. Introducción.....	7
1.1. Contexto.....	7
1.1.1. Implementación de Infraestructuras de Datos Espaciales - IDE.....	7
1.1.2. Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera.....	8
1.1.3. Ontologías.....	9
1.2. Formulación del problema.....	13
1.3. Estado del conocimiento.....	14
1.4. Preguntas de investigación.....	18
1.5. Objetivos.....	18
1.5.1. General.....	18
1.5.2. Específicos.....	18
1.6. Justificación.....	19
1.7. Organización de la tesis.....	20
2. Marco referencial.....	21
2.1. Marco teórico.....	21
2.1.1. Infraestructura de Datos Espaciales- IDE.....	21
2.1.2. Datos geoespaciales marítimos y costeros.....	22
2.1.3. Interoperabilidad.....	24
2.1.4. Ontologías geoespaciales.....	25
2.2. Estado del arte.....	26
2.2.1. Construcción de ontologías geoespaciales.....	26
2.2.2. Implementación de ontologías sobre IDEs.....	28
2.2.3. Ontologías de dominio marítimo y costero.....	29
2.3. Discusión.....	31
2.3.1. Análisis de requerimientos.....	31
2.3.2. Diseño de la ontología geoespacial.....	32
2.3.3. Implementación de la ontología geoespacial.....	33

2.4.	Síntesis.....	34
3.	Materiales y métodos.....	35
3.1.	Caso de estudio	35
3.1.1.	Área de estudio.....	35
3.1.2.	Datos y software usados	37
3.2.	Metodología para el desarrollo de una ontología de dominio.	41
3.2.1.	Análisis de alto nivel de las características que particularizan el dominio. .	41
3.2.2.	Procesos relevantes en el desarrollo de ontologías.....	42
3.3.	Aprovechamiento del conocimiento en el dominio marítimo costero.....	44
3.3.1.	Extracción de conocimiento de recursos no ontológicos.....	44
3.3.2.	Extracción de conocimiento a través de recursos ontológicos.....	46
3.4.	Construcción de la ontología geoespacial marítima costera sobre la IDE-MFC...	46
3.4.1.	Definición del alcance de la ontología.....	46
3.4.2.	Definir las clases y su jerarquía dentro de la ontología	47
3.5.	Implementación de la ontología geoespacial.....	47
3.5.1.	Estándares	47
3.5.2.	Servicios.....	48
3.6.	Síntesis.....	48
4.	Resultados	49
4.1.	Metodología propuesta.....	49
4.1.1.	Principales etapas en los procesos relevantes identificados.	49
4.1.2.	Abstracción y adaptación de etapas para una ontología geoespacial para una IDE. 49	
4.1.3.	Análisis de la dependencia de tareas para definir su orden de aplicación. .	50
4.2.	Especificación de la ontología	51
4.3.	Diseño de la ontología	52
4.4.	Conocimiento en el dominio marítimo y costero.....	56
4.4.1.	Identificación de conceptos principales de la IDE-MFC	56
4.4.2.	Extracción de conocimiento de recursos no ontológicos.....	56
4.5.	Implementación.....	65
4.6.	Evaluación.....	68

5.	Discusión de resultados.....	71
5.1.	Metodología propuesta para la ontología para la IDE-MFC.....	71
5.2.	Especificación de la ontología para la IDE-MFC	72
5.3.	Selección de recursos semánticos para la IDE-MFC.....	73
5.4.	Implementación de la ontología para la IDE-MFC.....	75
6.	Conclusiones y trabajo futuro	77
6.1.	Conclusiones.....	77
6.2.	Trabajo futuro.....	78
7.	Bibliografía.....	80

Lista de figuras

Figura 1.1. Componentes de una Infraestructura de Datos Espaciales. Elaboración propia. Símbolos de la librería IAN	7
Figura 1.2. Lenguajes aplicados en el desarrollo de ontologías. Basado en (Colucci & Spanò, 2020).....	10
Figura 2.1. Actividades en el dominio marítimo. Elaboración propia. Símbolos de la librería IAN.	23
Figura 2.2. Independencia entre los tipos de conceptos dentro de la implementación de la ontología geoespacial. Basado en (Klien & Probst, 2005).....	26
Figura 3.1. Jurisdicción marítima de Colombia. Elaboración propia. Software usado ArcGIS Pro versión 2.7.....	35
Figura 3.2. Capitanías de puerto marítimas. Elaboración propia. Software usado ArcGIS Pro versión 2.7.	36
Figura 3.3. Litorales y Áreas Marinas – Visor de playa, Portal Geográfica de la Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera de Colombia.....	40
Figura 3.4. Señalización Marítima – Visor de ayudas a la navegación, Portal Geográfica de la Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera de Colombia.	40
Figura 3.5. Servicio Hidrográfico – Visor de cartografía náutica. Portal Geográfica de la Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera de Colombia.	41
Figura 4.1. Flujo metodológico para una ontología en el dominio marítimo costero.	51
Figura 4.2. Entidad geográfica ayudas a la navegación y sus relaciones.	54
Figura 4.3. Entidad geográfica caracterización y sus relaciones.	54
Figura 4.4. Entidad geográfica zonificación y sus relaciones.	55
Figura 4.5. Entidad geográfica cartas náuticas y sus relaciones.	55
Figura 4.6. Clases y propiedad para la zonificación de playas.	57
Figura 4.7. Clases y propiedad de caracterización de las playas.....	58
Figura 4.8. Caracterización de playas según recursos no ontológicos.	58
Figura 4.9. Caracterización de la playa por acceso.....	59
Figura 4.10. Clase y propiedades de las ayudas a la navegación.	60
Figura 4.11. Clase y propiedades de las ayudas a la navegación y marca de tope.	60
Figura 4.12. Clase de símbolo para las ayudas a la navegación.	61
Figura 4.13. Propiedades de objeto de ayudas a la navegación.	61
Figura 4.14. Clase canales de navegación y sus propiedades de datos.	62
Figura 4.15. Clase zona de navegación y sus propiedades de datos.....	62
Figura 4.16. Clase punto de embarque y sus propiedades de datos.	63

Figura 4.17. Clase cobertura de cartografía náutica y sus propiedades de objeto.....	63
Figura 4.18. Ontología GeoSPARQL.....	64
Figura 4.19. Clases con propiedades geoespaciales.....	65
Figura 4.20. Prefijos y vocabulario del modelo de datos RDF – Litorales y Áreas Marinas. 66	66
Figura 4.21. Datos de caracterización de playas.	66
Figura 4.22. Modelo de datos RDF de la caracterización de playas.	66
Figura 4. 23. Prefijos y vocabulario del modelo de datos RDF – Seguridad en la navegación.	67
Figura 4.24. Datos de canales de navegación.	67
Figura 4.25. Modelo de datos RDF de los canales de navegación.	67
Figura 4.26. Consulta de playas por color de arena.	68
Figura 4.27. Playas con arena blanca por capitanía.	69
Figura 4.28. Consulta de playas por preferencias específicas.....	69
Figura 4.29. Playas con las preferencias específicas de la consulta.....	70
Figura 5.1. Estructura de clases y subclases según la existencia de aspectos de caracterización por playa.....	74
Figura 5.2. Estructura de clases y subclases según la disposición de ayudas a la navegación.	74

Lista de tablas

Tabla 1.1. Clasificación de ontologías según nivel de generalidad. Basado en (Kokla & Guilbert, 2020).....	11
Tabla 2.1. Vocabularios en el contexto de ciencias del mar. Basado en (Bermudez et al., 2006, p. 4).....	32
Tabla 3.1. Descripción de datos geoespaciales.	37
Tabla 3.2. Comparación de metodologías. Fuente: Elaboración propia.	43
Tabla 3.3. Grupos de interés participantes en la adquisición de conocimiento en el dominio marítimo.	44
Tabla 3.4. Normatividad colombiana para la gestión de zonas costeras. Modificado con base en (Avella et al., 2010, p. 192).	44
Tabla 3.5. Investigaciones donde se desarrolla la semántica de los datos geoespaciales marítimos costeros.	46
Tabla 4.1. Especificación de requerimientos.....	51
Tabla 4.2. Diseño de la ontología para la IDE-MFC.	53
Tabla 4.3. Términos importantes dentro de la IDE-MFC.....	56

1. Introducción

1.1. Contexto

1.1.1. Implementación de Infraestructuras de Datos Espaciales - IDE

Las infraestructuras de datos espaciales – IDE buscan facilitar el descubrimiento, acceso, gestión, distribución, reutilización y preservación de los recursos geoespaciales digitales como datos, mapas, herramientas y servicios geográficos (Hu & Li, 2017). El correcto funcionamiento de una IDE estará ligado del trabajo de las personas, el apoyo de las organizaciones, las políticas a nivel gobierno y el establecimiento de estándares de datos y software que se implemente (Hu & Li, 2017), en la Figura 1.1, se ilustran los componentes de una IDE.

Dado que entre el 80% y el 90% de la información que utilizan los gobiernos tienen características espaciales, las IDEs se dirigen a coordinar los esfuerzos para compartir e intercambiar datos espaciales, con la clara necesidad de la participación interinstitucional (Bernabé & Manso, 2003, p.3). Por ende, existen IDE con distintos niveles de jerarquía que tienen una gestión de los datos desde muy detallada a menos detallada, así: Corporativas, locales, provinciales, nacionales, regionales y globales (Bernabé & Manso, 2003, p.12).

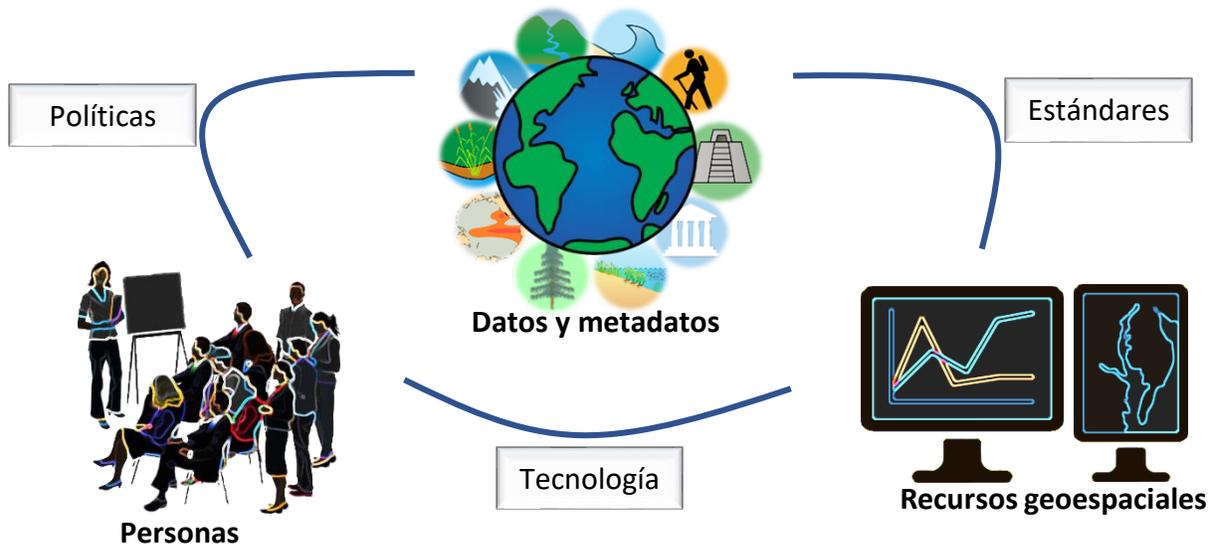


Figura 1.1. Componentes de una Infraestructura de Datos Espaciales. Elaboración propia.
Símbolos de la librería IAN¹

Por lo anterior, existe la iniciativa *Global Spatial Data Infrastructure* – GSDI como una IDE global con el propósito de alentar a los gestores de datos espaciales a usar los estándares que garanticen la interoperabilidad y difusión de datos e información en la web (Federal Geographic Data Committee, 2021). La GSDI existe como ente coordinador para la

¹ Cortesía de *Integration and Application Network* - IAN, Universidad de Maryland Centro de Ciencias Ambientales (ian.umces.edu/symbols/).

implementación de IDEs nacionales e internacionales, brindando las directrices para la gestión, organización y uso de los datos espaciales y, de las actividades relacionadas (Aalders & Moellering, 2008).

Bajo los estándares de implementación de GSDI, a nivel continental y con el propósito de posibilitar datos estandarizados e interoperables entre las instituciones Europeas, surge la IDE de nivel regional *Infraestructure for Spatial Information in the European Community – INSPIRE* pensada en las políticas ambientales de la Unión Europea y las actividades que puedan tener un impacto en el medio ambiente (INSPIRE, 2021). INSPIRE establece la normatividad para la creación de las IDE en la Comunidad Europea. Dentro de su labor establece lineamientos de obligatorio cumplimiento sobre el manejo de los datos y metadatos geográficos que favorecen a muchos usuarios a través de la publicación de servicios web estándar según lo establecido por *International Organization for Standardization – ISO* y *Open Geospatial Consortium – OGC* (Muñoz & Gómez, 2016)

Como resultado de la directiva INSPIRE nace la Infraestructura de Datos Espaciales de España – IDEE, una IDE a nivel nacional que integra los datos, metadatos, servicios e información geográfica producida en España a nivel estatal, autónomo y local. La IDEE a través de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional de España facilita a los usuarios la localización, identificación, selección y acceso a los datos y servicios producidos mediante un geoportal web (IDEE, 2021). Horizontal a IDEE existen otras IDE de nivel nacional, la *Australian Spatial Data Infrastructure – ASDI* comprende las políticas, las tecnologías y las personas requeridas para disponer datos geográficos en Australia en sus niveles de gobierno, sector privado, organizaciones sin fines de lucro y el mundo académico (ICSM, 2021).

Colombia presenta a través del documento Consejo Nacional de Política Económica y Social – CONPES 3585 de 2009 los lineamientos para consolidar la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales – ICDE en el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 en la estrategia “Ciudades Amables”. El Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC coordina a ICDE como el instrumento para integrar las políticas, estándares, organizaciones y recursos tecnológicos para el acceso y uso de la información geográfica en Colombia (Departamento Nacional de Planeación, 2009). En el caso colombiano, a nivel ciudad se encuentra la Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital – IDECA cuyo fin es apoyar el desarrollo social, económico y ambiental de Bogotá D.C. a través de la disposición y acceso de la información geográfica (IDECA, 2021).

1.1.2. Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera

En caso de la gestión de datos espaciales marinos la *International Hydrographic Organization – IHO* apoya la *Marine Spatial Data Infrastructure – MSDI*, una IDE concentrada en cuatro elementos: (1) políticas y gobernanza, (2) estándares técnicos, (3) datos y metadatos, y (4) tecnología para conectar a los usuarios con los datos geoespaciales

marinos, con esta IDE se beneficia la disposición de lineamientos en la pesca, administración de zonas costeras, planificación espacial marina, turismo, entre otros (IHO, 2017, p.6). MSDI al ser una IDE temática, se involucra en todos los niveles de una IDE, por lo que sus estándares y políticas en el manejo de datos son aplicadas en las IDE encargadas de la gestión de estos datos geospaciales en específico (IHO, 2017, p.17). La *New Zealand Geospatial Office* – NZGO, cumpliendo con los estándares dispuestos por MSDI, garantiza que los datos geospaciales marinos sean fáciles de encontrar, compartir y usar a través del portal geográfico *Land Information New Zealand* – LINZ (IHO, 2017, p.31).

MSDI existe para conectar a los usuarios finales con muchas fuentes diversas de contenido marino, por lo que bajo sus lineamientos la Dirección General Marítima colombiana – Dimar a través de su Servicio Hidrográfico Nacional – SHN genera productos en cumplimiento de la normatividad y la estandarización por la IHO, desde el año 2000 la cartografía náutica se elabora bajo el estándar S-57 que garantiza su intercambio en las diferentes plataformas de software (CIOH, 2021).

Dado el potencial marítimo colombiano (44.85% de su territorio es mar) y su privilegiada posición geográfica que lo convierte el único país en Suramérica con dominio sobre dos océanos y lo ubica en la lista de los 21 países en el mundo con este privilegio, surge la necesidad de aprovechar este potencial marítimo, así, instituciones y organismos nacionales, regionales y locales aúnan esfuerzos para generar estrategias y políticas entorno al territorio marítimo. El documento CONPES 3990 del 2020 establece a la Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera – IDE-MFC liderada por Dimar a ser el ente articulador de los datos e información geográfica en el área marítima para el conocimiento y apropiación de los océanos y litorales del país a la sociedad (Departamento Nacional de Planeación, 2020).

Uno de los problemas persistentes en la evolución de los sistemas de información geográfica – SIG, es lograr que la información intercambiada no pierda su significado al ser interpretada por el usuario, es decir la interoperabilidad semántica. Lograr la interoperabilidad entre instituciones se convierte en una tarea difícil si la interpretación de los datos por cada usuario es distinta. Dentro de una IDE existe heterogeneidad de los grupos de datos espaciales, por lo que se deben tener en cuenta la sintaxis y el significado de los conceptos para facilitar la interpretación y búsqueda de datos espaciales dentro de portales web (Zhang, 2019). Así, el uso de ontologías aparece como herramienta para potencializar la recuperación de datos e información geográfica a través del establecimiento de reglas de comportamiento que posibilitan la gestión de los datos desde un nivel de significado mayor (Calle Jiménez, 2015).

1.1.3. Ontologías

Para disposición de datos e información geográfica en una IDE la interoperabilidad semántica se convierte en un aspecto importante para garantizar la correcta interpretación

de los datos por los usuarios. La semántica como el “significado de una unidad lingüística” (Real Academia Española, 2021b) comprende la representación de los datos geoespaciales a través de los sistemas de información directamente relacionados con sus conceptos en el mundo real (Calle Jiménez, 2015).

Para entender qué es una ontología la Real Academia Española la define como “Parte de la metafísica que trata del ser en general y de sus propiedades trascendentales” en un contexto filosófico que lleva a la adopción del término en diferentes campos de la ciencia como “En ciencias de la comunicación y en inteligencia artificial, red o sistema de datos que define las relaciones existentes entre los conceptos de un dominio o área del conocimiento” (Real Academia Española, 2021). Adicionalmente, Zhang (2019) dentro del contexto de interoperabilidad semántica geoespacial define ontología como “conjunto de conceptos y categorías en un área temática o dominio que muestra sus propiedades y las relaciones entre ellos.” (Zhang, 2019).

El uso de ontologías ha resultado útil para la descripción de conocimiento y así resolver el problema de heterogeneidad entre bases de datos producto de las múltiples definiciones de un mismo concepto dentro un contexto (Xue & Chen, 2019). Por otro lado, su uso ha ganado reconocimiento con el incremento de la publicación de datos e información en la web (Jung et al., 2013, p.46). La aplicación de ontologías dentro del entorno geoespacial está basada en las propiedades geográficas de sus entidades, se han generado para posibilitar el uso de datos geográficos a partir de la estandarización y formalización de la semántica geoespacial, con la idea de aumentar la interoperabilidad de servicios geográficos por sus distintos productores (Jung et al., 2013, p.50).

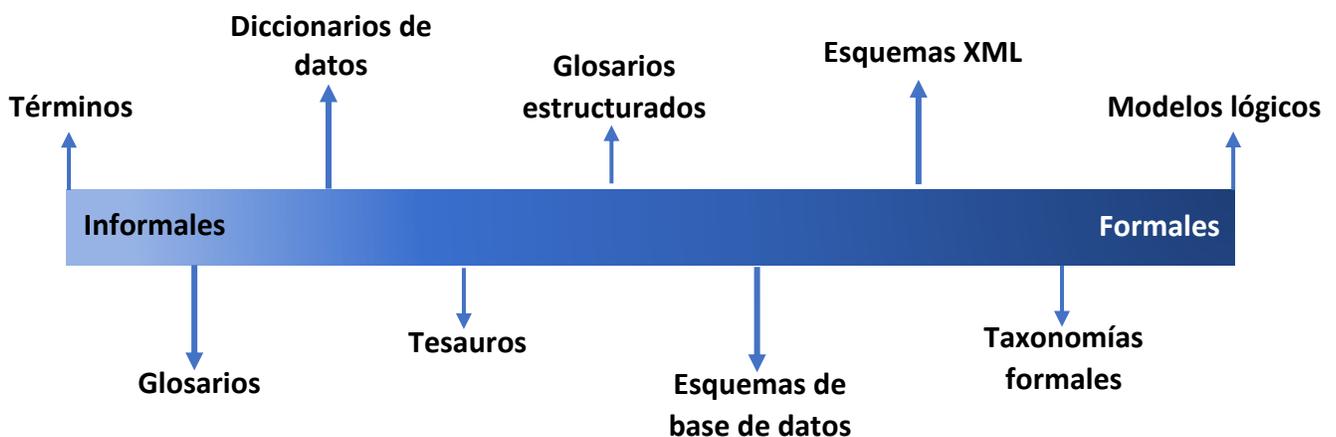


Figura 1.2. Lenguajes aplicados en el desarrollo de ontologías. Basado en (Colucci & Spanò, 2020).

Kokla y Guilbert (2020) realizan una revisión de los últimos avances en el desarrollo de ontologías para la investigación en los SIG, como resultado, encontraron su implementación

en la consulta y recuperación de información, integración de datos, procedencia de datos geoespaciales en la web, entre otros. Así mismo, describen el desarrollo de ontologías geoespaciales para diversas necesidades y usos según los niveles de generalidad y formalidad.

Las ontologías geoespaciales se han enfocado en dar un soporte para que los datos geográficos tenga un nivel semántico procesado directa o indirectamente por los computadores, aportando un mayor grado de automatización de los datos de manera significativa dado que no se pierde la semántica en su intercambio (Sun et al., 2019). En consecuencia, contar con datos geográficos estandarizados e interoperables semánticamente que fortalece la recuperación de información que desea el usuario final.

Con lo anterior, dentro de la clasificación de ontologías se contemplan dos criterios: según su nivel de formalidad y su nivel de generalidad; el nivel de formalidad está definido por el lenguaje empleado en su construcción, por lo que existen ontologías informales, semiformales y formales (Figura 1.2). Por otro lado, según el nivel de generalidad se clasifican las ontologías como: de alto nivel, dominio, tarea y aplicación (Tabla 1.1) (Kokla & Guilbert, 2020).

Tabla 1.1. Clasificación de ontologías según nivel de generalidad. Basado en (Kokla & Guilbert, 2020)

Ontología	Descripción	Ejemplo de conceptos
Alto nivel	Definen conceptos fundamentales, son utilizadas como referencia para desarrollar conceptos de dominio más especializado.	Entidad, propiedad, relación, proceso, acción, espacio y tiempo.
Dominio	Definen conceptos enmarcados en un área de conocimiento específica.	Oceanografía, Hidrografía, Topografía, Meteorología, etc.
Tarea	Definen conceptos relacionados a una actividad que puede ser aplicada en diferentes contextos.	Análisis, planificación, monitoreo, pronóstico, etc.
Aplicación	Definen conceptos relacionados a un dominio y tarea en particular, especializan las ontologías de dominio y tarea.	Análisis de alertas de meteorología, planificación urbana, análisis espacial, etc.

Según la caracterización de ontologías realizada por Kokla y Guilbert (2020) tras una revisión bibliográfica de 1533 artículos, las ontologías geoespaciales pueden ser consideradas bajo el tipo de dominio, sin embargo, las ontologías de alto nivel son importantes en el conocimiento geoespacial debido a su conceptualización de espacio, tiempo, regiones

espaciales, límites espaciales y su prominente investigación sobre las entidades geográficas y sus relaciones (Kokla & Guilbert, 2020).

Para la construcción de ontologías se han derivado distintos métodos y metodologías que Gúzman et al. (2012) describen cronológicamente:

- Metodología CYC publicada por Lenat y Guha (1990): A partir de la extracción manual del conocimiento común contenido en diferentes fuentes se enriquece el conocimiento de la ontología, posteriormente, con el uso de herramientas de procesamiento se adquiere nuevo conocimiento.
- Metodología propuesta por Uschold y King (1995): Proponen una metodología para representar conocimientos sobre un dominio específico. Su primer paso es la identificación del propósito, siguiendo a esto, la identificación de conceptos y sus relaciones, y los términos que se usan para referirse a éstos, finalmente, la codificación de la ontología.
- Metodología propuesta por Grüninger y Fox (1995): Esta metodología parte de la identificación de las posibles aplicaciones que tendrán de base la ontología. A partir de preguntas en lenguaje natural se extraen los conceptos principales, propiedades, relaciones y axiomas.
- Metodología a partir del proyecto Kactus (1995): La ontología es construida mediante un proceso de abstracción sobre una base de conocimiento. Como primer paso se debe especificar la aplicación, se continua con la estructuración preliminar de las categorías basado en ontologías de alto nivel y finalmente la conformación de la ontología.
- Metodología Methontology (1996): Esta metodología permite la construcción de nuevas ontologías y la reutilización de las existentes, contempla planificación de proyectos, evaluación de la calidad del resultado e inclusive su documentación. Se parte de la identificación del proceso a través de las actividades de evaluación, conceptualización, configuración, integración, implementación, entre otras. Cuenta con 5 etapas: especificación, conceptualización, formalización, implementación y mantenimiento.
- Metodología basada en ontología Sensus (1997): A partir de los conceptos más genéricos del conocimiento existente se formaliza la semántica de conceptos específicos. Los términos fundamentales de un dominio particular se enlazan manualmente a una ontología de alto nivel, finalmente, los usuarios extraen automáticamente los términos que definen el dominio y acotan la ontología. El algoritmo usado en la ontología Sensus retorna términos estructurados por jerarquía como base de conocimiento.
- Metodología a partir del proyecto On-To-Knowledge (2001): Aplicada para mejorar la gestión de conocimiento en grandes organizaciones. Basada en el análisis de su aplicación y en los actores de generación de conocimiento y administrativos a nivel

empresarial. Se ejecuta a partir de la identificación de metas para la gestión de conocimiento.

- Metodología Ontology Development 101 propuesta por la Universidad de Stanford - Estados Unidos (2001): Dispone de 6 recomendaciones para la construcción de ontologías: Determinar el ámbito de la ontología, determinar la intención de la ontología, reutilizar ontologías o vocabularios controlados existentes, enumerar los términos importantes del dominio, definir la jerarquía y crear las instancias.
- Metodología Terminae (2002): A partir de textos se propone la construcción de la ontología y además se aporta una herramienta para su ejecución. La herramienta contempla un procesamiento de lenguaje natural que permite realizar un análisis lingüístico de los textos para identificar términos, relaciones y roles.

Con la descripción de algunas de las metodologías para la construcción de ontologías se puede concluir la importancia de identificar el objetivo de la ontología y la relevancia de comprender la infraestructura en la que va a desplegarse (Gúzman et al., 2012).

1.2. Formulación del problema

Uno de los retos que enfrentan los sistemas de información geográfica es la heterogeneidad entre los datos geoespaciales y, por ende, la falta de interoperabilidad semántica (Zhang, 2019). Los significados de las palabras pueden cambiar según el contexto en el que se encuentren, generando problemas de sinonimia: varias palabras con un mismo concepto y problemas de ambigüedad: una palabra con más de un concepto (Zhang, 2019). Dentro de la administración de datos marítimos, fluviales y costeros en Colombia, la IDE-MFC obedece a estándares dispuestos por OGC y seguidos por las IDE en temas marinos como MSDI que garantizan las buenas prácticas en la gestión de la información geográfica en el cumplimiento de las actividades marítimas.

Con el gran volumen de datos geoespaciales marítimos y costeros administrados por Dimar a través de sus regionales y sede central en Bogotá, la IDE-MFC tiene la tarea de establecer técnicas de organización y búsqueda pensadas en la recuperación de los datos e información geográfica que garanticen la correcta interpretación a los demás usuarios y sectores interesados en estos datos e información. Para maximizar el uso de los datos marítimos y costeros de Colombia es necesario profundizar la semántica de éstos, así, aparece el concepto ontológico como la estrategia para la representación y recuperación de los datos a través de su significado y, por ende, su relación con las demás entidades espaciales (Calle Jiménez, 2015).

Con la publicación del CONPES 3990 del 2020, la IDE-MFC enfrenta el primer reto como institución al tener la responsabilidad de disponer los datos marítimos y costeros que se producen a través de sus unidades regionales garantizando su interoperabilidad y disponiendo su correcta recuperación en las búsquedas que se realicen. Son diferentes instituciones las que aúnan esfuerzos para generar datos marítimos y costeros en Colombia,

y son muchos más los usuarios de estos datos para la generación de investigación sobre este ecosistema a nivel regional.

Existe heterogeneidad de los datos marítimos y costeros en el país debido a las múltiples plataformas, tecnologías, propósitos y observaciones que diferentes instituciones manejan en su gestión de datos, por lo que la IDE-MFC bajo los estándares de ICDE debe promover su disposición y fácil recuperación para los usuarios.

Los dispositivos y tecnología de captura de datos geoespaciales marítimos y costeros implican variedad de disciplinas dentro del contexto geoespacial como física, biología, química y ciencias ambientales que aumentan la heterogeneidad de los datos y, por lo tanto, dificultan recuperar y compartir los datos en esta temática (Huang et al., 2019). Adicionalmente, el intercambio de datos entre instituciones presenta limitaciones debido a políticas internas que resisten al cambio y están obstaculizando las fuentes de información que favorezcan al aprendizaje e investigación sobre el sector marítimo y costero de Colombia.

La IDE-MFC no cuenta con una definición explícita de conceptos y términos en el área marítima, fluvial y costera a partir del cual se gestionen los datos geoespaciales en esta materia, para la fecha los usuarios que requieran acceder a datos producidos y/o gestionados por la Entidad no cuentan con una plataforma unificada para hacerlo. Sin una ontología no es posible la comunicación común y compartida del entendimiento de los datos, por lo tanto, los datos marinos y costeros necesitan un flujo metodológico para la construcción de una ontología que se ajuste a la IDE-MFC.

Actualmente, la plataforma de la IDE-MFC cuenta con el desarrollo de aplicaciones temáticas que permiten visualizar capas específicas de información, sin embargo, no ha incorporado la semántica de los datos geográficos dentro de sus procesos de intercambio en las plataformas usadas. Al no contemplar la semántica de los datos dentro de la IDE-MFC, se desaprovecha la riqueza del dato al ser intercambiado con las demás instituciones que hacen parte de este contexto marítimo y costero. Se vuelve necesario fortalecer la semántica de los datos para tener una interpretación completa y correcta por parte de los sistemas, y finalmente proporcionar al usuario datos acertados a su interés de consulta.

1.3. Estado del conocimiento

Una IDE reúne políticas, estándares y herramientas técnicas que permiten a los usuarios acceder a los datos y metadatos geoespaciales custodiados por las instituciones en distintos niveles temáticos. Mediante una IDE se dispone datos e información geográfica actual, homogénea, consistente y de uso en conjunto para en la toma de decisiones holísticas sobre los territorios, la IDE garantiza la interoperabilidad en el acceso y disposición de datos geográficos (Bernabé-Poveda & López-Vázquez, n.d.).

El desarrollo de IDEs se ha dado desde la década de 1990, está fuertemente ligado con la producción y agrupación de datos geoespaciales que se producen y el notable avance tecnológico en las ciencias de la tierra, su implementación ha proporcionado estándares y acceso controlado a datos e información geográfica en la web (Hu & Li, 2017). Con lo anterior, también se han generados IDEs temáticas, especializadas en un sector específico de datos geográficos, que para el caso interés de la investigación es el sector marítimo.

Según la investigación realizada por Vilches, (2011) para garantizar la interoperabilidad es necesario garantizar que la información de los sistemas sea sintáctica, estructural y semánticamente interoperable. La interoperabilidad semántica se considera la forma más útil de interoperabilidad debido a que se asegura de que el contenido de la información sea interpretado de igual forma por cualquier sistema, esta afirmación es respaldada en el mundo real por el hecho de que no se puede pensar en una interoperabilidad satisfactoria entre dos individuos que no tengan un entendimiento en común del idioma que manejan (Vilches, 2011).

Para dar paso a la interoperabilidad semántica aparece la construcción de ontologías como herramientas que armonizan la semántica de los conceptos en el dominio geográfico (Martinez, 2016). La ontología se define como “una especificación explícita y formal de una conceptualización compartida” (Gruber, 1993), favoreciendo la comunicación clara entre personas, organizaciones y sistemas.

Debido a la generación de sistemas satelitales de alta resolución y el incremento en el uso de los SIG, se ha aumentado el crecimiento de los datos geoespaciales, así mismo, aumenta el número de productores de los datos y de usuarios interesados en acceder a éstos, especialmente, a los datos de dominio marítimo donde un 20% de la población mundial está situada a menos de 25 kilómetros de la zona costera (Wright, 2010, p. 91).

Con el creciente interés en los datos geoespaciales en el dominio marítimo, se han sumado esfuerzos a la construcción de sitios web que conecten tanto a los productores como a los usuarios de los datos, sin embargo, se mantienen los cuestionamientos de cómo hacerlo correctamente (Wright, 2010, p. 93).

Wright, 2010, presenta 2 sitios web exitosos, que han mantenido dentro de su implementación la visión y los principios de una IDE, (1) *The Oregon Coastal Atlas* – OCA un portal pensado sobre las decisiones sobre los recursos en un nivel local, que aporta información precisa, utilizable y oportuna, y que conduzca a un mejor manejo de los recursos de la zona costera, (2) *Data Integration System for Marine Pollution and Water Quality* – DISMAR con un enfoque en la contaminación en las regiones costeras y oceánicas de Europa, facilita el acceso a cartografía web a través de servicios geográficos que cumplen con los protocolos OGC (Wright, 2010, p. 95,103).

En búsqueda del aprovechamiento de los sistemas de información para el eficaz aprendizaje, intercambio y gestión de los datos e información marina. Pan, et al., 2016, implementan un Sistema de Información Marina a través de servicios en nube, redes sociales, recopilación y análisis de datos, en busca de simplificar el uso y acceso a los datos marinos; contemplaron las búsquedas de los usuarios en la red para mantener su sistema actualizado y la eficiencia del aprendizaje sobre el mar. Dentro de su investigación, se encuentra con una viabilidad alta la implementación de una plataforma con conocimientos marinos, debido al impacto positivo en el uso de estos sistemas (Pan et al., 2016).

A pesar del éxito en el desarrollo de sitios web para la disposición de datos e información marítima, se presenta la falta de descripciones de datos que posibiliten la interpretación inequívoca por parte de los usuarios (Wright, 2010, p. 98). Por lo que, para evitar la redundancia de datos en distintos computadores y duplicar los esfuerzos en la captura de datos, Calle, T., 2012 integra un modelo de conocimiento ontológico en una IDE que permite mejorar los tiempos de respuesta en las consultas, la integración de datos geográficos y aumenta la efectividad de su semántica (Calle Jiménez, 2015).

Zhu, Q. y He, Z., 2011 desarrollan un sistema de clasificación conceptual de geo-información, en el proceso, identificaron el reto de generar la clasificación de conceptos geoespaciales debido a las diferentes comprensiones e interpretaciones que distintas normas y/o estándares contemplaban. Así, proponen el desarrollo de su sistema de clasificación a través de una ontología, la cual propone reglas comunes para una interpretación común dentro de la perspectiva humana (Zhu & He, 2011, p.2).

Con lo anterior, la investigación ontológica contempló tres componentes: conceptos, clasificación de conceptos y el álgebra de la ontología, estos componentes son clasificados como meta-propiedades que permiten identificar las propiedades rígidas, anti-rígidas, no rígidas y semi-rígidas dentro de la ontología; estas propiedades son útiles para la identificación de la dependencia entre los conceptos (Zhu & He, 2011, p.3).

Finalmente, la investigación ontológica de Zhu, Q y He, Z., 2011 permitió concluir con un sistema de clasificación optimizado, donde tanto los conceptos como sus relaciones pueden realizarse a través de su descripción semántica, permitiendo actualizar el sistema con mayor facilidad cuando se contemplan nuevas definiciones de los conceptos geoespaciales (Zhu & He, 2011, p.5).

La aplicación de ontologías en las IDE plantea la extensión de las capacidades de consulta ofrecidas por los catálogos que cumplen con los estándares OGC y así solucionar problemas de heterogeneidad semántica (Bernard et al., 2004, p.1). Dos problemas en la recuperación de datos e información se evidencian en la falta de interoperabilidad semántica dentro de una IDE: (1) la descripción de los conceptos contiene una terminología ligeramente diferente – sinónimos y (2) la cognición de los conceptos no son acertados con la consulta que se realiza – homónimos (Bernard et al., 2004, p.6).

Para lograr la interoperabilidad semántica dentro de una IDE, Bernard, L et al., 2004 plantearon una arquitectura que ofrece dos funcionalidades sobre los datos e información geográfica, (1) utilizar consultas de conceptos ya definidos y (2) proporcionar soporte de interpretación en la recuperación de las consultas, finalmente, resolver los problemas existentes de heterogeneidad semántica, permitiendo también, la consulta a los usuarios a partir de vocabulario familiar sin un paso anticipado sobre los metadatos (Bernard et al., 2004, p.8).

Dentro del dominio marítimo existen múltiples formatos para el almacenamiento de los datos dado los diferentes instrumentos y tecnologías que se tienen para su adquisición, por tal razón, Huang, D et al., 2012 plantean una ontología a partir del método de extracción, transformación y cargue – ETL – para la integración de datos marinos, la construcción de esta ontología describe los conceptos con mayor amplitud y sus relaciones, otorga una interfaz conceptual conectada con la fuente de los datos logrando que la semántica y relación de los datos sean claros y únicos. La ontología de dominio marino generada resolvió la heterogeneidad en la integración de los datos además de posibilitar el mapeo automático de los mismos (Huang et al., 2012).

Para la interoperabilidad de datos geoquímicos marinos se realizó un enfoque ontológico basado en los estándares de sus metadatos, dentro de su diseño se definen 3 clases: entidad, agente y actividad. Una entidad es definida como un objeto que tenga aspectos fijos, un agente es un módulo que tiene la responsabilidad de iniciar una actividad y una actividad es una función que se ejecuta sobre un periodo de tiempo. Las clases definidas en la ontología permiten reorganizar los datos según sus cualidades y establecer una jerarquía única y estándar, en consecuencia, se mejoró significativamente la integración de los datos y su clasificación (Wang et al., 2017).

El lenguaje emergente para definir e instanciar ontologías es *Ontology Web Language* – OWL está diseñado para representar conocimiento rico y complejo sobre los elementos y sus relaciones (W3C, 2013) OWL está basado en el lenguaje *Resource Description Framework*- RDF, un modelo estándar para el intercambio de datos en la web (W3C, 2014), su uso permite acceder a los datos estructurados y sus relaciones explícitas, sin embargo, no son eficientes por lo que se recomienda el uso del protocolo *GeoSPARQL* que admite la representación de datos geoespaciales en la web semántica (Zhang, 2019).

Los datos geoespaciales cada vez están más presentes en la web bajo el marco RDF, lo que ha redundado en que métodos como *Linked Open Data*² describan mejores prácticas en cuanto a la publicación y conexión de datos estructurados en la web. Como propuesta para resolver las relaciones implícitas en los datos como sus relaciones geoespaciales, *Linked Open Data* presenta el uso de *GeoSPARQL*, que aporta la oportunidad de consultar y filtrar

² Nube de datos virtual que permite acceder a los usuarios a datos que estén autorizados y agregar datos sin alterar su fuente original (W3C, 2010).

entre entidades geoespaciales, sin embargo, debido al detalle manejado por este protocolo, presenta dificultades al tener tiempos de respuesta altos para el usuario (Battle & Kolas, 2012).

El proyecto *Marine Metadata Interoperability* – MMI presenta una ontología de plataforma marinas a partir del vocabulario existente en la comunidad de ciencias del mar, el lenguaje seleccionado de codificación fue OWL y se integró con los términos del *Common Data Index* – CDI creado por la iniciativa europea *Sea Search Partners*. Como resultado se mejoró la recuperación de datos de la terminología CDI, proporcionó herramientas para la categorización consistente e interoperable de las plataformas de observación marina, incluyó la propiedad movilidad permitiendo la consulta para las plataformas móviles e incluyó la ayuda a los portales a descubrir datos marinos geoespaciales (Bermudez et al., 2006).

Dado el estado del conocimiento se establece la importancia de generar ontologías en busca de lograr la interoperabilidad semántica que garantiza la correcta interpretación de los datos. La ontología establece reglas comunes para que la interpretación de los datos no se pierda entre los sistemas o máquinas y finalmente el usuario pueda aprovecharlos. Sin embargo, es necesario la incorporación de las reglas ontológicas dentro de las arquitecturas de las IDE o SIG pensando en su crecimiento y actualización. La generación de ontologías geoespaciales es un proceso que puede tomar bastante tiempo y necesita del planteamiento de metodologías que garanticen la integración de los datos y su correcto crecimiento.

1.4. Preguntas de investigación

¿Cuál es el flujo metodológico para la creación de una ontología geoespacial para la IDE-MFC?

¿Qué conocimiento sobre los datos geoespaciales costeros puede aprovecharse para la construcción de una ontología sobre la IDE-MFC?

¿Cuáles son los estándares y plataformas tecnológicas con las que debe contar la IDE-MFC para la implementación de la ontología geoespacial?

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Generar una ontología de datos geoespaciales en el marco de la IDE Marítima, Fluvial y Costera de Colombia.

1.5.2. Específicos

- Describir la metodología para la construcción de una ontología de datos geoespaciales gestionados por la IDE-MFC.

- Integrar diferentes fuentes de conocimiento sobre los datos geospaciales marítimos, fluviales y costeros.
- Mostrar el potencial de los datos geospaciales marítimos, fluviales y costeros a través de la implementación de una ontología de dominio.

1.6. Justificación

La ICDE promueve el desarrollo y construcción de IDEs en el país, actualmente se encuentra trabajando con la IDE-MFC en el fortalecimiento de sus políticas y estándares como garante de su interoperabilidad. La IDE-MFC liderada por Dimar cuenta con la estructuración de los datos de grandes áreas de investigación marítima como el manejo integrado de zona costera y protección del medio marino, adicionalmente, se ha realizado trabajos de interoperabilidad con el área de hidrografía. Así mismo, se vienen adelantando labores sobre la captura y la migración de metadatos sobre la plataforma *GeoNetwork*³.

Dentro de la gestión de datos espaciales en materia marítima-costera, la IDE-MFC ha estructurado su base de datos geográfica para que los expertos en el manejo de software geográfico accedan a capas de información estratégicas dentro de sus labores de gestión y adicionalmente, editen las capas que tienen a cargo manteniendo un flujo de trabajo actualizado dentro de la Entidad.

Por otra parte, se encuentra aunando tareas de interoperabilidad con el Centro Colombiano de Datos Oceanográficos – CECOLDO, que es el repositorio de metadatos oceanográficos de la Dirección General Marítima. CECOLDO proporciona un portal que permite conocer los documentos caracterizados por ser artículos científicos, trabajos de grado y publicaciones seriadas o especiales en oceanografía; además, conjunto a los centros de investigación que posee Dimar, maneja los estándares para el almacenamiento de datos oceanográficos de salinidad y temperatura del agua dentro del marco *Ocean Data View – ODV*⁴ (Dimar, 2021a).

Dada la juventud de la IDE-MFC y los múltiples actores en la gestión de datos en esta temática, tiene la responsabilidad de garantizar la interoperabilidad semántica tanto con las áreas internas de Dimar como con las entidades externas que requieren de los datos geospaciales marítimos, fluviales y costeros para el desarrollo de sus actividades, es necesario el desarrollo de una ontología que permita la recuperación de datos con una interpretación clara y común dentro de su gestión.

Una ontología geoespacial de dominio marítimo es la herramienta que da paso a una recuperación completa y eficaz de los datos marítimos, fluviales y costeros, evitando duplicar esfuerzos y recursos para la captura de estos, adicionalmente, promover la

³ Aplicación de catálogo para administrar recursos espacialmente referenciados, proporciona una interfaz web para la consulta de datos geospaciales (Fundación Geoespacial de Código Abierto, 2020).

⁴ Software para la exploración, análisis y visualización de datos oceanográficos, series de tiempo, trayectorias y secuencias (ODV, 2020)

investigación sobre el territorio marítimo colombiano para los entes académicos interesados en este importante escenario.

1.7. Organización de la tesis

En el Capítulo 1, se aporta una contextualización sobre el desarrollo de Infraestructuras de Datos Espaciales – IDE desde su nivel global hasta niveles más detallados y de dominio marítimo. Adicionalmente, se abordan los tipos de ontologías, las metodologías para su construcción y la necesidad de su uso como herramienta para facilitar la interoperabilidad semántica.

En el Capítulo 2, se expone el estado de conocimiento sobre la construcción de ontologías geoespaciales sobre el dominio marítimo y se realiza una revisión bibliográfica en función de los objetivos planteados.

En el Capítulo 3, se describen los datos a usar de la Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera – IDE-MFC, se expone paso a paso la metodología empleada para la construcción de la ontología geoespacial de dominio marítimo y su implementación.

En el Capítulo 4, se presenta la construcción de la ontología geoespacial de dominio marítimo, los modelos conceptuales de los datos más relevantes de la IDE-MFC, la formalización del conocimiento a través de la ontología y su implementación.

En el Capítulo 5, se realiza la discusión de la construcción de la ontología geoespacial marítima y cómo afectó la gestión de datos geoespaciales de la IDE-MFC. Se compara con la construcción de ontologías geoespaciales en otras investigaciones.

En el Capítulo 6, se exponen las conclusiones de la investigación realizada y los resultados son analizados para el trabajo futuro producto de la construcción de la ontología sobre la IDE-MFC. Finalmente, se presentan las referencias expuestas a lo largo del trabajo.

2. Marco referencial

2.1. Marco teórico

Dentro de la investigación planteada son 4 conceptos importantes en los que se abordan los grandes tópicos desarrollados a lo largo del documento. La IDE siendo el escenario de desarrollo de la presente investigación y una temática definida a la que apunta ésta como lo son los datos geoespaciales marítimos. Por otra parte, se encuentra la interoperabilidad como palabra clave dentro de las responsabilidades de una IDE y por consiguiente las ontologías como herramientas que aportan y robustecen la semántica sobre los datos y sus componentes.

2.1.1. Infraestructura de Datos Espaciales- IDE

Antes de la era digital la difusión de datos geoespaciales se realizaba a partir de mapas diseñados por expertos que garantizaban la calidad del producto para la solución de problemas específicos, sin embargo, a partir de la segunda mitad del siglo XX los avances tecnológicos cambian los engorrosos procesos de la generación de mapas analógicos y un aumento considerable en la disponibilidad de datos geoespaciales digitales (Aalders & Moellering, 2008).

Con lo anterior, las IDEs se han visto impulsadas gracias al incremento en el desarrollo de tecnologías de la información y comunicación, adicionalmente, desde la década del 90 debido a la orden ejecutiva desde el mandato del presidente Clinton en Estados Unidos de generar una IDE de nivel nacional provocó la implementación de IDEs alrededor del mundo, logrando un número de 83 IDEs de nivel nacional para finales del 2005 (Budhathoki et al., 2008, p.149).

Budhathoki, et al., 2008 define una IDE como “el mecanismo basado en internet para la producción, descubrimiento y uso coordinado de la información geoespacial en el entorno digital” (Budhathoki et al., 2008, p.149), por lo que, las IDE como enfoque principal deben proporcionar el ambiente para la gestión y uso de los datos geoespaciales heterogéneos que aumentan considerablemente cada día (Zhang, 2019, p.46).

Los principales componentes de una IDE son: (1) Los servicios de información geográfica, que deben cumplir con los estándares y normas para que sean interpretados por las personas y plataformas de software geográfico (siguiendo los esfuerzos que aúnan OGC e ISO en la familia de normas 19100 en la disposición de estándares), (2) Los catálogos y metadatos, que detallan y personalizan los servicios disponibles en busca de garantizar la accesibilidad y la comprensión en la consulta de datos por parte de un usuario y (3) los datos geoespaciales que pueden ser de tipo vector o ráster y por consiguiente tener formatos heterogéneos (Bernard et al., 2004, p.4). Adicional a los componentes nombrados, una IDE también depende de los recursos y tecnología que disponen las instituciones y gobierno (Bernard et al., 2004, p.4).

2.1.2. Datos geoespaciales marítimos y costeros

Las áreas costeras y marinas de los países han sido objetivo de proyectos de investigación que buscan proteger este importante ecosistema en vista de los posibles impactos del cambio climático (Celliers et al., 2013). Como resultado, se han incrementado estudios que promueven el conocimiento sobre los procesos que se ejecutan en las zonas costeras y, por lo tanto, el impacto que tienen las actividades antropogénicas y las amenazas naturales para los seres humanos y ecosistema que lo habitan (Conti et al., 2018).

La comprensión de los datos marinos y costeros tendrá diferentes definiciones según el contexto en el que se estén nombrando, los científicos o expertos en ciencias del mar nombran las observaciones marinas como *in situ* u observaciones remotas, los modelos resultado que reflejan condiciones futuras son considerados como datos marinos y costeros, los tomadores de decisiones se refieren a los datos ambientales como conocimiento que se extrae de las observaciones (Giorgetti et al., 2018, p.10).

Giorgetti et al, 2018, exponen que todas las definiciones son correctas, las diferencias entre estas está dada por las políticas que se manejen y lleva a marcar muy bien la diferencia entre dato e información; dato como la medida observable, resultado del monitoreo o investigación y que puede ser numérico o nominal, e información como lo que lleva a entender el significado del dato que ya ha sido procesado e interpretado (Giorgetti et al., 2018, p.11).

Con el objetivo de tener una gestión holística sobre el territorio marítimo, fluvial y costero Stamoulis y Delevaux, 2015, definen 4 categorías en las que se enmarcan los datos en el dominio marítimo y costero: Administrativos, Ecológicos, Ambientales y de Uso humano (Stamoulis & Delevaux, 2015, p.215), en la Figura 2.1, se reflejan algunas actividades de este dominio.

- Administrativos: Los datos geoespaciales marítimos administrativos incluyen los límites jurisdiccionales y las disposiciones legislativas a nivel nación, definen el alcance de los derechos y control de una nación sobre el mar frente a su costa (Stamoulis & Delevaux, 2015, p.216).
- Ecológicos: En esta categoría se encuentran enmarcados los datos marinos geoespaciales de biodiversidad, distribución de especies y la información sobre el hábitat, estos datos son capturados principalmente por organizaciones científicas y las entidades gubernamentales (Stamoulis & Delevaux, 2015, p.216).
- Ambientales: Debido a la constante dinámica y complejidad del medio marino se obtienen los datos ambientales como todos aquellos parámetros físicos y químicos que caracterizan el comportamiento del mar (Stamoulis & Delevaux, 2015, p.216).
- Uso humano: Las actividades humanas en el medio marino como la pesca, acuicultura, transporte, exploración y explotación de hidrocarburos, actividades

recreativas, entre otras, producen una gran cantidad de datos geoespaciales marinos (Stamoulis & Delevaux, 2015, p.217).

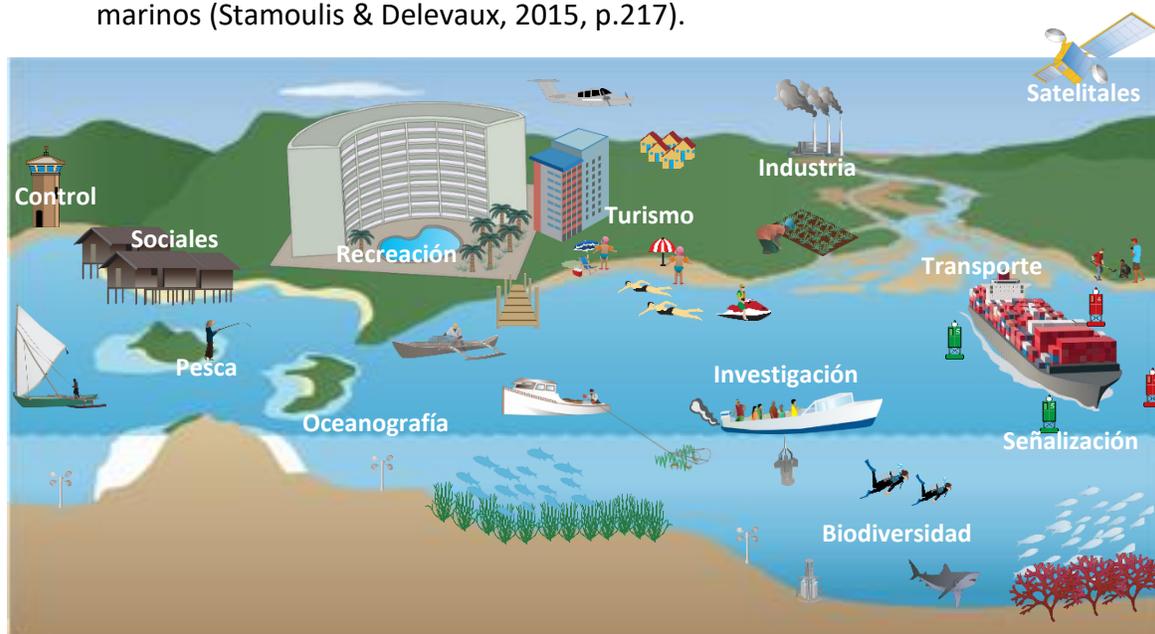


Figura 2.1. Actividades en el dominio marítimo. Elaboración propia. Símbolos de la librería IAN.

Por otro lado, con la participación de OGC y la IHO definen 9 grandes temas para los datos marinos (OGC & IHO, 2019, p.49):

- Hidrografía: donde se obtienen datos como batimetría, línea de costa, lecho marino, etc.
- Oceanografía: conformada por datos como temperatura, salinidad, corrientes, vientos, entre otros.
- Biología marina: donde se tienen los datos de fitoplancton y zooplancton, ecosistemas marinos y elementos tóxicos como alguno de los ejemplos.
- Ecología / Ambiente: en los que se estudia temas como la contaminación y la protección del medio marino.
- Gobernanza marítima: encargada de las áreas protegidas, los límites jurisdiccionales y rutas marítimas como algunos de sus destacados.
- Transporte: que gestiona los tipos de embarcaciones y la seguridad que deben tener.
- Infraestructura: donde se destaca la gestión de datos como puertos y el tendido de cables submarinos.
- Industria / Comercio: que trata los temas de pesca, exploración y explotación de hidrocarburos y acuicultura.
- Turismo y recreación: que gestiona los datos sitios arqueológicos, zonas de turismo, parques naturales, entre otros.

La clasificación realizada por el trabajo conjunto de OGC y IHO está fuertemente relacionada por los interesados en el uso de los datos geoespaciales marinos, algunos ejemplos de los usuarios destacados y que finalmente le dan valor a los datos son: Gobiernos, empresas de gas y petróleo, empresas de minería, empresas de cruceros y embarcaciones mayores, ingenieros, empresas de seguros, investigadores y la comunidad geoespacial como destacados (OGC & IHO, 2019, p.33).

2.1.3. Interoperabilidad

La interoperabilidad es uno de los enfoques principales de los SIG y dentro de la implementación de IDE, dado la gran cantidad de datos y su diversidad es importante garantizar que los datos sean comprendidos e interpretados por las personas y por el software geográfico que sea usado. En busca de cumplir la comunicación entre los sistemas de información, el Comité 211 de ISO, OGC y *World Wide Web Consortium* – W3C han dispuesto estándares y especificaciones que permitan solventar la existencia de múltiples formatos y por ende lograr interoperabilidad (Blázquez et al., 2006).

La interoperabilidad está definida por el *Institute of Electrical and Electronics Engineers* - IEEE como “la habilidad de dos o más sistemas o componentes de intercambiar información y utilizar la información que ha sido intercambiada” (IEEE, 1990). Por otro lado, ISO define interoperabilidad como la “capacidad para comunicarse, ejecutar programas, o transferir datos entre varias unidades funcionales de forma que se requiera del usuario poco o ningún conocimiento de las características únicas de esas unidades” (ISO, 2009c).

La interoperabilidad dentro de los datos geoespaciales ha sido una búsqueda importante para los desarrolladores de software, productores de datos y usuarios de los datos (Brodeur et al., 2003), OGC plantea que la interoperabilidad corresponde a los “componentes de software que operan recíprocamente para superar tediosas tareas de conversión por lotes, obstáculos de importación / exportación y barreras de acceso a recursos distribuidos impuestas por entornos de procesamiento heterogéneos y datos heterogéneos” (OGC, 2021).

La noción de interoperabilidad necesita ser entendida en un sentido más amplio, por lo que además de contemplar una base sintáctica común, se tiene en cuenta la percepción social e institucional en la difusión de la información para lograr la interoperabilidad entre persona y sistema; se establecen tres niveles de interoperabilidad: sintáctica, estructural y semántica (Vilches, 2011).

- Interoperabilidad sintáctica

Las dificultades para lograr la interoperabilidad sintáctica se generan a partir de la implementación de diferentes sistemas de información, esto dado al gran avance tecnológico y que los sistemas pueden implementarse en una gran variedad de plataformas incluso si la implementación del sistema apunta al mismo dominio de aplicación y a los

mismos usuarios objetivo se produce una gran heterogeneidad entre sistemas (Fileto, 2001, p.2).

- Interoperabilidad estructural

Dadas las limitaciones que se presentan en los modelos de datos en reflejar el mundo real se genera la necesidad de lograr la interoperabilidad estructural, en donde se plantea la captura de mucha más información de la que se encuentra capturada normalmente por los esquemas de datos, adicionalmente, enfrentar los retos de síntesis en las diferentes interpretaciones del mundo real y sus cambios a través del tiempo para el diseño estructural de las bases de datos (Vilches, 2011. p.59).

- Interoperabilidad semántica

En busca de garantizar que los significados de los datos e información que se intercambia sea interpretado de igual manera por dos sistemas distintos, es propio trabajar en la interoperabilidad semántica (Vilches, 2011, p.10). A pesar del esfuerzo en el acercamiento conceptual a través de la representación de los datos para modelar el mundo real por parte de los expertos, los lenguajes empleados no son suficientes para enriquecer la semántica de los mismos y proporcionar un mismo entendimiento por las partes involucradas (Vilches, 2011, p.10).

2.1.4. Ontologías geoespaciales

Las ciencias de la tierra como la geografía buscan la interpretación concreta del mundo real, por otro lado, la ontología es una disciplina abstracta enfocada en el significado de los conceptos sin considerar particularidades del mundo real, sin embargo, las dos contemplan la sistematización de la realidad, la primera con una estructura física y la segunda con una estructura conceptual (Vilches, 2011, p.40).

Debido a la relación entre estos dos conceptos, la necesidad de comprender el mundo real a través de los significados de las entidades que lo conforman y el auge de la implementación de ontologías en las áreas de procesamiento de información, surgen las ontologías geoespaciales (Vilches, 2011, p.41). La ontología geoespacial es una representación formal de fenómenos y sus interrelaciones con un vocabulario que incluye definiciones y axiomas que hacen explícito el significado pretendido; su representación está dada por clases, relaciones, propiedades, atributos y valores (ISO, 2012).

La ontología geoespacial provee una descripción de entidades geográficas que pueden ser conceptualizados por dos tipos de conceptos básicos, el primero está dado por los conceptos que apuntan a los fenómenos físicos de la realidad y la segunda apunta a los conceptos relacionados a las características del mundo que generamos para la representación de construcciones sociales e institucionales (Fonseca et al., 2009).

Más que definir conceptos una ontología geoespacial define las relaciones, los atributos, las reglas y los axiomas de los conceptos para robustecer y fortalecer el vocabulario y el conocimiento del área en la que se implemente la ontología (Vilches et al., 2008). Los conceptos geométricos y geoespaciales son independientes para el diseño de la ontología, debido a que las representaciones geométricas como polígono, línea y punto son necesarias para la implementación de la estructura de los datos, pero no contemplan la semántica del objeto al que se refiere del mundo real, ver Figura 2.2. (Klien & Probst, 2005).

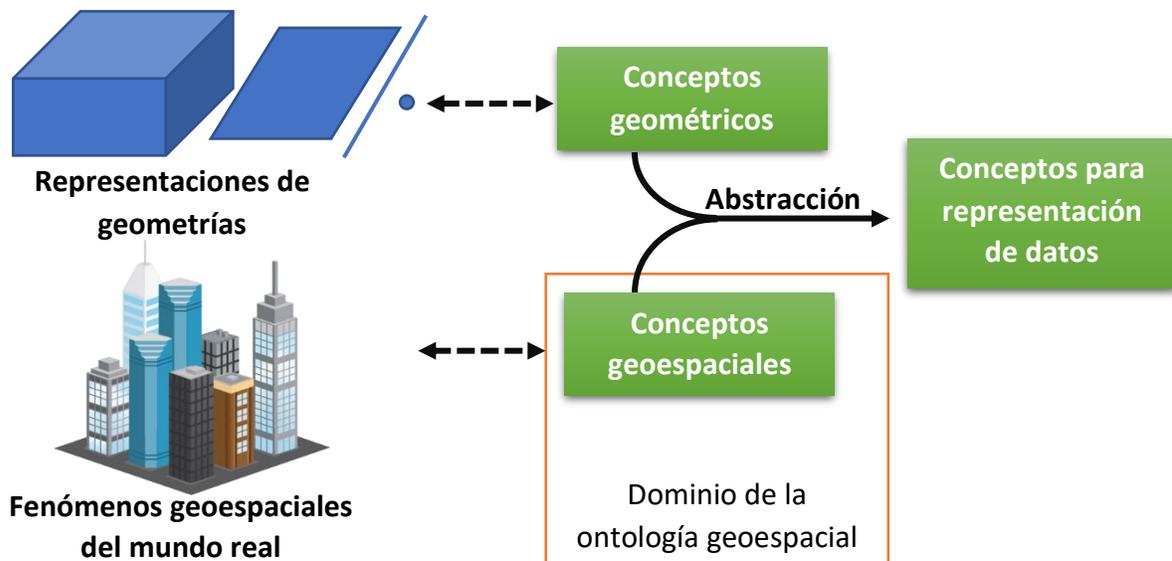


Figura 2.2. Independencia entre los tipos de conceptos dentro de la implementación de la ontología geoespacial. Basado en (Klien & Probst, 2005).

2.2. Estado del arte

En un panorama amplio de la gestión de datos geoespaciales se exponen mecanismos para aunar en los esfuerzos de interoperabilidad semántica a través de ontologías. Se describe en este ítem la construcción de ontologías de alto nivel para datos geoespaciales, su aplicación en IDEs como unidades fundamentales de integración de datos en sus distintos niveles de aplicación y por último, llegar al detalle de la implementación de ontologías de dominio sobre los datos geoespaciales en el escenario marítimo.

2.2.1. Construcción de ontologías geoespaciales

Desde el punto de vista de la comunicación humana, es posible notar que el mundo puede percibirse desde diferentes puntos de vista y es posible usar diferentes términos para referirse a algo en específico, en consecuencia, los significados de los elementos no quedan claros por la terminología usada, por lo que el entendimiento de la persona que ofrece la información es diferente al entendimiento de la persona que la recibe (Nowak et al., 2005).

La construcción de ontologías ha traído beneficios para adquirir y compartir la semántica de los elementos, contemplando un entendimiento común para usuarios y máquinas en un dominio específico (Klien & Probst, 2005). Las ventajas que traen las ontologías ha provocado su desarrollo en el dominio geoespacial, para el desarrollo de sofisticados SIG e implementación de IDEs (Vilches, 2011, p.44).

Por lo anterior, y con la intención de analizar, visualizar, modelar e integrar información geoespacial nace la ontología geoespacial *Semantic Web Technology Evaluation Ontology* – SWETO, que a través de un proceso en su mayoría automático, define clases y relaciones que capturan el conocimiento del mundo real (Budak et al., 2006, p.557). Dada la clasificación de ontologías descritas en la Tabla 1.1. de la [sección 1.1.3.](#), la construcción de la ontología SWETO no está enfocada en un dominio específico, por lo que se realiza una abstracción de conocimiento de alto nivel a partir de múltiples fuentes de información que generan una ontología de nivel general (Budak et al., 2006, p.557).

La selección de fuentes de información para la construcción de SWETO fue una tarea meticulosa, a través de sitios web públicos y abiertos, y bases de datos gubernamentales, no gubernamentales y escolares confiables, se obtuvieron las entidades en formatos HTML⁵ o XML⁶ acompañado de sus metadatos (Budak et al., 2006, p.557). La extracción de información se realiza a través de un proceso automático que mantiene la ontología actualizada (Budak et al., 2006, p.558).

Sun et al., 2019, proponen una ontología para integrar y compartir datos geoespaciales denominada *GeoDataOnt*, creada con un enfoque detallado y especializado en las características de los datos geoespaciales (Sun et al., 2019, p.272). El diseño general de *GeoDataOnt* contempló un marco lógico y un marco general dentro su diseño general, el marco lógico define las entidades geográficas que corresponde a los datos geoespaciales y sus posibles relaciones, la ecuación (1) define el diseño general (Sun et al., 2019, p.277).

$$GeoDataOnt = \left\{ \left(E, R_{(E_i, E_j)} \right) \mid E_i, E_j \in E, 0 \leq i \leq n, 0 \leq j \leq n \right\} \quad (1)$$

Dentro de la ecuación (1) planteada por Sue et al., 2019, *E* representa las entidades geográficas *n* relevantes dentro de las construcción ontológica, se clasifican en: clases, propiedades e instancias, y *R* las relaciones presentes entre estas entidades: simetría, transitividad y reversibilidad (Sun et al., 2019, p.277).

⁵ “El lenguaje de marcas de hipertexto, HTML o (*HyperText Markup Language*) se basa en el metalenguaje SGML (*Standard Generalized Markup Language*) y es el formato de los documentos de la *World Wide Web*. (Lamarca, 2018a)

⁶ “XML son las siglas del Lenguaje de Etiquetado Extensible. La expresión se forma a partir del acrónimo de la expresión inglesa *eXtensible Markup Language*. Se trata también de un lenguaje estándar que posee una *Recomendación del World Wide Web Consortium: Extensible Markup Languages* (XML) (<http://www.w3.org/TR/REC-xml/>). Con la palabra "Extensible" se alude a la no limitación en el número de etiquetas, ya que permite crear aquellas que sean necesarias.” (Lamarca, 2018b)

En la construcción de cada ontología fue necesario desarrollar un modelo conceptual, definir las jerarquías de las entidades geoespaciales, establecer las relaciones espaciales y delimitar las propiedades principales de los datos para generar todo un marco de conocimiento (Sun et al., 2019, p.279).

Gracias al diseño independiente de ontologías consideradas como sub-ontologías en la construcción de *GeoDataOnt*, es posible su reutilización para generar nuevas ontologías y facilita la actualización de la misma (Sun et al., 2019, p.286), sin embargo, su diseño se realiza manualmente y puede conllevar algunos errores, por lo que es necesario la implementación de estándares de calidad sobre la ontología (Sun et al., 2019, p.287).

2.2.2. Implementación de ontologías sobre IDEs

El desarrollo de las IDE está principalmente motivado por volver más eficientes los datos geoespaciales, dado que son múltiples los formatos que existen para este tipo de datos y desafortunadamente no se encuentran completamente documentados (Bernard et al., 2004, p.4). Por lo tanto, a partir de la implementación de estándares sobre plataformas geográficas, las IDE disponen de los datos e información bajo las políticas determinadas a nivel organizacional o gubernamental para que los usuarios puedan acceder e inclusive procesar datos geoespaciales (Bernard et al., 2004, p.4).

Con el desarrollo de IDEs se ha avanzado significativamente en la disposición e intercambio de datos geoespaciales en beneficio de la sociedad y la economía, sin embargo, el reto sigue siendo la integración, facilitar el descubrimiento y reutilización de los datos geoespaciales (Huang et al., 2019). El comité de ISO/TC 211 expone las reglas para la generación y mantenimiento de un esquema de diccionario de conceptos y relaciones de las características geográficas. A través de la generación de registros que identifican y describen las entidades relacionadas es posible respaldar el descubrimiento, acceso y uso de datos dentro de un contexto definido (ISO, 2009b).

Por otro lado, se propone la tecnología *Linked Data* dentro de la IDE europea INSPIRE como solución para los problemas de interoperabilidad a nivel técnico, organizacional y comunidad; su uso promueve los estándares semánticos dentro de una IDE para la disposición de datos geoespaciales en la Web (Ronzhin et al., 2019, p.4), el W3C expone que los estándares semánticos implican que cada atributo del dato está individualmente reconocible, recuperable y combinable (Hyland et al., 2014). Finalmente, Huang et al, 2019, afirman que el uso de *Linked Data* se convierte en un medio prometedor para la integración de datos y la heterogeneidad semántica, convirtiéndose en un factor clave para mover a las IDE a la próxima generación (Huang et al., 2019, p.16).

Una implementación ontológica a través de servicios web para facilitar la interoperabilidad dentro de una IDE se expuso mediante una arquitectura de 3 capas fundamentales: (1) Repositorio, donde se establece el nivel de conocimiento a través del almacenamiento e intercambio de ontologías, (2) Aplicación, donde se habilita el acceso al conocimiento

proporcionado por las ontologías y (3) Servicio, para que los usuarios puedan acceder a través de la web (Lacasta et al., 2007, p.9).

El uso de ontologías a potencializado el descubrimiento, recuperación, interpretación e integración de datos en una IDE, su implementación como solución para la heterogeneidad semántica se realiza en los niveles de metadatos, esquema y contenido de los datos (Lutz et al., 2009, p.739). Un enfoque de ontología híbrida aplicado sobre la IDE permitió usar diferentes enfoques ontológicos que no se independizan sino que responden a un dominio común, permitiendo finalmente al usuario comparabilidad en sus consultas (Lutz et al., 2009, p.741).

2.2.3. Ontologías de dominio marítimo y costero

Existen algunas brechas para la integración de los datos geoespaciales en el dominio marítimo y costero en su de flujo de trabajo, por consiguiente, se necesitan de metodologías y tecnologías para la gestión específica de los datos en las zonas costeras (Conti et al., 2018, p.136). Adicional al interés sobre nuevas tecnologías y metodologías para la gestión de datos marinos, también se piensa en estrategias que involucren el conocimiento en este dominio (Pan et al., 2016, p.1222).

El proyecto *Marine Metadata Interoperability – MMI* ha trabajado en la integración de vocabulario de dominio marítimo para la comunidad científica, en uno de sus talleres determinó que no existe una ontología completa para el vocabulario por lo que era necesario partir de palabras clave ya establecidas a través del *Global Change Master Directory – GCMD*⁷ y la ontología *Semantic Web for Earth and Environmental Terminology – SWEET* (Bermudez et al., 2006, p.2). SWEET nace como prototipo para mejorar el descubrimiento y uso de los datos que corresponden a las ciencias de la tierra a través de la comprensión semántica, contiene conceptos ortogonales como espacio, tiempo, cantidades físicas, entre otros, y conceptos de conocimiento científico integrador como fenómenos y eventos (Raskin & Pan, 2003).

Los esfuerzos por lograr la interoperabilidad semántica han llevado a la investigación sobre los metadatos, por su parte, el comité de ISO/TC 211 realizó algunos avances sobre la conversión de metadatos a ontología basados en el lenguaje OWL. ISO expone el propósito de OWL, enumera las herramientas sobre la Web Semántica y revisa el tema de razonamiento e interpretación (ISO, 2009a).

⁷ Global Change Master Directory – GCMD son un conjunto jerárquico de vocabularios controlados de Ciencias de la Tierra que ayudan a garantizar que los datos, servicios y variables de las ciencias de la tierra se describan de manera coherente y completa y permitan la búsqueda precisa de metadatos y la posterior recuperación de datos. servicios y variables (NASA, 2021).

Enriqueciendo el contenido descriptivo de los datos marinos se introduce una ontología sobre el modelo de metadatos S-100⁸ de la IHO debido a que presenta redundancias en sus niveles sintáctico y estructural (Park et al., 2013, p. 4). La aplicación de la ontología se realiza a través de la definición de conceptos, propiedades y relaciones entre las clases, fueron generalizados o especificados los significados de los elementos de los metadatos del modelo existente (Park et al., 2013, p. 6).

Se manifiesta un interés en la generación de ontologías sobre el dominio marítimo, la base que genera una ontología sobre los sistemas de información geográficos lleva a una mejor recuperación y entendimiento de los datos. Los sistemas de gestión de información marina no cuentan con un modelo semántico estándar, lo que provoca que los conceptos estén relativamente dispersos (Huang et al., 2019). Los datos marinos reflejan una complejidad en cuanto a su gestión, establecen un reto y disponen de mucho trabajo en la generación de ontologías marinas (Huang et al., 2019).

Al ser el dominio marítimo bastante amplio posibilita que muchas ciencias intervengan en él, así, nace el proyecto NETMAR⁹ que se especializa en la recuperación de resultados de proyectos ejecutados para abordar la interoperabilidad en los sistemas de información ambiental marina, con el objetivo de facilitar la disposición de estos datos a los usuarios interesados (Leadbetter et al., 2010, p.2).

La importancia del proyecto NETMAR para la comunidad científica llevó a la generación de una ontología sobre éste, por lo que se propone una ontología multidominio y multilingüe sobre los datos que solucionen los problemas de heterogeneidad semántica (Leadbetter et al., 2010, p. 3). El enfoque de NETMAR posibilita la reutilización y construcción de recursos semánticos que ya existen, posibilita conceptos y relaciones más genéricas que llevan a consultas y descubrimiento de recursos cruzados (Leadbetter et al., 2010, p. 6).

Con el propósito de lograr una comprensión común de muestras marinas se generó una ontología basada en estándares de metadatos geoquímicos, se definen 3 clases dentro de la ontología: entidad, agente y actividad que dan paso al intercambio de conocimientos marinos en diferentes bases de datos (Wang et al., 2017). Sobre los datos ambientales marinos de una región polar se establece una ontología que otorga significados claros de los términos considerados relevantes, se realiza a partir de la formalización de los

⁸ El Estándar S-100 es un documento marco que está destinado al desarrollo de productos y servicios digitales para comunidades hidrográficas, marítimas y SIG. Consta de múltiples partes que se basan en los estándares geoespaciales desarrollados por ISO, Comité Técnico 211 (ISO / TC211) (IHO, 2021).

⁹ El proyecto de NETMAR nace para buscar, descargar e integrar datos satelitales, in situ y de modelos de áreas oceánicas y costeras. Es un sistema configurable por el usuario que ofrece instalaciones flexibles de descubrimiento, acceso y encadenamiento de servicios utilizando los estándares OGC, OPeNDAP y W3C (NETMAR, 2021).

conceptos, atributos numéricos y la definición de las relaciones espaciales dentro de este contexto (Huang et al., 2019).

2.3. Discusión

Dados los diferentes escenarios se analizan las necesidades y la posibilidad de caminos para definir la construcción de la ontología geoespacial además de su posterior implementación. Se describen las actividades básicas para la construcción ontológica, la metodología usada por algunos autores en el desarrollo de su investigación y finalmente los lenguajes de programación y la plataforma de software para el diseño de ontologías.

2.3.1. Análisis de requerimientos

Dentro de la gestión de los datos marinos se derivan distintas disciplinas que soportan la base para la planificación y administración del territorio, por lo que podemos hablar de datos marítimos. Las implementaciones ontológicas llevan a interpretar las formas cómo se gestionan los datos manifiestos en los territorios y la necesidad de tomar decisiones de peso sobre estos espacios (Peters, 2020).

Dado que las interpretaciones sobre los datos geoespaciales pueden variar según la perspectiva del receptor, es necesario realizar un análisis detallado de los problemas semánticos que pueden presentarse en el intercambio e integración de los mismos (Sun et al., 2019). Estos problemas semánticos dentro de los datos geoespaciales está dada por sus diferentes representaciones, significados, interpretaciones y/o uso desigual causado por los entendimientos respectivos en cada contexto (Vilches, 2011, p. 17).

Con la identificación de la heterogeneidad semántica de los datos geoespaciales, y por ende, las características propias que los definen, es posible establecer los términos relevantes que abarcará la ontología y en consecuencia, los niveles y/o módulos que contendrá su construcción (Sun et al., 2019, p.277). Es valioso y meticuloso la selección de fuentes de conocimiento que definen los elementos contenidos en la ontología, con definiciones con un nivel apropiado de expresividad (Klien & Probst, 2005) (Budak et al., 2006), se disponen plataformas que disponen vocabulario de las ciencias marinas para la comunidad científica, ver Tabla 2.1. (Bermudez et al., 2006, p. 4).

La capa inicial que proporciona el establecimiento de los términos relevantes dentro del dominio de aplicación es la base para la generación de la ontología. Posterior a este paso se realiza la construcción ontológica, en esta segunda capa es necesario establecer los modelos conceptuales que enriquecen semánticamente las entidades, definir los atributos numéricos, jerarquías, propiedades y las relaciones espaciales y semánticas existentes en los datos geoespaciales (Sun et al., 2019) (Huang et al., 2019).

La ontología no sólo define las entidades propias del contexto en que se implemente, también tiene la capacidad de razonar sobre los conceptos y las relaciones entre éstos, la vinculación de la misma con otras ontologías da paso a un aumento en el conocimiento

representado, más aún, cuando se amplía la ontología a diferentes lenguajes (Leadbetter et al., 2010). Finalmente, a través de lenguajes para representación de ontologías se llega a la tercera capa que corresponde a la implementación que en la sección 2.3.3. se expondrá con detalle.

Tabla 2.1. Vocabularios en el contexto de ciencias del mar. Basado en (Bermudez et al., 2006, p. 4).

Vocabulario	Fuente	Disponibilidad en formato de ontología
Common Data Index Terms – Sea Search Partners	https://www.seadatanet.org/Metadata/CDI-Common-Data-Index	Si
GCMD Instrument Keywords	https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/find-data/idn/gcmd-keywords	Si
Alliance for Coastal Technologies Platform Types	https://www.act-us.info/	No
SWEET Sensor Ontology	https://wiki.earthdata.nasa.gov/download/attachments/50792120/SWEET_SPG.ppt?version=1&modificationDate=1435254939370&api=v2	Si

2.3.2. Diseño de la ontología geoespacial

Dentro del diseño de las ontologías geoespaciales se evidencia su construcción a través de procesos manuales y automáticos, la ontología SWETO por su parte, contempla un proceso automático en su construcción, sin embargo, este puede traer problemas de ambigüedades, es necesario a través de procesos de software y trabajo humano realizar la búsqueda de coincidencias sintácticas y similitudes entre las relaciones de las entidades para eliminar algunas de las ambigüedades que aparezcan; para evitar que se eliminen, la investigación a futuro de SWETO busca llegar a encontrar las similitudes semánticas en el proceso de búsqueda de ambigüedades (Budak et al., 2006, p. 558).

Budak et al., 2006, realizan la construcción de SWETO como modelo para el diseño, desarrollo, almacenamiento, mantenimiento, visualización y consulta de ontologías geoespaciales, dentro de su marco lógico considera múltiples ontologías espaciales y temporales que nutren y mantienen actualizada su base del conocimiento (Budak et al., 2006, p. 561).

Sue et al., 2019, realizan la extracción de conceptos de alto nivel de las características generales de los datos geoespaciales manualmente bajo una estrategia modular, que

clasifican en 3 módulos que componen toda la ontología: características esenciales, características morfológicas y características de procedencia, con esta selección de conceptos es posible llevar la aplicación de la ontología en los niveles general, dominio y aplicación dentro de su marco general (Sun et al., 2019, p. 277).

Para estos 3 grandes módulos de *GeoDataOnt* se generan 3 construcciones independientes de ontología de datos geoespaciales, uno por cada módulo (Sun et al., 2019, p. 279-281). El módulo de características esenciales permite proporcionar la identidad de los datos, por lo que fue necesario generar 3 ontologías independientes una espacial, una temporal y una temática (Sun et al., 2019, p. 279). El segundo módulo, correspondiente a las características morfológicas, se especializa en la estructura de los datos (Sun et al., 2019, p. 282) y finalmente, el módulo de procedencia refleja el cómo se han obtenido los datos geoespaciales (Sun et al., 2019, p. 283).

Por otro lado, bajo un proceso automático se genera una ontología para *Building Information Modeling* – BIM a través de la formalización de documentos XSD¹⁰ que son manipulados y transformados en un modelo OWL que es semánticamente rico (Usmani et al., 2020). El uso de documentos XSD ofrece la oportunidad de entregar resultados adaptativos, identificación de patrones y la posibilidad de la generación automática del documento OWL (Usmani et al., 2020).

2.3.3. Implementación de la ontología geoespacial

En la fase de implementación se lleva el marco de conocimiento generado a una forma ontológica basada en lenguajes de programación y editores de desarrollo propios de las ontologías (Budak et al., 2006). Dentro de los estándares de la Web Semántica se encuentra el lenguaje OWL basado en la lógica computacional y por ende, puede ser explotado por programas de computadora (W3C, 2013). OWL es el lenguaje protagonista para el desarrollo de ontologías, es el encargado de agregar la semántica sobre el esquema de datos (Bermudez et al., 2006) (Park et al., 2013) (Huang et al., 2019) (Colucci & Spanò, 2020) (Usmani et al., 2020).

Ahora bien, el W3C recomienda el uso de la familia de lenguajes RDF para representar ontologías (Leadbetter et al., 2010), RDF extiende la estructura para el enlace de los datos en la Web, permite mezclar, exponer y compartir datos estructurados y semiestructurados en diferentes aplicaciones (W3C, 2014). Debido a que algunas plataformas se encuentran desarrollando y madurando las tecnologías para soportar la Web Semántica, la implementación de OWL cuenta con escaso soporte en su implementación, no obstante, el

¹⁰ Un esquema XSD define la estructura de un documento XML, es decir, qué elementos, qué tipos de datos, qué atributos, en qué orden, cuántas veces se repiten, etc. Proporcionan el mecanismo para comprobar la validez del documento XML (Morales, 2014).

uso de librerías como *RDFLib* basado en *Python* solventan tales limitaciones (Usmani et al., 2020).

Dentro de la implementación ontológica descrita por Leadbetter et al., 2010, recomienda el *Simple Protocol and RDF Query Language – SPARQL* como el lenguaje de consulta dentro de la ontología debido a la naturaleza abierta de su soporte y su alto nivel de extensibilidad (Leadbetter et al., 2010). Adicionalmente, se propone el *Geographic Simple Protocol and RDF Query Language – GeoSPARQL* para la consulta de datos geoespaciales, aunque el costo del tiempo de las consultas puede ser alto debido al detalle de los modelos de datos (Zhang, 2019).

Dentro de las herramientas para editar ontologías se destaca Protégé como una plataforma gratuita de código abierto que proporciona las herramientas para construir modelos de dominio y aplicaciones basadas en ontologías (Stanford University, 2020).

2.4. Síntesis

La interoperabilidad semántica que se manifiesta en los SIG e IDEs está dada por las diferentes perspectivas e interpretaciones que se tienen del mundo real. Como herramienta para lograr este tipo de interoperabilidad surgen las ontologías geoespaciales que a través de sus componentes enriquecen las definiciones de las entidades que componen el contexto al proporcionar un entendimiento común en un dominio definido.

La identificación de las necesidades dentro del campo de conocimiento establece el nivel de la ontología, es importante la selección de términos relevantes que darán los niveles y/o módulos que serán la base de la construcción ontológica, a partir de esto, definir los conceptos, atributos y las relaciones presentes dentro del dominio definido. Adicionalmente, son diversas fuentes las que aúnan esfuerzos en el establecimiento común de vocabulario en áreas definidas de conocimiento y soportan el trabajo colaborativo dentro de la comunidad científica.

El diseño de la ontología puede ser un proceso manual que, aunque engorroso y largo trae un mayor detalle dentro del alcance de la ontología, o ser un proceso automático que permitirá una fácil actualización y extensión de la ontología, sin embargo, se necesita el planteamiento de metodologías que busquen evitar ambigüedades semánticas que no se reconocen automáticamente por el software.

El lenguaje de programación para el diseño de ontologías frecuentemente usado en las investigaciones es OWL, que proporciona la interfaz para enriquecer semánticamente las entidades, por otro lado, para el establecimiento de la estructura se recomienda la familia de lenguajes RDF. Finalmente, se expone como editor de ontologías el software *Protégé* para generar la aplicación ontológica.

3. Materiales y métodos

3.1. Caso de estudio

3.1.1. Área de estudio

El área de estudio está enmarcada en el contexto marítimo colombiano. Colombia tiene un territorio marítimo que equivale al 44,85% del territorio colombiano, está representado por 589.560 km² en el mar Caribe y 339.100 km² en el océano Pacífico, cuenta con una línea de costa de 4.171 km que corresponden a 2.582 km en el Caribe y 1.589 km en el Pacífico, ver Figura 3.1. (Departamento Nacional de Planeación, 2020).

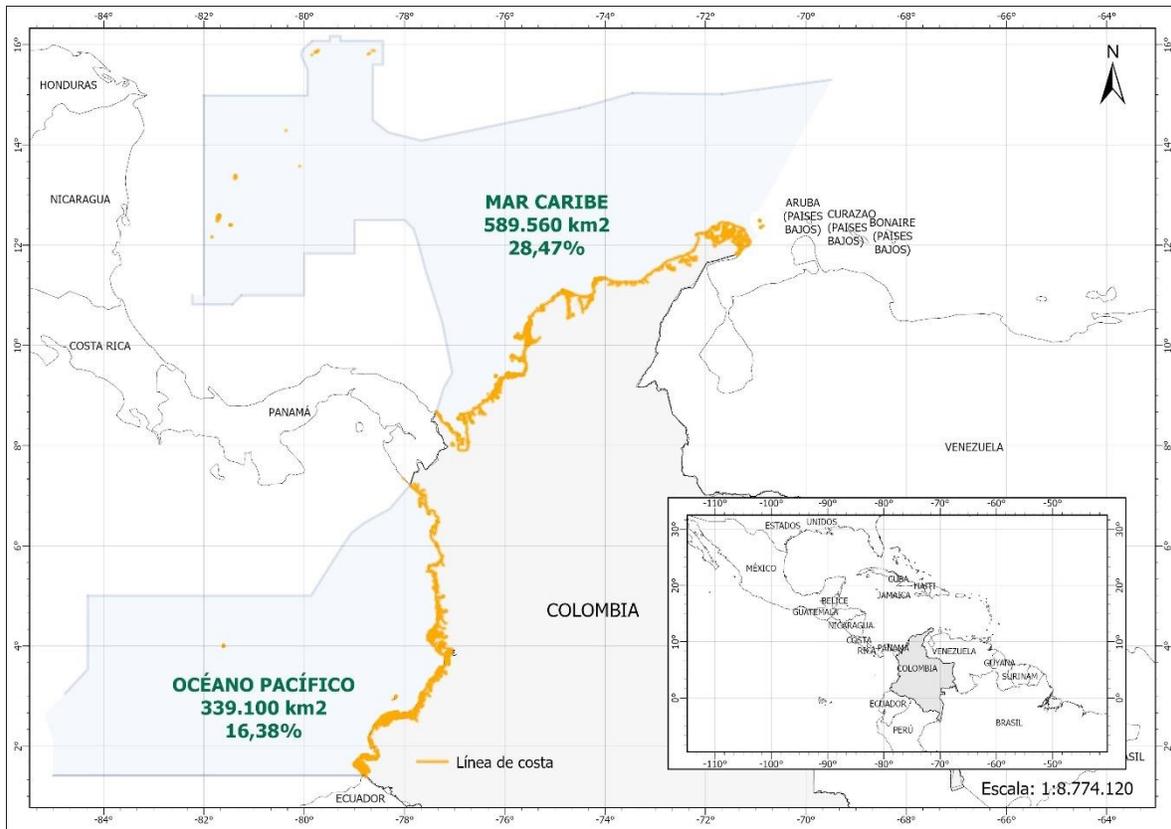
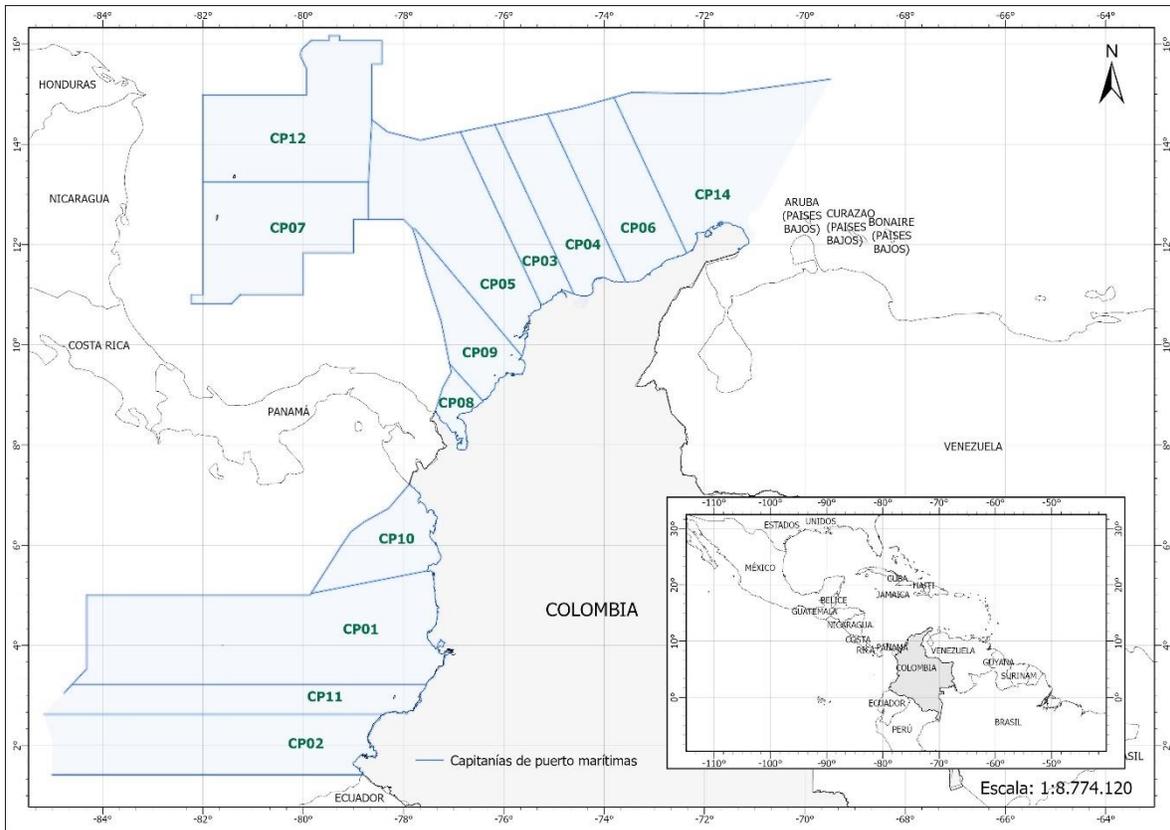


Figura 3.1. Jurisdicción marítima de Colombia. Elaboración propia. Software usado ArcGIS Pro versión 2.7.

Dimar cuenta con 13 capitanías de puerto marítimas que se encargan de ejercer la autoridad marítima en las áreas designadas ver Figura 3.2., estas dependencias regionales velan por el cumplimiento de las leyes en el desarrollo de las actividades marítimas y portuarias del país (Dimar, 2021b). Adicionalmente, desde la sede central de Dimar ubicada en Bogotá, se expiden conceptos técnicos y disposiciones generales para la gestión de los datos e información concerniente a las capitanías de puerto.

La privilegiada ubicación geográfica de Colombia le permite tener acceso a dos océanos, formando parte de la frontera sur de la cuenca del Gran Caribe y de la zona definida como “Región del Pacífico Oriental Tropical”, en consecuencia, se evidencian comportamientos muy distintos entre las costas del Caribe y Pacífico, un ejemplo de esto, es que se pueden tener periodos de lluvia en el Caribe entre 500 y 4.000 mm al año, e inclusive en la zona de la Guajira menores a 500mm, mientras que en el Pacífico puede llegar a valores superiores de 14.000 mm al año (Avella et al., 2010).



CP: Capitanía de puerto	CP05: Cartagena	CP10: Bahía Solano
CP01: Buenaventura	CP06: Riohacha	CP11: Guapi
CP02: Tumaco	CP07: San Andrés	CP12: Providencia
CP03: Barranquilla	CP08: Turbo	CP14: Puerto Bolívar
CP04: Santa Marta	CP09: Coveñas	

Figura 3.2. Capitanías de puerto marítimas. Elaboración propia. Software usado ArcGIS Pro versión 2.7.

La zona costera del Caribe en su mayoría es una zona arenosa dada su llanura aluvial, con algunas zonas rocosas como la Sierra Nevada de Santa Marta considerada la montaña litoral más alta del mundo con 5.772 m y la isla de Providencia y Santa Catalina como una isla volcánica, en contraste, la zona costera del Pacífico está modelada por la presencia de tsunamis y marejadas que le permiten una diversidad geográfica mayor como playas, zonas

de estuarios y acantilados, diques naturales, terrazas, valles de cauces, entre otros (Avella et al., 2010).

Colombia se encuentra dividida en 32 departamentos, de estos 12 son costeros, siendo 9 departamentos los que limitan con la costa Caribe y 4 departamentos los que limitan con la costa Pacífico, siendo Chocó el departamento con costa tanto en el Caribe como en el Pacífico. De estos departamentos son 47 municipios costeros, 31 en el Caribe y 16 en el Pacífico (DANE, 2021).

3.1.2. Datos y software usados

Para la construcción de la ontología en la IDE-MFC se seleccionó los datos geoespaciales gestionados por la IDE-MFC y que son dispuestos a través de su portal geográfico en la web (<https://idemaritima.dimar.mil.co/>), los datos se enmarcan en los temas de Litorales y Áreas Marinas, Señalización Marítima y Servicio Hidrográfico, en donde se exponen diferentes actividades costeras como: Zonificación y caracterización de playas, ayudas a la navegación y la cartografía náutica.

Los datos geoespaciales son almacenados y consultados a través de una base de datos geográfica bajo el motor SQL Server y son editados y difundidos a través del software ArcGIS¹¹.

Tabla 3.1. Descripción de datos geoespaciales.

Litorales y Áreas Marinas		
Nombre	Zonificación de playas	
Geometría	Polígono	
Descripción	Comprende las áreas con la zonificación de acuerdo con los espacios para la utilización adecuada de las playas, sus áreas de recreación y tráfico de embarcaciones en las áreas marítimas.	
Atributos		
Nombre	Tipo de dato	Descripción
Acceso	Texto	Forma de acceso a la playa.
Capitanía	Texto	Nombre de capitanía a la que pertenece la playa.
Codigo_playa	Texto	Código asignada a la playa.
Litoral	Texto	Litoral al que pertenece la playa.
Codigo_Municipio	Texto	Código DANE del municipio al que pertenece la playa
Nombre_Playa	Texto	Nombre de la playa.
Observaciones	Texto	Observaciones generales de la playa.

¹¹ Conjunto de productos de software de la casa matriz *Environmental Systems Research Institute* - Esri que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica (Esri, 2021).

Ordenamiento	Texto	Tipo de zonificación identificado para la playa.
Uso	Texto	Uso general de la playa.
Nombre	Caracterización de playas	
Geometría	Punto	
Descripción	Ubicación de la playa sobre el litoral marítimo.	
Atributos		
Nombre	Tipo de datos	Descripción
Codigo_playa	Texto	Código asignado a la playa
Nombre_Playa	Texto	Nombre de la playa.
Capitania	Texto	Nombre de capitania a la que pertenece la playa.
Señalización Marítima		
Nombre	Ayuda a la navegación	
Geometría	Punto	
Descripción	Se entiende por ayudas a la navegación (AToN), cualquier dispositivo o sistema externo a un buque, que se 52 proporciona para orientar a un navegante a determinar su posición y rumbo, con el fin de advertir sobre peligros u obstrucciones, o de aconsejar una ruta mejor o preferente	
Atributos		
Nombre	Tipo de datos	Descripción
Capitania	Texto	Nombre de la capitania a la que pertenece la ayuda.
Categoria	Texto	Categoría de la ayuda.
Descripcion	Texto	Descripción de novedades u observaciones.
Disponibilidad	Decimal	Disponibilidad de la ayuda.
Estado	Texto	Estado de la ayuda.
Fecha_Est	Fecha	Fecha estimada de reposición.
Fecha_Est_Repa	Fecha	Fecha estimada de reparación.
Fecha_Ins_Cons_Repo	Fecha	Fecha de instalación / Construcción o Reposición.
Fecha_Novedad	Fecha	Fecha de la novedad.
Horas_FS	Entero	Horas fuera de servicio.
Horas_Totales	Entero	Horas totales.
No	Entero	Número de la ayuda.
Nombre	Texto	Nombre de ayuda.
Observaciones	Texto	Observaciones.
Resolucion	Texto	Resolución del canal.
Senalizacion	Texto	Señalización Marítima a la que pertenece.
Nombre	Canales de navegación	
Geometría	Polígono	

Descripción	Los canales son rutas claramente definidas por ayudas a la navegación, dentro de las cuales se establece el tráfico marítimo.	
Atributos		
Nombre	Tipo de datos	Descripción
Capitania	Texto	Nombre de la capitania.
Categoria	Texto	Categoría del canal de navegación.
Nombre	Texto	Nombre del canal de navegación.
Tipo	Entero	Clasificación del canal de navegación.
Resolucion	Texto	No. Resolución que definió el canal.
Senalizacion	Texto	Señalización Marítima al que pertenece.
Nombre	Zona de fondeo	
Geometría	Poligono	
Descripción	Las zonas de fondeo son áreas con suficiente profundidad y con las condiciones para que un barco pueda anclar con seguridad. La aplicación ofrece información de polígonos y resolución de autorización.	
Atributos		
Nombre	Tipo de datos	Descripción
Capitania	Texto	Nombre de la capitania.
Estado	Texto	Estado de la zona de fondeo.
Observación	Texto	Observación.
Resolucion	Texto	Resolución de la zona de fondeo.
Nombre	Punto de embarque	
Geometría	Punto	
Descripción	El punto de embarque es el lugar de embarque de pilotos y posición de buques prácticos, esta aplicación le permite consultar la ubicación geográfica de buque de prácticos con nombre de la zona o del puerto y resolución de autorización	
Atributos		
Nombre	Tipo de datos	Descripción
Capitania	Texto	Nombre de la capitania.
Resolucion	Texto	Resolución del punto de embarque.
Servicio Hidrográfico		
Nombre	Esquema cartografía náutica	
Geometría	Polígono	
Descripción	Cubrimiento de la cartografía náutica como una herramienta de obligatoria observación para los navegantes, a partir de la cual se propende a minimizar los accidentes en el mar, que puedan ocasionar contaminación.	
Atributos		
Nombre	Tipo de datos	Descripción

Nombre_carta	Texto	Nombre de la carta náutica.
Numero_carta	Texto	Número de la carta náutica.
Escala	Texto	Escala de elaboración de la carta náutica.
Proposito	Texto	Propósito de la carta náutica.



Figura 3.3. Litorales y Áreas Marinas – Visor de playa, Portal Geográfica de la Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera de Colombia.



Figura 3.4. Señalización Marítima – Visor de ayudas a la navegación, Portal Geográfica de la Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera de Colombia.

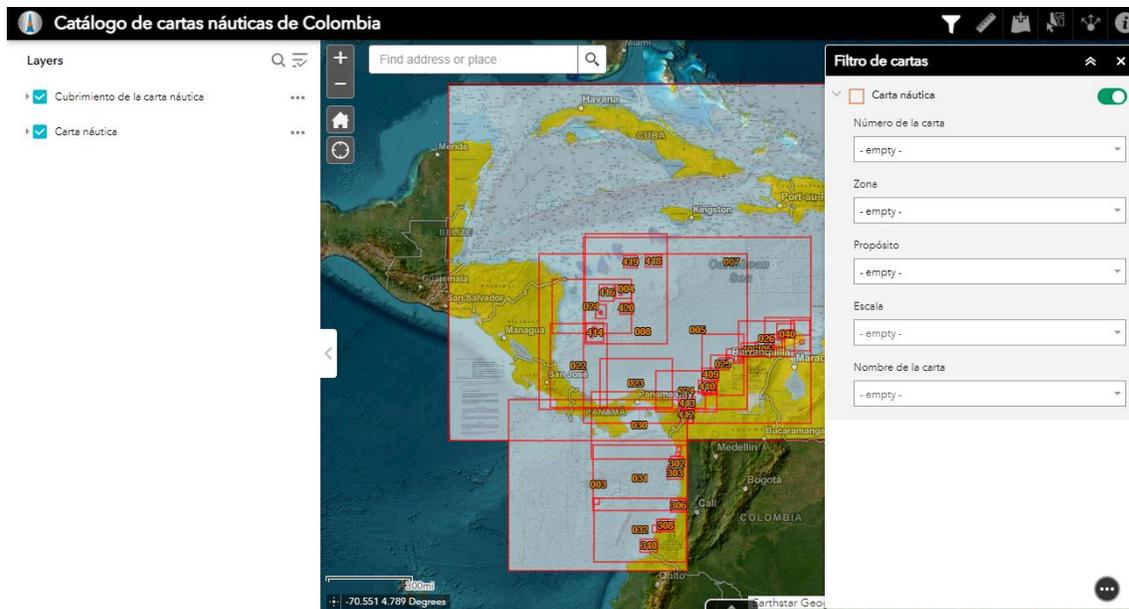


Figura 3.5. Servicio Hidrográfico – Visor de cartografía náutica. Portal Geográfica de la Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera de Colombia.

Para la construcción de la ontología se empleó el software *Protégé*¹² y el lenguaje OWL. La transformación de los datos en formato RDF para su integración con la ontología se realizó a través de la herramienta libre Open Data Refine¹³. Y la implementación de la ontología se comprobó a través del punto de consulta SPARQL Endpoint bajo la disposición del servicio Parliament¹⁴.

3.2. Metodología para el desarrollo de una ontología de dominio.

3.2.1. Análisis de alto nivel de las características que particularizan el dominio.

La IDE-MFC es responsable de la información sobre límites y fronteras internacionales, amenazas naturales, línea de costa, batimetrías, cartografía marina, transporte fluvial y marítimo y concesiones marítimas (Dimar, 2021c). Para establecer la metodología de su desarrollo, se identificaron algunas características importantes en el contexto marítimo:

1. Extensión: Colombia cuenta con una amplia extensión marítima y fluvial, que se extiende por más de 6.000 kilómetros de costa en el Océano Pacífico y en el Mar Caribe, además de contar con importantes ríos como el Magdalena y el Cauca (Lastra & Vergara, 2019).
2. Biodiversidad: La riqueza biológica del dominio marítimo, fluvial y costero es enorme, albergando una gran variedad de ecosistemas y especies, algunas de ellas

¹² Plataforma de software que proporciona un conjunto de herramientas para construir modelos de dominio y aplicaciones basadas en el conocimiento con ontologías (Stanford University, 2020).

¹³ Herramienta para trabajo con datos desordenados, permitiendo su transformación a distintos formatos (OpenRefine, 2023)

¹⁴ Solución de gestión de datos (Battle & Kolas, 2012)

únicas en el mundo (Rangel-Ch, 2015). Por ejemplo, el Parque Nacional Natural Tayrona, ubicado en la costa caribeña de Colombia, es uno de los lugares más biodiversos del planeta (Díaz & Acero, 2003).

3. Recursos Naturales: Colombia cuenta con importantes recursos naturales en su dominio marítimo, fluvial y costero, como petróleo, gas natural, carbón, oro, níquel y otros minerales (Pastrana et al., 2020, p. 199). Se destacan también los importantes recursos pesqueros y acuícolas, así como la creciente industria turística.
4. Comercio: El comercio marítimo es vital para la economía colombiana, ya que gran parte del comercio internacional del país se realiza por vía marítima. El Puerto de Buenaventura, en la costa pacífica, es el puerto más importante de Colombia y uno de los más importantes de América Latina (Montaño Hurtado & Nieto Gómez, 2018).
5. Cultura: La cultura y la historia de Colombia están íntimamente ligadas al dominio marítimo, fluvial y costero. La costa caribeña del país, por ejemplo, es el hogar de una gran variedad de culturas afrodescendientes, como los palenqueros, los raizales y los garífunas, cuyas tradiciones y costumbres son únicas y valiosas (Robinson & Botero, 2010).

3.2.2. Procesos relevantes en el desarrollo de ontologías.

Para la selección de procesos relevantes, se estudiaron las metodologías de algunas ontologías, su comparación se registra en la Tabla 3.1.:

1. Methontology: Esta metodología se enfoca en el desarrollo de ontologías que sean reutilizables, extensibles y fáciles de mantener. Propone una serie de pasos para la construcción de ontologías, incluyendo la definición de los requisitos, la identificación de los conceptos y sus relaciones, y la implementación de la ontología (Fernández et al., 1997).
2. On-To-Knowledge: Esta metodología se enfoca en la integración de conocimientos y datos de diferentes fuentes y en la automatización de procesos de razonamiento, contempla el análisis de requerimientos, diseño conceptual, formalización de la ontología, implementación de la ontología, evaluación y mantenimiento de la ontología (Sure et al., 2004).
3. Ontology Development 101 (OD101): Es una metodología de ingeniería del conocimiento que proporciona una guía paso a paso para la construcción de ontologías. Se centra en la identificación de los conceptos importantes en un dominio, la definición de las clases y jerarquías, la especificación de las propiedades y restricciones, la creación de instancias y la evaluación de la ontología (Noy & McGuinness, 2005).
4. Terminae: Esta metodología se enfoca en la creación de ontologías de términos y vocabularios controlados, sus principales etapas son la identificación del dominio, definición de la estructura, selección y diseño de los términos, implementación, evaluación y mantenimiento (Aussenac-Gilles et al., 2008).

Algunas ontologías implementadas en el contexto marítimo costero fueron:

1. Ontología de recursos marinos y costeros: Proyecto MARISMA (Marine and Maritime Integrated Services and Applications) de la Unión Europea. (<https://marisma2020.eu/ontology/>)
2. Ontología de navegación y tráfico marítimo: Proyecto SAMOS, en el portal de datos abiertos del gobierno de los Países Bajos. (<https://data.overheid.nl/dataset/scheepvaart>)
3. Ontología de la gestión costera: Proyecto CoopMarena (Cooperation for the Marine and Environmental Management of the Caribbean Sea) financiado por la Unión Europea. (<https://www.coopmarena.eu/>)
4. Ontología de la topografía marítima: Universidad de Oviedo, en el marco del proyecto COSTA-ONT (<http://costa-ont.uniovi.es/>).
5. Ontología de la meteorología y oceanografía: MarineTLO del proyecto OCEANDATAFACTORY (<https://www.oceandata.earth/>).

Tabla 3.2. Comparación de metodologías. Fuente: Elaboración propia.

PASOS/METODOLOGÍAS	Methontology	On-To-Knowledge	OD101	Terminae
<i>Definición de los requisitos para la ontología.</i>	X	X	X	X
<i>Consideración de reutilización de recursos existentes</i>			X	
<i>Identificación de los conceptos y sus relaciones.</i>	X	X		X
<i>Creación de una taxonomía de los conceptos relevantes.</i>	X	X	X	X
<i>Definición de las propiedades geoespaciales relevantes.</i>		X	X	X
<i>Creación de una taxonomía de las relaciones relevantes.</i>	X			X
<i>Especificación de las restricciones de la ontología.</i>	X	X	X	
<i>Creación de instancias y evaluación</i>		X	X	X
<i>Implementación de la ontología.</i>	X	X		X

3.3. Aprovechamiento del conocimiento en el dominio marítimo costero

3.3.1. Extracción de conocimiento de recursos no ontológicos.

Dada la importancia del territorio marítimo para el crecimiento del país existe una legislación que dispone políticas específicas dentro de la gestión de las zonas marítimas costeras. Sin embargo, los esfuerzos se han realizado de forma independiente y se han reflejado como responsabilidades dispersas siendo el mismo territorio objetivo (Avella et al., 2010). La ontología en la IDE-MFC integró el conocimiento expuesto en la actual legislación dentro de su construcción.

Los datos en el dominio marítimo representan un fuerte interés ante las instituciones en el orden político, económico, académico y social con la misión de lograr una correcta gestión del espacios oceánicos y costeros (Avella et al., 2010, p. 180). Para lograr la integración de conocimiento de las instituciones que tienen inherencia en el territorio marítimo, se revisaron los datos dispuestos de las entidades que trabajan alrededor de estos datos geoespaciales. El conocimiento adquirido fue basado en 2 grupos de interés, ver Tabla 3.1.

Tabla 3.3. Grupos de interés participantes en la adquisición de conocimiento en el dominio marítimo.

Área de interés	Recursos
Académico	Artículos de investigación, tesis de investigación, proyectos de investigación.
Político	Alcaldías municipales, normatividad establecida.

Para el manejo de la zona costera del país distintas leyes y decretos buscan aportar a los litorales políticas específicas de ordenamiento, protección y utilización (Avella et al., 2010), ver Tabla 3.2., a partir de estas se genera conocimiento de este territorio marítimo. La adquisición de conocimiento fue revisada a través de la normatividad asociada a los datos geoespaciales, diccionarios de datos con respecto a este contexto y documentos de investigación sobre este tema.

Tabla 3.4. Normatividad colombiana para la gestión de zonas costeras. Modificado con base en (Avella et al., 2010, p. 192).

Normativa / instrumento	Principales características
Ley 9 de 1961	Convención sobre la plataforma continental.
Decreto Ley 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 10 de 1978	Por medio de la cual se dictan normas sobre mar territorial, zona económica exclusiva, plataforma continental, y se dictan otras disposiciones.
Ley 12 de 1981	Prevención de la contaminación por buques.

Decreto Ley 2324 de 1984	Organiza la Dirección General Marítima.
Ley 45 de 1985	Convenio para la protección del medio marino y la zona costera del Pacífico Sudeste y el Acuerdo sobre la Cooperación Regional para el combate contra la Contaminación del Pacífico Sudeste por Hidrocarburos y otras sustancias Nocivas en casos de emergencia.
Ley 56 de 1987	Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe y el Protocolo relativo a la cooperación para combatir los derrames de hidrocarburos en la región del Gran Caribe.
Ley 1 de 1991	Estatuto de Puertos Marítimos.
Decreto 2256 de 1991	Por el cual se reglamenta la Ley 23 de 1982 en cuanto a la exploración y explotación de los recursos naturales no renovables del lecho y subsuelo del mar territorial, plataforma continental y zona económica exclusiva de la República de Colombia: Este decreto establece las normas para la exploración y explotación de los recursos naturales no renovables en la zona marítima y costera colombiana.
Decreto 838 de 1992	Régimen de concesiones y licencias portuarias.
Ley 658 de 2001	Regula la actividad marítima y fluvial de practica como servicio público en las áreas Marítimas y Fluviales de jurisdicción de la Autoridad Marítima Nacional.
Ley 768 de 2002	Se adopta el Régimen Político, Administrativo y Fiscal de los Distritos Portuario e Industrial de Barranquilla, Turístico y Cultural de Cartagena de Indias y Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta.
Ley 915 de 2004	Estatuto Fronterizo para el Desarrollo Económico y Social del departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.
Decreto 5057 de 2009	Modifica parcialmente la estructura del Ministerio de Defensa Nacional — Dirección General Marítima.
Ley 1450 de 2011	Por medio de la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014: Prosperidad para todos: En esta ley se establecen políticas y estrategias para el desarrollo económico y social de Colombia, incluyendo el desarrollo sostenible de la zona marítima y costera.
CONPES 3990 de 2020	Colombia potencia bioceánica sostenible. En busca posicionar en la agenda pública nacional los océanos como factor de desarrollo sostenible en los próximos 11 años.

3.3.2. Extracción de conocimiento a través de recursos ontológicos

Se realizó una búsqueda de ontologías geoespaciales enfocadas en el espacio marítimo costero para integrar el camino ya avanzado en el desarrollo de la línea de investigación. Las ontologías geoespaciales costeras se encuentran descritas en la Tabla 3.4.

Tabla 3.5. Investigaciones donde se desarrolla la semántica de los datos geoespaciales marítimos costeros.

Investigaciones	Autores	Datos empleados
Ontology and Metadata Creation for the Poseidon Distributed Coastal Zone Management System	P.C.H.Wariyapola, N.M.Patrikalakis, S.L.Abrams, P.Elisseeff, A.R.Robinson, H.Schmidt, K.Streitlien	Datos para la exploración científica y la administración de la zona costera.
Coastal image interpretation using background knowledge and semantics	G.Forestier, C.Wemmert, A.Puissant	Imágenes satelitales para la interpretación de zonas costeras.
Thetis - Design of a Data Management and Data Visualization System for Coastal Zone Management of the Mediterranean Sea	C.Houstis, C.Nikolaou, M.Marazakis	Datos de la zona costera del Mar Mediterráneo.
Ontology-Guided Image Interpretation for GEOBIA of High Spatial Resolution Remote Sense Imagery: A Coastal Area Case Study	H.Huang, J.Chen, Z.Li, F.Gong, N. Chen	Imágenes satelitales para la interpretación de zonas costeras.
A Pacific Coast of Ontology of Intensity and Process in the Writings of Alfredo Vanín-Romero, Antonio Preciado-Bedoya, and Gregorio Martínez	E.Vargas Holguin	Textos de la zona Pacífica de Colombia.

3.4. Construcción de la ontología geoespacial marítima costera sobre la IDE-MFC

3.4.1. Definición del alcance de la ontología

El alcance de la ontología se definió a través de responder 4 preguntas que limitan el diseño de su modelo (Noy & McGuinness, 2001)

1. ¿Cuál es el dominio que cubre la ontología?
2. ¿Para qué vamos a usar la ontología?

3. ¿Para qué tipo de preguntas la ontología debería proveer respuestas?
4. ¿Quién usará y mantendrá la ontología?

La respuesta a las preguntas permitió especificar el propósito, alcance, usuarios, contenido, usos previstos y preguntas de competencia de la ontología para la IDE-MFC.

3.4.2. Definir las clases y su jerarquía dentro de la ontología

Se listaron los términos más importantes dentro de la ontología, lo que permitió esclarecer las respuestas que dará, así mismo, definir las propiedades y relaciones para tener en cuenta dentro de su desarrollo. Con lo anterior, se formalizó la semántica a partir de los siguientes razonadores presentados por (Antoniou & Doerr, 2007):

- Miembros de clase: Si x es una instancia de una clase C , y C es una subclase de D , entonces se puede inferir que x es una instancia de D .
- Equivalencia de clases: Si la clase A es equivalente a la clase B , y la clase B es equivalente a la clase C , entonces A es equivalente a C también.
- Consistencia: Con el supuesto de que se haya declarado x como una instancia de la clase A . Además, se supone que:
 - A es una subclase de $B \cap C$
 - A es una subclase de D
 - B y D son disjuntos

Entonces se tendría una inconsistencia porque A debería ser vacío, pero tiene la instancia x . Esto indica que hay un error en la ontología.

- Clasificación: Si se ha declarado que ciertos pares de propiedad-valor son condición suficiente para ser miembro de una clase A , entonces si un individuo x satisface tales condiciones, se puede concluir que x debe ser una instancia de A .

Las Clases se definieron en la ontología usando `owl:Class`, a éstas se estableció las propiedades de disyunción y equivalencia a través de `owl:disjointWith` y `owl:equivalentClass`. Se desarrollaron dos clases de Propiedades, la primera como `owl:ObjectProperty` que relaciona objetos con otros objetos y `owl:DatatypeProperty` que relaciona objetos con valores de tipos de datos.

3.5. Implementación de la ontología geoespacial

3.5.1. Estándares

La armonización de los datos de diferentes fuentes se realizó conforme a los principios de *Linked Data*, por lo que, se transformaron en el modelo de datos RDF. Esta transformación permitió el trabajo conjunto con los datos en formato shapefile y los extraídos a través de diferentes bases de datos. Las consultas sobre la ontología se realizaron bajo el estándar GeoSPARQL, que permitió la representación geoespacial de los datos RDF involucrados.

La generación del modelo de datos RDF permitió trabajar los datos almacenados en forma de tripletas o *triple store*, posibilitando la generación de URIs diferenciables, proporcionar un esquema extensible y permitir la unión apropiada a través de enlaces que interpreta la ontología diseñada (Rondón et al., 2018).

3.5.2. Servicios

Para la transformación de datos en el modelo de datos RDF, se aprovechó la herramienta Open Data Refine, donde se limpiaron y transformaron los datos, adicionalmente, se generaron las URIs para dar paso a la conexión con la ontología generada. Se usó el triple store a través de la solución de gestión de datos *Stardog Studio Cloud*¹⁵ en una versión de prueba.

3.6. Síntesis

La IDE-MFC en su base de datos geográfica gestiona los datos costeros que se producen a través de sus unidades regionales. Se destacan dentro de los datos gestionados: concesiones marítimas, playas, ocupaciones indebidas, trámites en curso, marinas, permisos temporales, cables submarinos y proyectos de investigación. Sin embargo, se trabajaron los datos dispuestos al público a través de sus aplicaciones web, destacando la caracterización de playas, las ayudas a la navegación y el movimiento de carga de marina mercante.

Se revisaron diferentes propuestas de metodología dentro del diseño de ontologías y se compararon bajo las características específicas del dominio al cual se aplicó la investigación, así se dio claridad a los pasos a seguir dentro de la construcción de la ontología para la IDE-MFC y su mantenimiento.

Dentro del planteamiento del flujo metodológico de la construcción de la ontología geoespacial costera se buscó realizar un aprovechamiento del conocimiento costero que se tiene en el país a través de su normatividad y de las instituciones que participan activamente de este territorio. Así mismo, se revisaron recursos ontológicos que nutrieran el conocimiento sobre la ontología y continuaran con el trabajo investigativo que se viene generando sobre este dominio.

Finalmente, la implementación se realizó a través del lenguaje OWL que permitió definir las clases, instancias, axiomas, relaciones y propiedades dentro del software *Protégé*. Posterior a esto se realiza la publicación de servicios de mapa para los datos costeros administrados por la IDE-MFC. La transformación al modelo de datos RDF y la generación de URIs da paso a la comprobación de la ontología a través del gestor de datos de *Stardog Studio*.

¹⁵ Stardog Studio es una herramienta para desarrolladores, gestores de datos y administradores para construir modelos y gestores de datos.

4. Resultados

4.1. Metodología propuesta

Para el desarrollo de la metodología a seguir en el proceso de creación de una ontología geoespacial en el marco de la IDE-MFC, se realizó un análisis de alto nivel de las características que definen el dominio de estudio y se estudiaron a través de las metodologías existentes en el diseño de ontologías. La metodología resulta ser un camino entre muchos posibles, camino que se ajusta dado los procesos iterativos pertinentes a la hora de proponer un diseño metodológico.

4.1.1. Principales etapas en los procesos relevantes identificados.

Tareas identificadas dentro de los pasos metodológicos seleccionados:

1. Análisis de requisitos: En esta etapa, se deben definir los requisitos y objetivos de la ontología. Esto incluye la identificación de los usuarios, sus necesidades y los tipos de consultas que se esperan realizar.
2. Selección de herramientas: Se deben seleccionar las herramientas adecuadas para crear la ontología. Esto puede incluir editores ontológicos, lenguajes de ontología y bases de datos.
3. Diseño de la ontología: En esta etapa, se diseñan los conceptos, relaciones y axiomas de la ontología. Es importante asegurarse de que la ontología sea coherente y completa.
4. Implementación de la ontología: Se debe implementar la ontología utilizando las herramientas seleccionadas. Esto puede incluir la creación de clases, instancias y propiedades.
5. Validación de la ontología: Se deben realizar pruebas para garantizar la calidad de la ontología a través de expertos en el dominio. Es importante revisar la coherencia, consistencia y completitud de la ontología.
6. Pruebas de uso: Se deben realizar pruebas de uso de la ontología para evaluar su utilidad en aplicaciones específicas. Esto permite detectar posibles errores y ajustar la ontología para mejorar su rendimiento.
7. Mantenimiento de la ontología: La ontología debe actualizarse y mantenerse para garantizar su relevancia y utilidad a lo largo del tiempo.

4.1.2. Abstracción y adaptación de etapas para una ontología geoespacial para una IDE.

Con la caracterización del dominio geográfico y las metodologías ya propuestas para la generación de ontologías, se definen las etapas a seguir así:

1. Especificación de requerimientos: Establece el ámbito y la finalidad de la ontología para orientar el proceso de creación. Dentro de esta etapa se define el propósito, alcance, lenguaje de implementación, usuarios, contenido, usos previstos y las preguntas de competencia de la ontología.

2. Identificar las fuentes de información: Se deben identificar las fuentes de información que se utilizarán para la construcción de la ontología, como documentos, expertos, bases de datos, entre otros.
3. Extracción de términos y conceptos clave: Se realiza una investigación detallada de los conceptos y términos clave que se utilizan en el dominio marítimo y costero, y se define un conjunto de categorías y conceptos que deben ser representados en la ontología.
4. Reutilización de recursos existentes: La reutilización de ontologías existentes y estandarizadas como MarineTLO. Buscando mejorar la interoperabilidad y la consistencia con otras ontologías y sistemas.
5. Involucrar a la comunidad de expertos en el dominio: La participación de expertos en el proceso de desarrollo de la ontología es de gran ayuda para asegurar que la ontología sea relevante y útil en el dominio. Esto también ayuda a identificar posibles deficiencias en la ontología y mejora su diseño y estructura.
6. Diseño de la ontología: En esta fase se diseña la ontología a través de la especificación de clases, relaciones y propiedades, teniendo en cuenta los conceptos y términos identificados en las fases anteriores.
7. Implementación de la ontología: Se implementa la ontología utilizando el lenguaje *Web Ontology Language* – OWL y se crea un modelo de datos que vincula los términos de la ontología con los datos reales.
8. Evaluación de la ontología: Se evalúa la ontología para asegurarse de que cumpla con los requisitos definidos en la etapa anterior. Se realizan pruebas y validaciones para comprobar que la ontología funcione correctamente y cumpla su propósito.
9. Integración de la ontología: La ontología se integra con la IDE-MFC que proporciona acceso a datos, servicios y herramientas para la toma de decisiones en el ámbito marítimo y costero.
10. Documentar la ontología: La documentación busca facilitar su comprensión y uso por parte de los usuarios.

4.1.3. Análisis de la dependencia de tareas para definir su orden de aplicación.

La metodología se convierte en un proceso iterativo dentro de la ontología, es preciso revisar cada paso según la evolución de su diseño y la necesidad de involucrar el conocimiento que se va aumentando en los procesos investigativos, la metodología se representa a continuación:

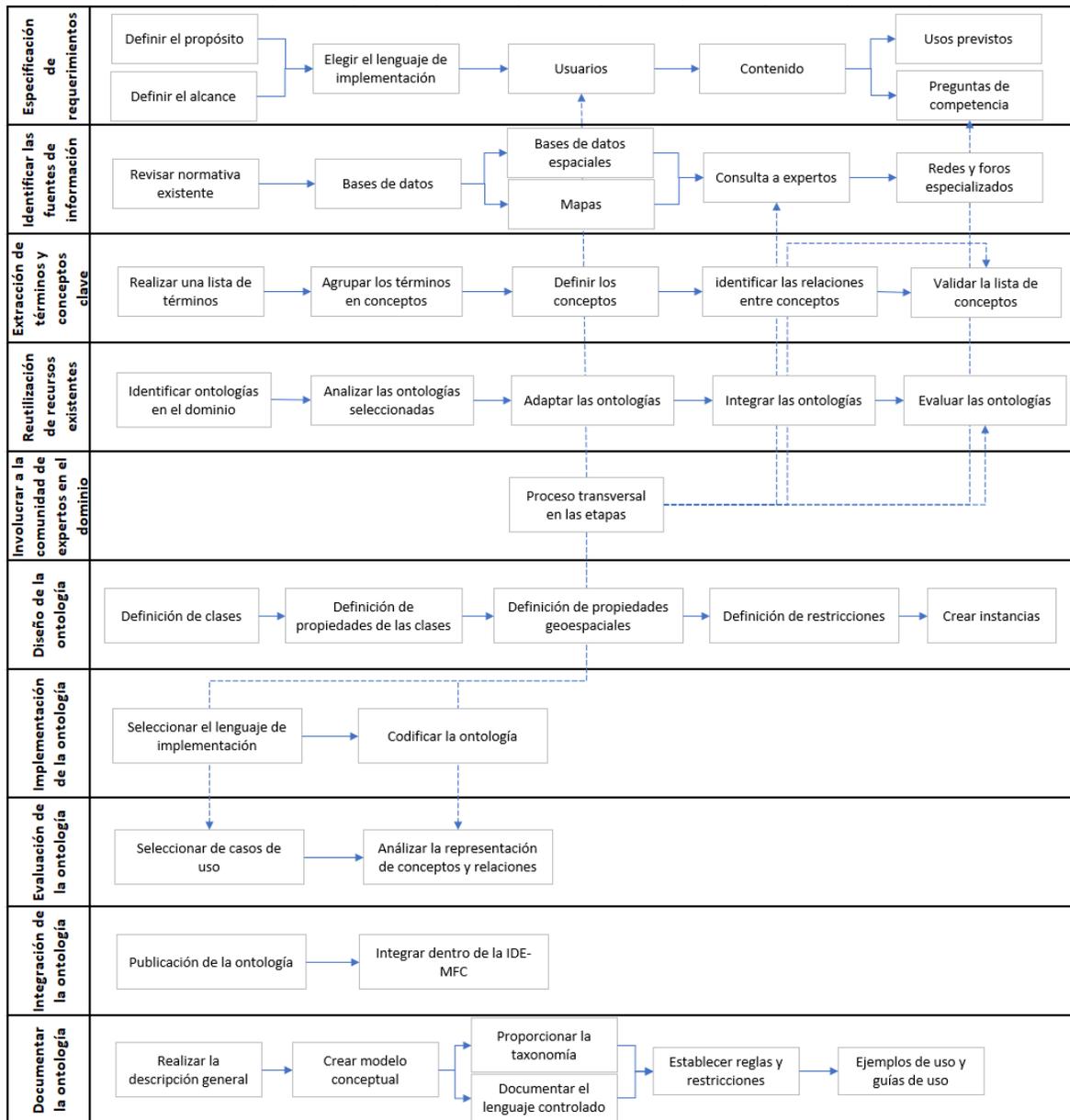


Figura 4.1. Flujo metodológico para una ontología en el dominio marítimo costero.

4.2. Especificación de la ontología

Dentro de la descripción de la construcción ontológica, se realiza la especificación de requerimientos en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Especificación de requerimientos.

Tipo de ontología	Ontología de dominio
Propósito	El propósito de la construcción de una ontología de datos geoespaciales en el marco de la IDE-MFC, es brindar la búsqueda y recuperación de recursos sobre las actividades marítimas para la Dirección General

	Marítima en el cumplimiento del fomento del reconocimiento y apropiación de este importante territorio en el país.
Alcance	La ontología de datos geoespaciales para la IDE-MFC tiene como fin integrar los datos de las actividades marítimas desde diferentes fuentes de conocimiento, a través de la identificación y descripción de las características de la información geográfica y documental seleccionada para su construcción.
Lenguaje de implementación	La ontología se implementa en el lenguaje OWL y almacenado en un repositorio abierto de información a través de <i>Linked Data</i> .
Usuarios	La IDE-MFC dentro de su gestión de datos e información marítima, fluvial y costera en el país. El equipo de trabajo de la IDE está compuesto por 2 centros de investigación, 18 capitanías de puerto, 3 grupos de señalización y la representación de cada uno de estos en sede central en Bogotá.
Contenido	Representa los datos generados por el litoral colombiano gestionados por la IDE-MFC y los datos abiertos en esta materia a través de las plataformas web.
Usos previstos	Uso 1: Describir las características geoespaciales presentes en las actividades marítimas desde fuentes heterogéneas. Uso 2: Apoyar el proceso de recuperación de datos e información relacionada con el litoral colombiano.
Preguntas de competencia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Dónde puedo realizar deportes náuticos en Colombia? ▪ ¿Dónde puedo encontrar playas de fácil acceso? ▪ ¿Qué cartas náuticas necesito para navegar si estoy en X playa? ▪ ¿Qué ayudas a la navegación encuentro en X puerto?

4.3. Diseño de la ontología

El diseño de la ontología para la IDE-MFC se define a través de las entidades geográficas seleccionadas y sus relaciones. Se identificaron las clases principales a través de las capas dispuestas por la IDE-MFC, a partir de ellas se identifican las relaciones entre los dominios y subtipos con los que la IDE-MFC dispone la información a sus usuarios, con el apoyo del conocimiento de recursos ontológicos y no ontológicos.

Las clases, instancias, relaciones, propiedades y axiomas definidas dentro de la ontología para la IDE-MFC se describen en la Tabla 4.2., la identificación de los elementos para crear la ontología son los dispuestos al público por la IDE-MFC.

Tabla 4.2. Diseño de la ontología para la IDE-MFC.

Clase	Instancia	Relación	Propiedades	Axiomas
Playas turísticas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zonificada ▪ Caracterizada 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pertenece a ▪ Tiene zonificación ▪ Se usa como ▪ Cuenta con ▪ Distancia a ▪ Tipo de ▪ Nivel de 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nombre ▪ Código ▪ Zonificación ▪ Nombre de centro de salud ▪ Observaciones 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Granulometría ▪ Color ▪ Acceso ▪ Limpieza ▪ Ocupación ▪ Ruido ▪ Urbanización ▪ Dificultad de acceso
Ayudas a la navegación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Privada ▪ Publica ▪ Complementaria 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pertenece a ▪ Se clasifica como ▪ Tiene símbolo ▪ Cumple con ▪ Cuenta con 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nombre ▪ Identificador ▪ Año de instalación ▪ Descripción ▪ Disponibilidad ▪ Estado ▪ Fecha instalación ▪ Observaciones 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Marca ▪ IALA ▪ Señalización
Canales de navegación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Privado ▪ Publico 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pertenece a ▪ Se clasifica como 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nombre ▪ Resolución ▪ Categoría 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Señalización
Zonas de fondeo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Actual ▪ Histórica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pertenece a ▪ Con estado 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nombre ▪ Resolución ▪ Observación 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Señalización
Punto de embarque		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pertenece a 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resolución 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Señalización
Cartas náuticas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ General ▪ Costera ▪ Aproximación ▪ Canal ▪ Puerto ▪ Oceánica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Con propósito 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nombre ▪ Escala ▪ Número ▪ Fecha 	

Las ayudas a la navegación son una capa geográfica de geometría punto, por lo que la primera relación establecida con la estructura proporcionada por la ontología GeoSPARQL es con la propiedad del dato llamada *asWKT*. Por otro lado, dado que la gestión de información geográfica en la IDE-MFC se realiza por capitanías de puerto, se establece la relación de que cada ayuda a la navegación pertenece a una capitanía de puerto. Finalmente, cada capitanía de puerto administra las ayudas a la navegación a través 3 tipos de clasificación según su origen, que se disponen como subclases, Figura 4.2.

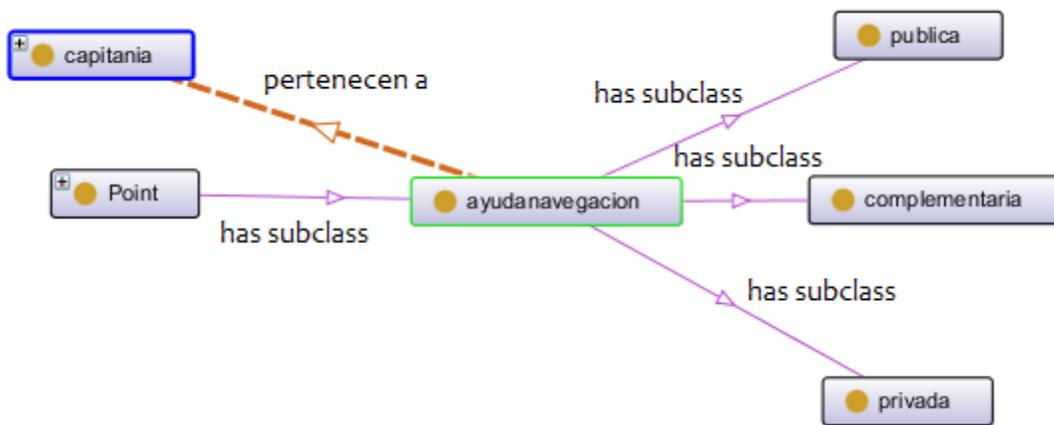


Figura 4.2. Entidad geográfica ayudas a la navegación y sus relaciones.

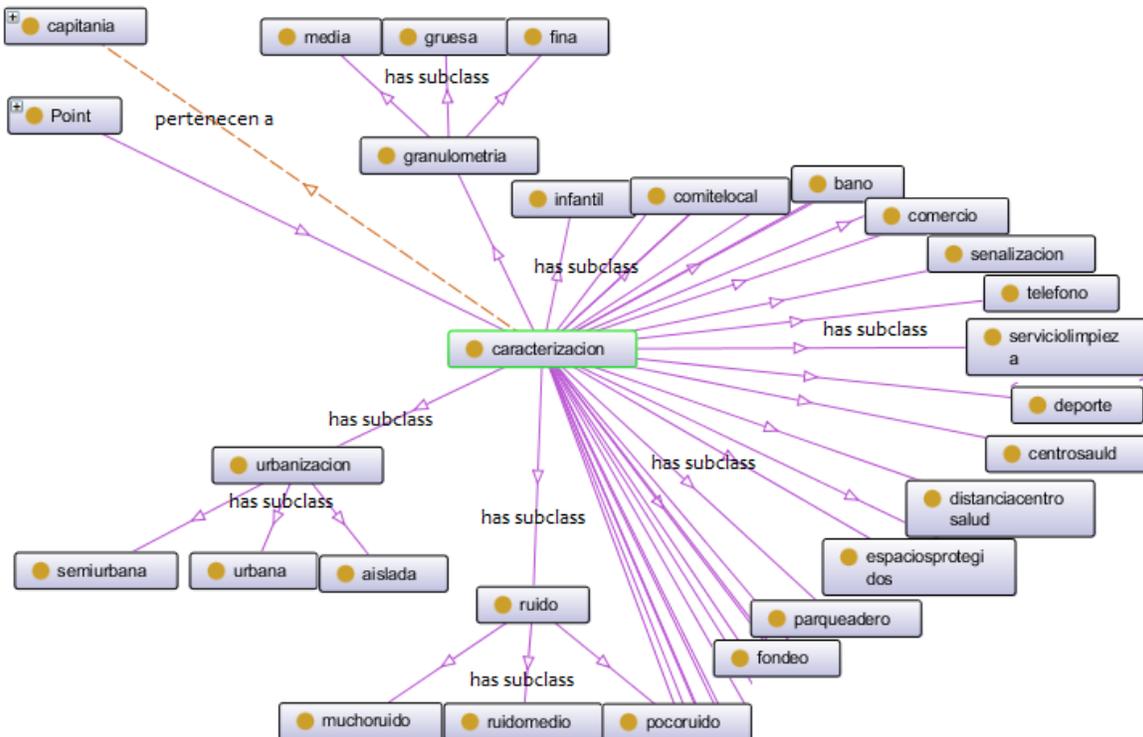


Figura 4.3. Entidad geográfica caracterización y sus relaciones.

Las playas capturadas por la IDE-MFC están caracterizadas y zonificadas por cada capitania de puerto, las relaciones de geometría y pertenencia a una capitania de puerto establecidas para las ayudas de navegación se estructuran para las playas, su caracterización con geometría punto y su zonificación con geometría polígono.

La caracterización de playas está definida porque cuentan con la disponibilidad de elementos que personalizan los intereses de la comunidad marítima sobre las playas, por lo que se generan las subclases de disponibilidad o no de elementos como lo puede ser la zona infantil, los baños, los comercios, la señalización, los teléfonos, entre otros, así mismo, elementos como granulometría, tienen derivación de subclases que identifican el elemento con más precisión, como el tipo de granulometría definido como media, gruesa y fina, Figura 4.3.

Así mismo, la zonificación de las playas genera la relación del tipo de zona que se puede encontrar en cada playa gestionada por la IDE-MFC, por lo que se establecen las subclases que corresponde a los polígonos que se identifican en cada playa y que definen los tipos de actividades que se pueden realizar ahí, Figura 4.4.

A diferencia de la señalización marítima y la administración de los litorales, la gestión de la cartografía náutica no tiene conexión con las capitanías de puerto, las cartas se definen como un polígono que cubre zonas específicas de navegación y según la escala de su elaboración establecen un propósito para los navegantes, así se establecen como subclases los propósitos que cumplen la necesidad de los navegantes, Figura 4.5.

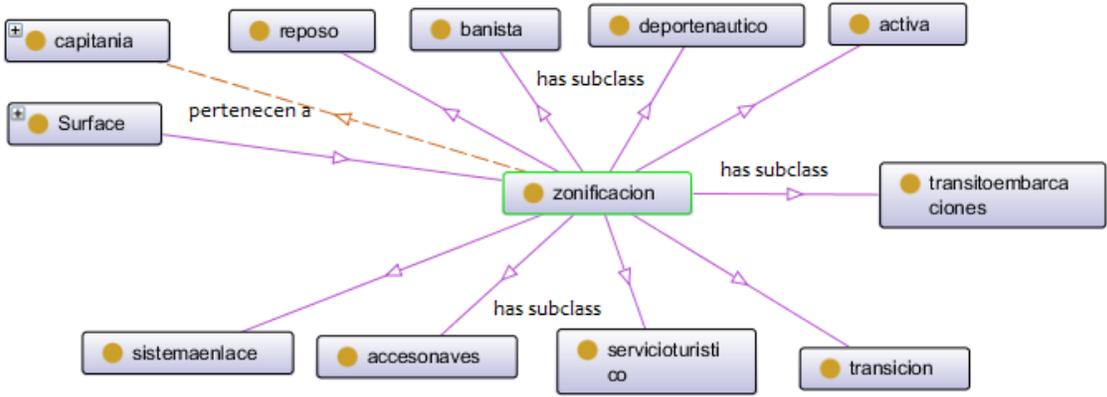


Figura 4.4. Entidad geográfica zonificación y sus relaciones.

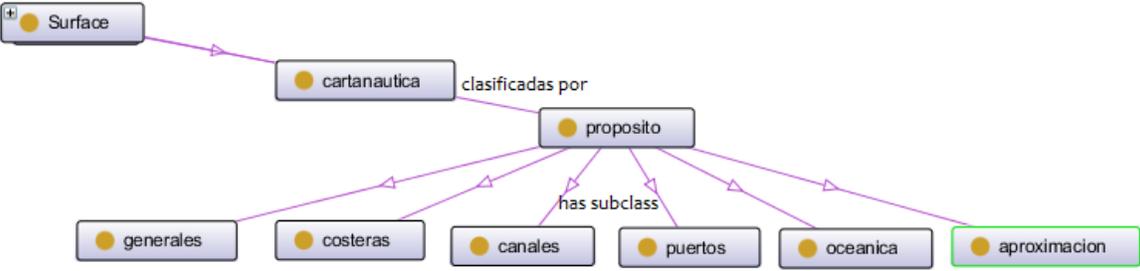


Figura 4.5. Entidad geográfica cartas náuticas y sus relaciones.

4.4. Conocimiento en el dominio marítimo y costero

4.4.1. Identificación de conceptos principales de la IDE-MFC

Los datos de la IDE-MFC enmarcados en los temas de Litorales y Áreas Marinas, Señalización Marítima, Marina Mercante y Servicio Hidrográfico expuestos a través de su portal geográfico, permitió enumerar los términos importantes en la ontología Tabla 4.2.

Tabla 4.3. Términos importantes dentro de la IDE-MFC

Tema	Término	Definición
Litorales y Áreas	Playas turísticas	Sector de la zona costera cuyo uso del suelo está definido en el respectivo Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio a que pertenece, como de uso recreativo y turístico (ICONTEC, 2009).
Señalización Marítima	Ayudas a la navegación	Se entiende por ayudas a la navegación (AToN), cualquier dispositivo o sistema externo a un buque, que se proporciona para orientar a un navegante a determinar su posición y rumbo, con el fin de advertir sobre peligros u obstrucciones, o de aconsejar una ruta mejor o preferente.
	Canales de navegación	Los canales son rutas claramente definidas por ayudas a la navegación, dentro de las cuales se establece el tráfico marítimo.
	Zonas de fondeo	Las zonas de fondeo son áreas con suficiente profundidad y con las condiciones para que un barco pueda anclar con seguridad. La aplicación ofrece información de polígonos y resolución de autorización.
	Punto de embarque	El punto de embarque es el lugar de embarque de pilotos y posición de buques prácticos, esta aplicación le permite consultar la ubicación geográfica de buque de prácticos con nombre de la zona o del puerto y resolución de autorización.
Servicio Hidrográfico	Carta náutica	Cubrimiento de la cartografía náutica como una herramienta de obligatoria observación para los navegantes, a partir de la cual se propende a minimizar los accidentes en el mar, que puedan ocasionar contaminación.

4.4.2. Extracción de conocimiento de recursos no ontológicos

El aprovechamiento de los recursos no ontológicos para el tema de Litorales y Áreas Marinas, permitieron organizar las clases de la ontología según su jerarquía y establecer las propiedades de los objetos.

- Decreto 1766 del 16 de agosto de 2013 - Artículo 2 y Norma técnica sectorial colombiana NTS-TS 001-2. Destinos turísticos de playa. Requisitos de sostenibilidad:

Para la organización de las playas, el Comité deberá identificar y delimitar previamente las siguientes zonas, de acuerdo con las características de cada playa:

- Zona de servicios turísticos.
- Zona del sistema de enlace y articulación del espacio público.
- Zona de transición.
- Zona de reposo.
- Zona activa.
- Zona de bañistas.
- Área de Acceso para Naves.
- Zona para deportes náuticos.
- Zona para tránsito de embarcaciones.



Figura 4.6. Clases y propiedad para la zonificación de playas.

- Políticas y administración pública de las playas del caribe colombiano, 2005-2015 (Ladino & Sembergman, 2015): Interés social entienden las playas por factores que las caracterizan como la existencia de reglamentación, grado de limpieza, nivel de ocupación, disposición de servicios turísticos, posibilidad de realizar deportes náuticos entre otros.
- Reglamento marítimo colombiano REMAC: Dispone factores de caracterización de las playas por actividades que desarrollan los usuarios, por lo que se definen las destinadas al baño, al descanso, a la recreación, a las ventas de bienes de consumo por parte de los turistas y a la prestación de otros servicios relacionados con las actividades de aprovechamiento del tiempo libre.
- Alcaldía de Buenaventura: Resalta la importancia de tener un comité local de playas con la intención de mejorar los sitios turísticos de la ciudad y conllevar un mejor desarrollo turístico (Alcaldía Distrital de Buenaventura, 2018).
- Metodología de cálculo de la capacidad de carga turística como herramienta para la gestión ambiental y su aplicación en cinco playas del caribe norte Colombiano (Botero et al., 2008): Se resaltan tres componentes ambientales importantes a tener

en cuenta en la capacidad turística de las playas, así, el soporte ambiental, el equipamiento urbano y los servicios turísticos.

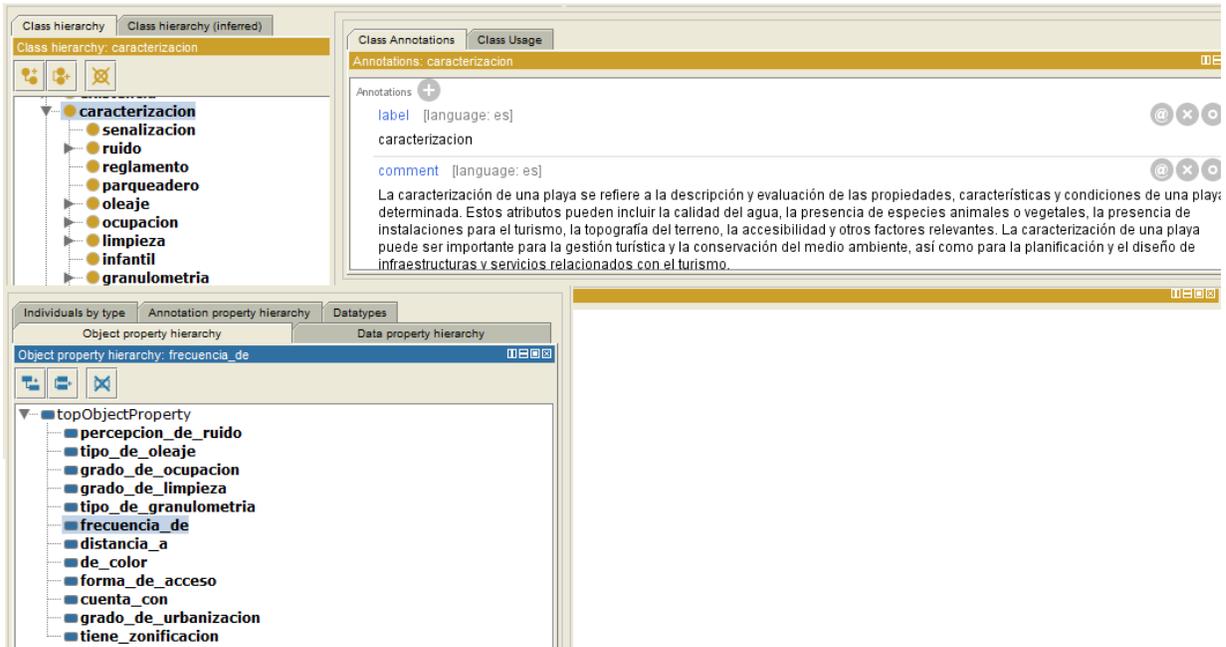


Figura 4.7. Clases y propiedad de caracterización de las playas.



Figura 4.8. Caracterización de playas según recursos no ontológicos.

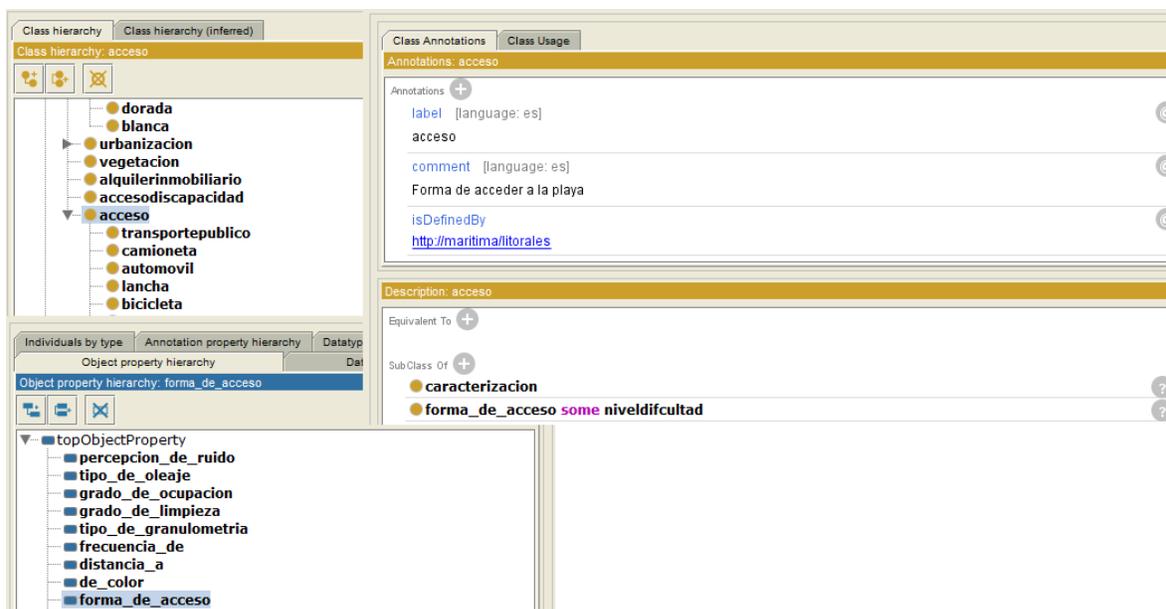


Figura 4.9. Caracterización de la playa por acceso.

La Señalización Marítima trabaja para asegurar la seguridad de la navegación de la gente de mar, es obligatorio el establecimiento de las ayudas a navegación de acuerdo con el volumen de tráfico y el análisis de riesgo a la navegación (OMI, 2020), así, se disponen las capas geográficas de la IDE-MFC.

- Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida en el Mar (SOLAS) – Capítulo 5: Establecimiento de las ayudas a la navegación públicas, siguiendo las recomendaciones y directrices internacionales. Las ayudas a la navegación públicas obedecen a una obligación del gobierno en cumplimiento del convenio internacional SOLAS.
- Decreto 5057 del 2009 – Artículo 5: Dimar debe evaluar, tramitar y expedir las autorizaciones de instalación de señalización marítima de carácter privado. Las ayudas a la navegación privadas son autorizadas por Dimar mediante el trámite de Señalización Marítima a solicitud del interesado. Adicionalmente, se encarga de la instalación, mantenimiento y mejoramiento de las instalaciones de las ayudas desplegadas en nuestro mar.
- IDE-MFC: Realiza la discriminación de ayudas a la navegación de carácter privado, público y describe las ayudas a la navegación complementarias. Así mismo, el tipo de ayuda a la navegación, nombre, estado, disponibilidad, su resolución si aplica, fecha de instalación, horas totales, horas fuera de servicio, observaciones y fotografía.
- Resolución Número 0556 de 2019 – DIMAR: Descripción de las ayudas a la navegación por marca de tope y tipo de ayuda.

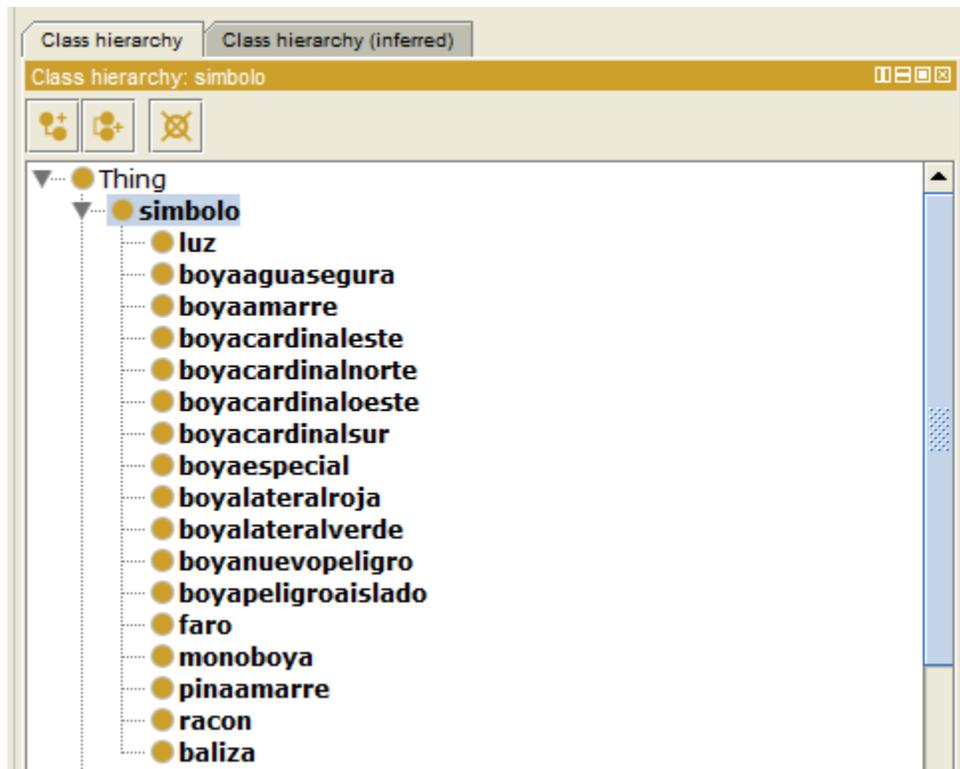


Figura 4.12. Clase de símbolo para las ayudas a la navegación.

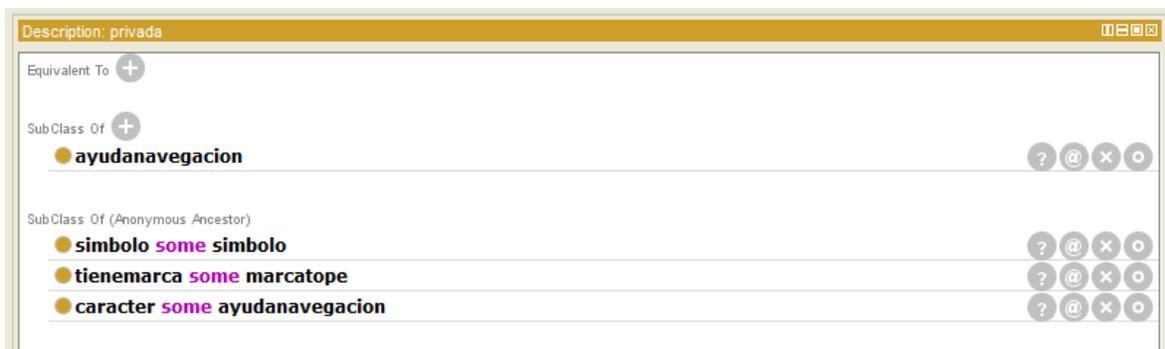


Figura 4.13. Propiedades de objeto de ayudas a la navegación.

- IDE-MFC: Los canales son rutas claramente definidas por ayudas a la navegación, dentro de las cuales se establece el tráfico marítimo. Son resultado de un análisis de riesgo a la navegación, convirtiéndose en son líneas imaginarias de referencia para tomar decisiones y emitir recomendaciones. El grupo de señalización marítima establece por resolución estos canales de navegación otorgando las propiedades de nombre y categoría.

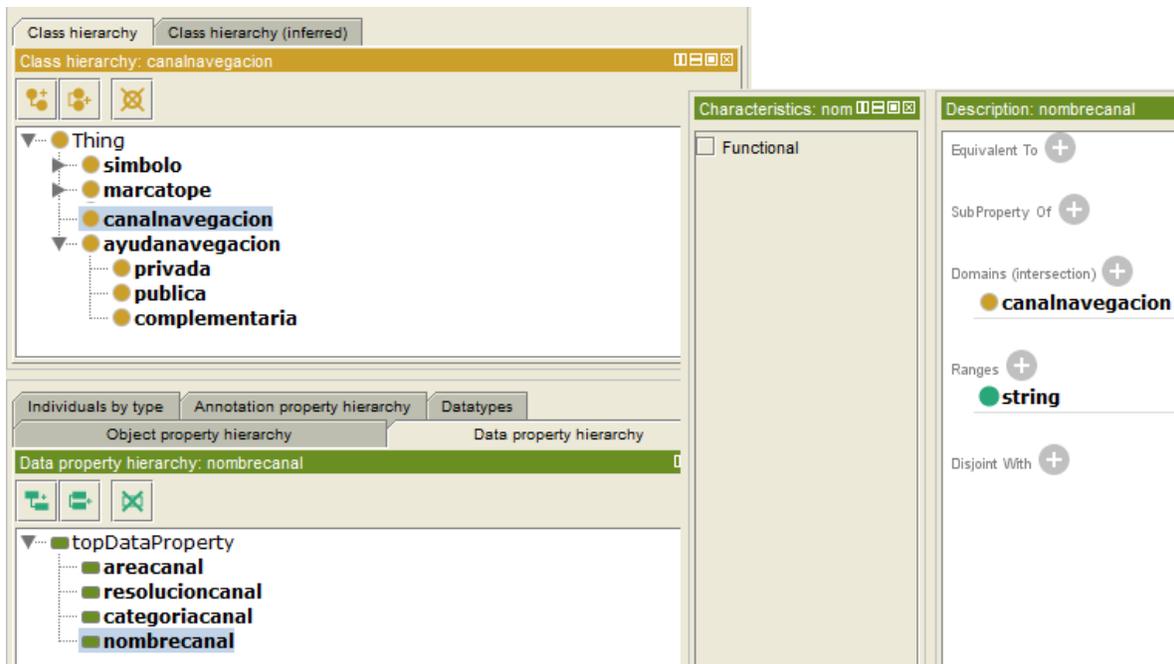


Figura 4.14. Clase canales de navegación y sus propiedades de datos.

- IDE-MFC: Las zonas de fondeo son áreas con suficiente profundidad y con las condiciones para que un barco pueda anclar con seguridad. El grupo de Señalización Marítima define las zonas a partir de resolución, estado de la zona y observaciones.

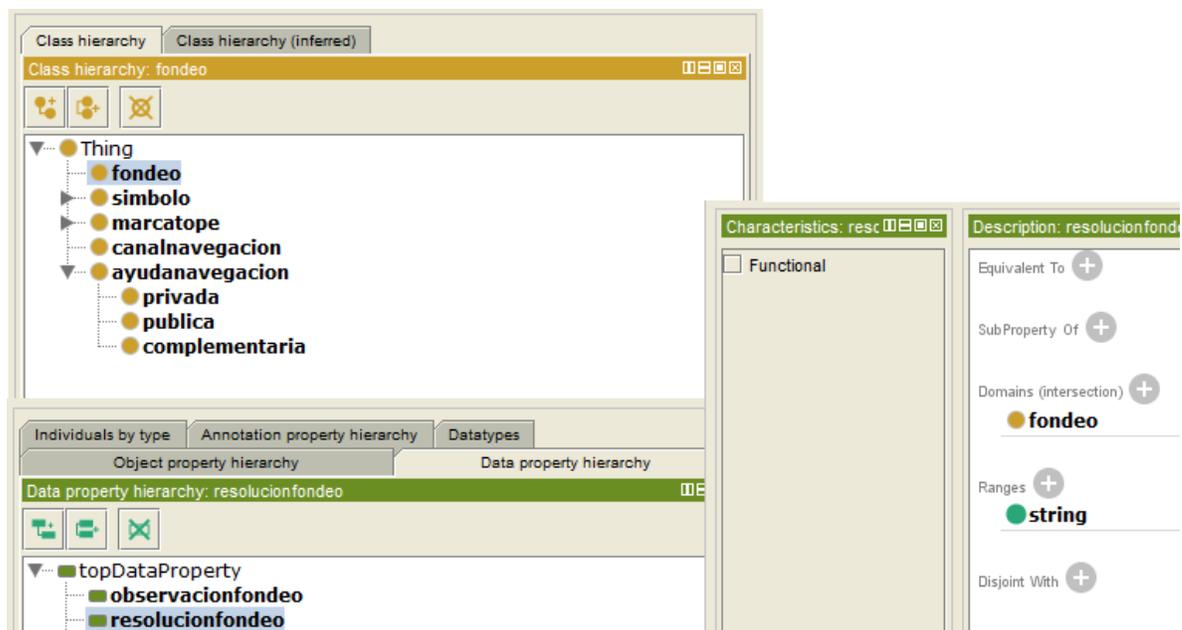


Figura 4.15. Clase zona de navegación y sus propiedades de datos.

- IDE-MFC: El punto de embarque es el lugar de embarque de pilotos y posición de buques prácticos, esta aplicación le permite consultar la ubicación geográfica de

buque de prácticos con nombre de la zona o del puerto y resolución de autorización. El grupo de Señalización Marítima establece estos puntos por resolución.

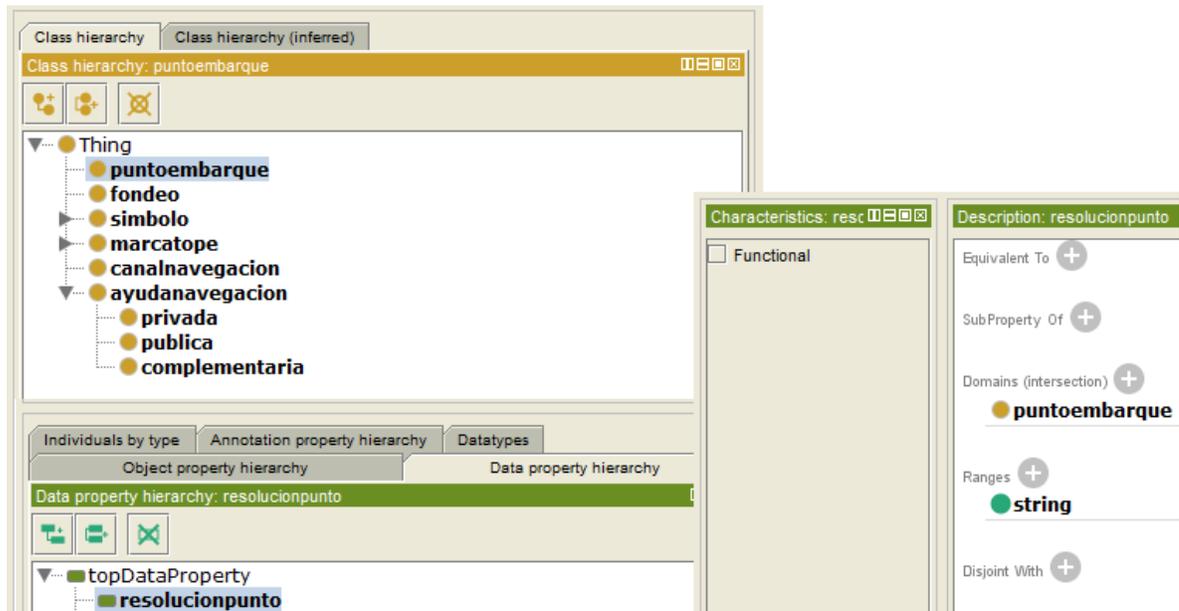


Figura 4.16. Clase punto de embarque y sus propiedades de datos.

El Servicio Hidrográfico elabora la cartografía náutica para el país, recurso que se dispone a la venta a través de su tienda virtual. El portal geográfico dispone la cobertura de la cartografía náutica y una previsualización como apoyo a los usuarios en la sección de las cartas náuticas adecuadas para su navegación o investigación.

- IDE-MFC: Los planes de cartografía se definen por cada Estado, buscando cubrir la totalidad del territorio y por ende, están definidas por una escala y propósito (Servicio Hidrográfico & CIOH, 2015).

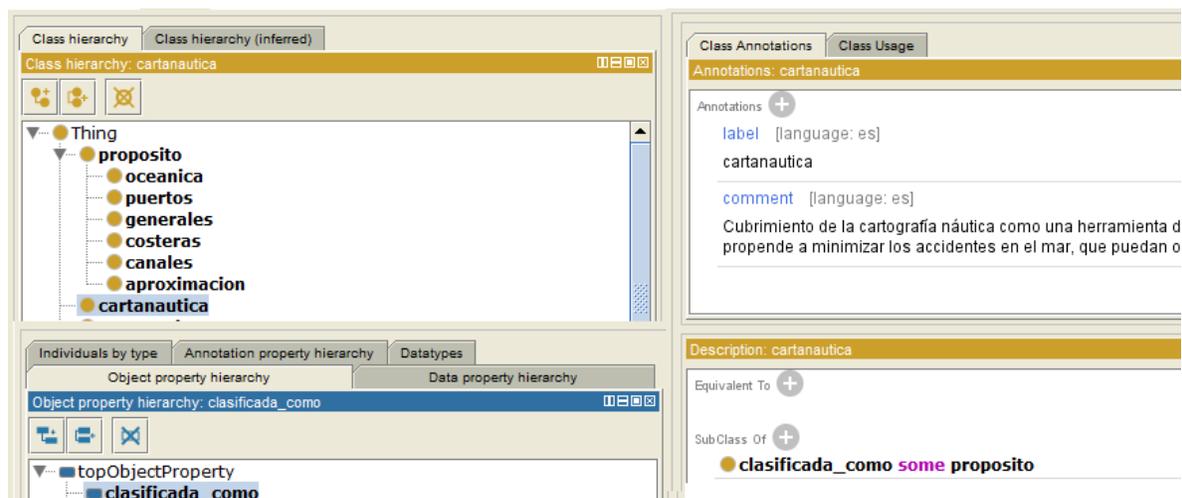


Figura 4.17. Clase cobertura de cartografía náutica y sus propiedades de objeto.

4.4.3. Uso de recursos ontológicos

Los patrones de nombrado sobre la ontología se seleccionaron para permitir la generación de *Universal Resource Identifiers* – URIS, por lo que, la especificación de la ontología a través del software Protégé mantiene sincronía con la transformación de los datos geoespaciales al modelo de datos RDF. Se definieron ontologías específicas para los datos en el tema de Litorales y Área Marinas y para la Seguridad en la navegación que lo componen la Señalización Marítima y el Servicio Hidrográfico.

Las clases se definieron, así:

Ontología de la jurisdicción colombiana: http://maritima/jurisdiccion/nombre_de_la_clase

Ontología de Litorales y Áreas Marinas: http://maritima/litorales/nombre_de_la_clase

Ontología Seguridad de la navegación: http://maritima/seguridad/nombre_de_la_clase

Se integraron las relaciones entre las ontologías, respecto a la jurisdicción que comparten los elementos a través de: http://ontologia/idemfc/nombre_de_la_clase

Las propiedades de los objetos se definieron a través del separador #:

http://ontologia/idemfc#propiedad_de_la_clase

Se reutilizó la ontología GeoSPARQL proporcionada por OGC para representar la información espacial usada en la ontología, adicionalmente, nos proporcionó el lenguaje de consulta SPARQL para realizar las consultas sobre los datos geoespaciales involucrados en la ontología para la IDE-MFC.

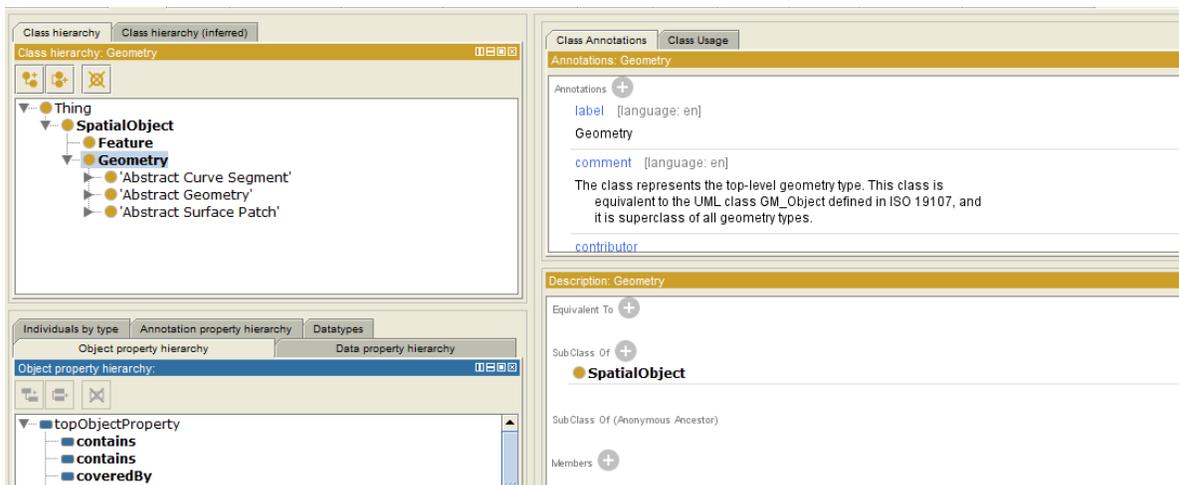


Figura 4.18. Ontología GeoSPARQL.

A partir del establecimiento de subclases sobre la ontología de lenguaje geoespacial, se proporcionó a las clases geográficas de la ontología para la IDE-MFC las propiedades de objeto geográficas heredadas por GeoSPARQL.

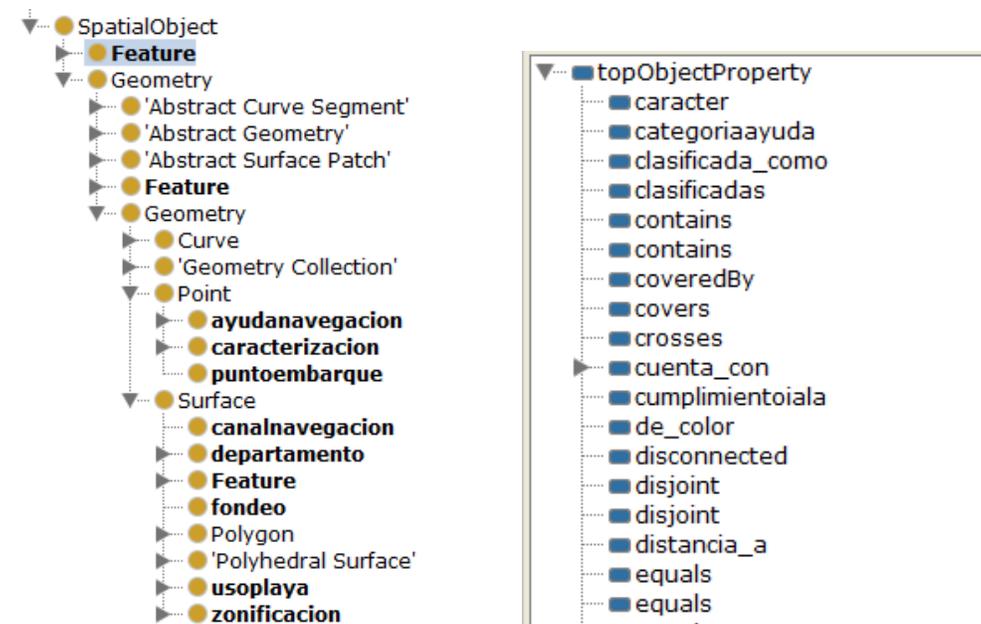


Figura 4.19. Clases con propiedades geoespaciales.

4.5. Implementación

Las clases definidas dentro de la ontología para la IDE-MFC, se transformaron al modelo de datos RDF, así, poder ser enlazadas dentro de la ontología y comprobarla a través de solucionar las preguntas de uso.

Al ser el formato RDF una representación de la información a través de tripletas como lo es recurso, predicado y objeto, la documentación de la ontología a través de sus clases, las propiedades de los objetos y las propiedades de los datos permitieron una sencilla estructuración en la herramienta *Open Data Refine*.

Los datos geoespaciales se encuentran en un mismo sistema de coordenadas, WGS84 (EPSG:4326) lo que posibilita las consultas geoespaciales bajo el estándar GeoSPARQL, por otra parte, se transformó la geometría al formato *Well Know Text* – WKT para facilitar las consultas geoespaciales.

Bajo la herramienta *Open Data Refine*, se establecieron las propiedades de los datos geoespaciales según la especificación de la ontología. Se establecieron los prefijos y vocabularios obtenidos a partir de la especificación de la ontología Figura 4.16.

List of defined prefixes

Add prefix

Prefix	URI	Delete	Refresh
rdf	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#	Delete	Refresh
owl	http://www.w3.org/2002/07/owl#	Delete	Refresh
rdfs	http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#	Delete	Refresh
foaf	http://xmlns.com/foaf/0.1/	Delete	Refresh
li	http://maritima/litorales	Delete	Refresh
ju	http://maritima/jurisdiccio	Delete	Refresh
geo	http://www.opengis.net/ont/geosparql	Delete	Refresh
ide	http://ontologia/ide	Delete	Refresh

Figura 4.20. Prefijos y vocabulario del modelo de datos RDF – Litorales y Áreas Marinas.

Datos de caracterización de playas bajo la gestión de la IDE-MFC.

152 rows

Show as: rows records Show: 5 10 25 50 100 500 1000 rows

All	WKT	capitania	nombrePlaya	gradoOcupa	gradoUrban	arenaColor	arenaGrano	accesoBani	zonasFonde	vege
1.	POINT (-76.42810999999999 8.8497500000000014)	cp08	Urbana Arboletes	muyconcurrida	urbana	dorada	media	fuerte	No	No
2.	POINT (-74.84513471499999 11.061532235000001)	cp03	PUERTO MOCHO	muyconcurrida	aislada	oscura	media	moderado	No	Si
3.	POINT (-76.786248244 8.421139676000011)	cp08	El Pescador	muyconcurrida	urbana	oscura	media	moderado	No	No

Figura 4.21. Datos de caracterización de playas.

Asignación de propiedades de las clases definidas en la especificación de la ontología para la caracterización de las playas colombianas.

Base URI: <http://maritima/litorales/> Edit

RDF skeleton RDF Preview

Available prefixes: rdf owl rdfs foaf li ju geo ide +Add Manage

(Row index) URI Add type

- X> geo:asWKT→
- X> ide:pertenece_n_a→
- X> li:nombreplaya→
- X> li:grado_de_ocupacion→
- X> li:grado_de_urbanizacion→
- X> li:de_color→
- X> li:tipo_de_granulometria→
- X> li:tipo_de_oleaje→
- X> li:fondeo→
- X> li:vegetacion→
- X> li:espaciosprotegidos→
- X> li:grado_de_limpieza→
- X> li:percepcion_de_ruido→
- X> li:cuerposalvavidas→
- X> li:frecuencia_de→
- X> li:senalizacion→

- WKT Cell
- capitania Cell
- nombrePlaya Cell
- gradoOcupa Cell
- gradoUrban Cell
- arenaColor Cell
- arenaGrano Cell
- accesoBani Cell
- zonasFonde Cell
- vegetacion Cell
- espaciosPr Cell
- limpiezaPI Cell
- percepcion Cell
- cuerpoSalv Cell
- frecuencia Cell
- senalizaci Cell

Figura 4.22. Modelo de datos RDF de la caracterización de playas.

4.6. Evaluación

La ontología generada junto con el modelo de datos RDF de cada entidad geográfica, son probadas bajo las consultas con el estándar *SPARQL*. Para realizarlo, se usó el servicio de *Stardog Cloud* como solución de gestión de datos al proporcionar el punto de consulta *SPARQL Endpoint*.

Una consulta sobre la ontología se muestra en la Figura 4.22., donde se quiere saber las playas con un color de arena “blanca” y en qué capitanías de puerto se encuentran.

```
1 PREFIX jr: <http://maritima/jurisdicción#>
2 PREFIX li: <http://maritima/litorales#>
3 PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
4 PREFIX ide: <http://ontología/idemfc#>
5 PREFIX geof: <http://www.opengis.net/def/function/geosparql/>
6 prefix unit: <http://qudt.org/vocab/unit#>
7 prefix se: <http://maritima/seguridad#>
8
9
10 SELECT ?nombreplaya ?colorarena ?cpn
11 WHERE {
12
13     ?playa <http://maritima/litorales#nombreplaya> ?nombreplaya;
14         li:de_color "blanca";
15         li:de_color ?colorarena;
16         ide:pertenecen_a ?cp.
17     ?l jr:codigocp ?cp1;
18         jr:nombrecp ?cpn.
19     FILTER (?cp= ?cp1)
20 }
```

Figura 4.26. Consulta de playas por color de arena.

Como resultado, sabemos el nombre de las playas que cumplen con esta característica y a las capitanías a las que pertenecen Figura 4.23., pero es posible obtener mayor provecho del conocimiento que tenemos sobre las playas, como conocer las playas en las que puedo tener la oportunidad de parquear, disfrutar de arena fina y blanca y adicionalmente cómo puedo acceder a ella Figura 4.24.

nombreplaya	colorarena	cpn
"LA BARRA"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Barranquilla"
"PALMERAS"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Guapi"
"Bello Horizonte"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Santa Marta"
"Bahia Concha"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Santa Marta"
"Miramar"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Santa Marta"
"Punta Bolivar"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Coveñas"
"Playa Blanca"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Coveñas"
"ENSENADA LOS MANGLES"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Barranquilla"
"Aeropuerto"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Santa Marta"
"Playa de Manzanillo"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Providencia"
"Punta Rincon"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Coveñas"
"Balsillas"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Coveñas"
"Don jaca (GHL-Costa Azul)"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Santa Marta"
"Playas Blancas - Barú"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Cartagena"
"Playa Blanca"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Santa Marta"
"Pozos colorados"	"blanca"	"Capitanía de Puerto de Santa Marta"

Figura 4.27. Playas con arena blanca por capitanía.

```

1  PREFIX jr: <http://maritima/jurisdiccion#>
2  PREFIX li: <http://maritima/litorales#>
3  PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
4  PREFIX ide: <http://ontologia/idemfc#>
5  PREFIX geof: <http://www.opengis.net/def/function/geosparql/>
6  prefix unit: <http://qudt.org/vocab/unit#>
7  prefix se: <http://maritima/seguridad#>
8
9
10 SELECT ?nombreplaya ?cpn ?acceso
11 WHERE {
12
13     ?playa <http://maritima/litorales#nombreplaya> ?nombreplaya;
14         li:de_color "blanca";
15         li:parqueadero "Si";
16         li:tipo_de_granulometria "fina";
17         li:de_color ?colorarena;
18         li:forma_de_acceso ?acceso;
19         ide:pertenecen_a ?cp.
20     ?l jr:codigocp ?cp1;
21         jr:nombrecp ?cpn.
22     FILTER (?cp= ?cp1)
23 }

```

Figura 4.28. Consulta de playas por preferencias específicas.

nombreplaya	cpn	acceso
"Bahia Concha"	"Capitanía de Puerto de Santa Marta"	"En_camioneta_(difícil)"
"Don jaca (GHL-Costa Azul)"	"Capitanía de Puerto de Santa Marta"	"A_pie_(fácil),En_automóvil_(fácil),Transporte_público,Bicicleta,Lancha"
"Bahía de Santa Marta"	"Capitanía de Puerto de Santa Marta"	"A_pie_(fácil),En_automóvil_(fácil),Transporte_público,Bicicleta,Lancha"
"Rodadero"	"Capitanía de Puerto de Santa Marta"	"A_pie_(fácil),En_automóvil_(fácil),Transporte_público,Bicicleta,Lancha"
"San Fernando"	"Capitanía de Puerto de Santa Marta"	"En_automóvil_(fácil)"
"Rocky cay"	"Capitanía de Puerto de San Andrés"	"A_pie_(fácil),En_automóvil_(fácil),Transporte_público,Bicicleta,Lancha"

Figura 4.29. Playas con las preferencias específicas de la consulta.

5. Discusión de resultados

5.1. Metodología propuesta para la ontología para la IDE-MFC

Para definir la metodología a usar para crear una ontología para la IDE-MFC fue importante enmarcar el alcance que tiene esta IDE en específico y las responsabilidades que enfrenta al disponer datos en el dominio marítimo, fluvial y costero. En consecuencia, se enmarcan estas importantes características y se reconoce a Colombia con una posición privilegiada que le proporciona soberanía sobre un gran territorio marítimo que le atañe una zona costera en la que se manifiestan diversas actividades humanas importantes para el país.

Las metodologías existentes plantearon una ruta clara para definir la metodología que la IDE-MFC debe seguir, el aprovechamiento de la metodología *Methodology* permite crear una ontología de fácil mantenimiento para la IDE-MFC a través de pasos bien definidos que ayudan a que la implementación de la ontología sea coherente con el dominio del tema, resaltando una especificación clara de requisitos que garantizará el uso de la ontología y la satisfacción de las necesidades de los usuarios.

La metodología *On-To-Knowledge* por otro lado, proporciona un escenario de evaluación específico con la identificación de casos de uso que enriquecen la metodología propuesta para la IDE-MFC, los casos de uso se convierten en una oportunidad perfecta para involucrar al personal experto en las diferentes áreas de conocimiento marítimo, costero y fluvial. Los datos administrados por la IDE-MFC provienen de distintas áreas de conocimiento y se difunden con propósitos específicos en los que los casos de uso pasan a ser una etapa fundamental para el desarrollo de la ontología.

Es importante resaltar dentro de la metodología, involucrar buenas prácticas dentro del desarrollo de una ontología como la colaboración de expertos en el dominio, se fortalece a través de la revisión de la metodología *Ontology Development 101*, en donde la metodología es lo suficientemente flexible para adaptarse a diferentes contextos y requisitos específicos.

Para el mantenimiento y disposición de la ontología, la metodología *Terminae* permitió establecer dentro del desarrollo de la ontología una documentación clara que facilita la documentación de cada etapa del proceso, lo que hace que la ontología sea más comprensible y accesible para otros desarrolladores y usuarios. Por otro lado, aporta la adaptabilidad para acomodar diferentes dominios y requisitos, lo que la hace relevante para su implementación en diferentes áreas de investigación de la IDE-MFC y su proyección de crecimiento.

Dentro de las limitaciones en la propuesta metodológica para crear una ontología dentro de la IDE-MFC, se resalta que la presente investigación se encuentra en una primera etapa de conceptualización del uso de ontologías para la IDE en cuestión, la flexibilidad del flujo metodológico permitió abarcar los primeros datos dispuestos en la IDE para la

especificación e implementación de la ontología, faltando un camino iterativo y documental por recorrer que se describe en el trabajo futuro.

5.2. Especificación de la ontología para la IDE-MFC

La IDE-MFC ha dispuesto un conjunto de datos a través de aplicaciones geográficas en su portal web, los datos e información dispuesta tienen un impacto directo con el interés de los usuarios sobre las actividades que se desarrollan en las zonas costeras del país, como los usos y ordenamiento de las playas, la disposición de ayudas a la navegación y la planeación de actividades bajo la seguridad de la cartografía náutica.

A través de la disposición de datos de la IDE-MFC y tras la afirmación de Kokla y Guilbert (2020) que disponen las ontologías geoespaciales clasificadas como de dominio, podemos definir la ontología en manos de la IDE-MFC no de dominio, sino como una ontología de aplicación, dado que tiene particularidades y características que la hacen más específica y adecuada para abordar problemas y necesidades particulares en las actividades costeras del país.

La especificación inicial de requerimientos de la ontología presentó un propósito donde los usuarios cuenten con una mejora en la búsqueda y recuperación de información, basados en que una ontología bien diseñada y estructurada que mejore significativamente la precisión y eficacia de las consultas de datos e información relevante sobre las actividades costeras como camino de apropiación sobre el importante recurso natural que tiene el país.

La ontología se dispuso con un alcance para un poderoso análisis, la toma de decisiones informadas y el desarrollo de soluciones innovadoras en el ámbito costero dado que está alimentada por el trabajo científico que se ha desarrollado desde Dimar y otras instituciones. Al integrar datos de diversas fuentes, la ontología brinda una visión más completa y amplia del panorama marítimo. Permite acceder a información diversa, como datos de servicios prestados en las playas, oportunidad de realizar actividades turísticas, y demás ayudas a la hora elegir un sitio turístico.

Usmani et al., 2020 describieron el lenguaje OWL como un lenguaje semánticamente rico, aplicarlo en la presente investigación proporcionó una lógica descriptiva que le otorga una alta expresividad formal. Permite definir relaciones complejas entre conceptos y realizar inferencias lógicas para deducir nueva información de la ontología existente. Por otra parte, permite agregar nuevas clases, propiedades y axiomas sin afectar negativamente el rendimiento. Finalmente, al ser el más usado por las investigaciones revisadas, existen numerosos recursos, herramientas y bibliotecas disponibles para apoyar su uso, lo que resultó una gran ventaja para llevar a cabo la presente investigación.

Los casos de uso se definieron con base en los datos proporcionados por el portal geográfico de la IDE-MFC, en donde fue relevante plantear un enriquecimiento semántico en el potencial de investigación de la Dirección General Marítima a través de su trabajo en el

litoral colombiano y su esfuerzo por garantizar la seguridad de la vida en el mar. Se otorga al usuario consultas basadas en intereses específicos a la hora de escoger una playa de destino turístico y cómo la reglamentación aporta recursos sobre las actividades costeras.

5.3. Selección de recursos semánticos para la IDE-MFC

Existe un gran potencial investigativo sobre las áreas marinas y costeras de un país, dado el importante recurso que representa y la intención de promover el conocimiento sobre las mismas (Conti et al., 2018), así, a través del portal geográfico de la IDE-MFC fue posible seleccionar datos e información que se ha venido gestionando en busca de este objetivo.

Las investigaciones y la normatividad que rodea las actividades costeras permitieron identificar importantes conceptos y sus relaciones dentro de la ontología, en consecuencia, al definir conceptos y relaciones de manera estandarizada, la ontología facilita la interoperabilidad entre diferentes sistemas y fuentes de datos, lo que permite la integración y el intercambio de información en el ámbito costero.

Al proporcionar una representación estructurada del conocimiento, puede apoyar el análisis y la evaluación de conceptos respaldados por diferentes fuentes de conocimiento en un mismo escenario. Así mismo, se presenta como base para herramientas de análisis y visualización de datos, lo que ayuda a los usuarios a explorar y comprender mejor la información relacionada con actividades costeras.

El apoyo de recursos semánticos que permite la ontología promueve la colaboración entre investigadores y expertos en la industria, facilitando el intercambio de conocimientos y experiencias. La investigación realizada permitió tomar recursos de proyectos de investigación, de normatividad y reglamentación, como disposiciones a nivel de municipios, que moldearon las clases y sus propiedades dentro de la ontología.

La investigación de Ladino & Sembergman, 2015, visibilizó el interés por aspectos de existencia o no de elementos dentro de la caracterización de playas, por lo que se estructuraron las subclases de deportes náuticos, reglamentación de la playa, oficina de turismo entre otros, con la clase de existencia que permite asociar el valor de si se encuentra presente o no la característica deseada, ver Figura 5.1.

Por otro lado, dado el componente administrativo de los datos costeros y la necesidad de disponer leyes sobre el territorio (Stamoulis & Delevaux, 2015), los municipios costeros a través de sus alcaldías contemplan un espacio de estudio para las playas y ordenamiento redundando en un trabajo interinstitucional para delimitar los espacios

Asegurar la seguridad de la vida en el mar es una responsabilidad crucial para garantizar la protección y bienestar de las personas y demás seres vivos que habitan este ecosistema. Una de las medidas fundamentales para lograr esta seguridad es mediante las ayudas a la navegación, que están organizados y dispuesto con base en diferentes normas internacionales.



Figura 5.1. Estructura de clases y subclases según la existencia de aspectos de caracterización por playa.

Los estándares internacionales definen los tipos de ayudas necesarias para evitar peligros, mantener rutas seguras y responder rápidamente a situaciones de emergencia, éstas son definidas como públicas, adicionalmente, bajo estos estándares la Dirección General Marítima dispone de ayudas a la navegación por solicitud de interesados de carácter privado y complementario. Estos recursos semánticos permitieron estructurar las clases y subclases necesarias para identificar una ayuda a la navegación, directamente ligada por la reglamentación internacional que debe cumplir (Figura 5.2.).

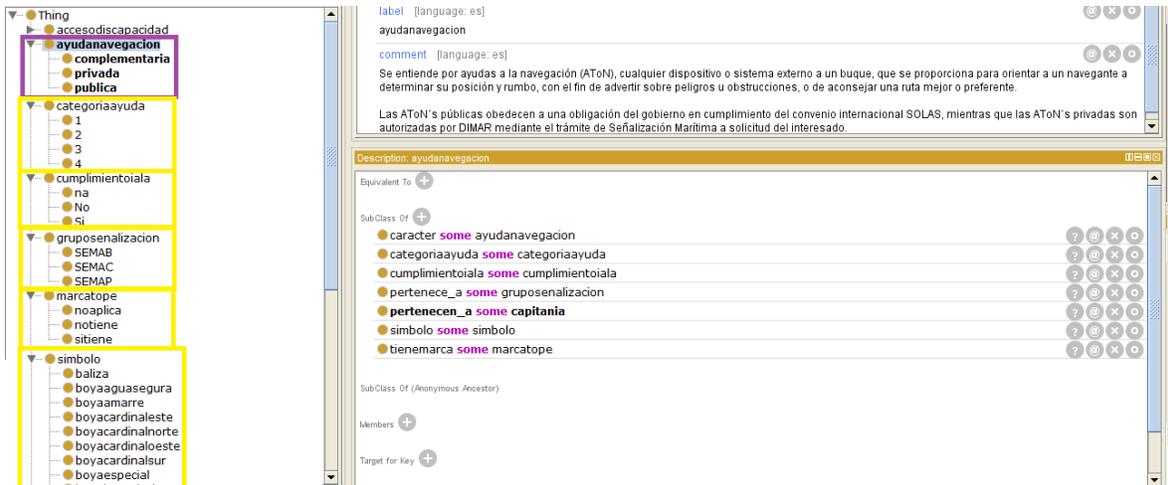


Figura 5.2. Estructura de clases y subclases según la disposición de ayudas a la navegación.

Sumado a estos recursos semánticos, la incorporación del estándar GeoSPARQL, permitió contar con la extensión de lenguaje de consulta SPARQL para el procesamiento de datos geoespaciales. La ontología contó con la posibilidad de representar, almacenar y consultar datos geoespaciales en este contexto donde las ubicaciones, coordenadas, regiones, geometrías y relaciones espaciales son tan importantes.

GeoSPARQL es un estándar reconocido por el W3C, lo que garantiza la interoperabilidad entre diferentes sistemas y aplicaciones que utilizan datos geoespaciales en ontologías (Zhang, 2019). Facilitó la integración de datos geoespaciales de fuentes diversas y la combinación con otros datos semánticos, permitiendo modelar contextos geoespaciales dentro de la ontología, lo que es esencial para representar el conocimiento el contexto costero de la IDE-MFC.

5.4. Implementación de la ontología para la IDE-MFC

A través del software *Protégé* es posible crear ontologías desde cero e importar ontologías existentes. Basado en el lenguaje OWL, *Protégé* ofrece una interfaz gráfica amigable para ayudar a los usuarios a desarrollar, mantener, gestionar y editar ontologías de manera efectiva. La interfaz permitió estructurar la ontología continuamente según los recursos semánticos adquiridos, lográndose observar en medio de su construcción la jerarquía que tenían las clases identificadas.

Debido al comportamiento que tienen los datos que gestiona la Dirección General Marítima y que están difundiéndose a través de la IDE-MFC, se crearon estructuras independientes para cada gran tema, por lo que, el tema de jurisdicción, señalización marítima y litorales están bien delimitados dentro de la ontología de la IDE-MFC y así, cada experto puede especializarse en la estructura ontológica de su área de estudio.

Dada las características del software *Protégé*, se importaron las ontologías creadas para la jurisdicción marítima, la señalización marítima, los litorales y áreas marinas y el vocabulario diseñado para representar datos geoespaciales GeoSPARQL, que terminaron definiendo la ontología para la IDE-MFC. Con la integración de estas estructuras se establecen dos relaciones importantes entre las clases:

1. **pertenecen a:** La señalización marítima y los litorales y áreas marinas están administrados y caracterizados por una capitanía de puerto que está semánticamente definida en la ontología de jurisdicción, por lo que se asignan como subclases de *capitania*.
2. **Geometry:** Las ontologías de cada tema en específico contienen clases que representan elementos geográficos, por lo que es necesario su integración con GeoSPARQL, dentro de su clase *Geometry*, se asignan las clases con características geoespaciales como subclases de *Curve*, *Point* y *Surface*.

La ontología definida para la IDE-MFC se exportó como RDF para posibilitar el intercambio de datos en la web, siendo este formato estándar adecuado para compartir, intercambiar y reutilizar la ontología en diferentes aplicaciones y sistemas (W3C, 2014). Así mismo, se convirtieron en formato RDF las capas geográficas gestionadas dentro de la IDE-MFC, para así integrar todos los recursos existentes.

Al ser RDF compatible con el razonamiento lógico y las consultas SPARQL fue posible realizar inferencias y consultas complejas sobre los datos que representa la ontología de la IDE-MFC. Los datos de la IDE-MFC se integraron de manera eficiente, con el valor agregado de poder ser consumidos por diferentes sistemas de la web semántica, como motores de razonamiento y buscadores semánticos que trabajan directamente con datos en formato RDF.

El diseño de la ontología para la IDE-MFC permitió tener la estructura y lineamientos para convertir los datos geográficos disponibles en el formato RDF. Desde la documentación de la ontología y su definición de propiedades, permitieron que la ontología usada como un recurso en la herramienta *Open Data Refine* y con la definición de un prefijo se establecieran las propiedades de la tripleta que conforman este formato.

Se procedió a usar la prueba gratuita de la plataforma *Stardog* como una potente base de datos de grafo y sistema de conocimiento que almacenó y permitió la gestión de consultas sobre la ontología para la IDE-MFC y las capas geográficas transformadas en formato RDF. Stardog proporcionó una interfaz de fácil escritura con colores distintos para las letras permitiendo una mejor diferenciación entre elementos, un componente de gráficas para un análisis inmediato de los resultados y la visualización de los datos geográficos.

6. Conclusiones y trabajo futuro

6.1. Conclusiones

La presente investigación ha abordado el desarrollo de una ontología costera con el propósito de representar y organizar el conocimiento relacionado con el entorno costero y sus diversas interacciones. A pesar de enfrentar limitaciones en la disponibilidad de datos y referencias para su diseño, se logró avanzar significativamente en la generación de consultas para algunos datos difundidos a través de la IDE-MFC.

Existen diferentes metodologías que se han dispuesto para generar ontologías, el aprovechamiento de estas para proponer una específica según las características propias de una IDE fueron fundamentales dentro del cumplimiento de uno de los objetivos de la presente investigación. Sin embargo, para establecer una metodología es importante la evaluación de cada fase y la realización de procesos iterativos que no pudieron llevarse a cabo dentro de la generación de la ontología para la IDE-MFC.

La ontología se diseña como una herramienta para una comunidad marítima que realizará el mantenimiento de ésta, en consecuencia, la ontología mantendrá un marco semántico común que ayuda a estandarizar la representación del conocimiento en el dominio marítimo. Esto facilita la interoperabilidad entre diferentes sistemas, plataformas y aplicaciones utilizadas por la comunidad marítima.

Fue una limitante no encontrar ontologías del nivel de aplicación para lograr un aprovechamiento dentro de la IDE-MFC, sin embargo, el creciente interés científico por el dominio marítimo permitió fortalecer el conocimiento de las clases identificadas en los datos dispuestos dentro del portal geográfico. La documentación seleccionada a través de la normatividad y artículos científicos fue de gran sustento para la generación de clases e instancias en la ontología.

El proceso de integración de conocimiento se realizó manualmente, por lo que el tiempo de extracción de la semántica de la estructura ontológica debe ser mucho más intensivo, debe estar acompañado con los expertos en el dominio marítimo y así prevenir las imprecisiones, omisiones o mal interpretaciones de las fuentes seleccionadas. La forma en la que se extrajo y organizó la ontología se vio afectada por la subjetividad resultado de los procesos manuales que se realizaron.

Es necesario lograr una disposición y uso democrático de la información geográfica entre entidades y demás actores con injerencia en los espacios oceánicos, marítimos y costeros. Promover los espacios de trabajo interinstitucional para lograr un sistema de conocimiento más completo y especializado en el dominio específico, redundará en una ontología más completa y eficiente.

A través del análisis de los recursos y datos disponibles, se pudo definir una estructura inicial para la ontología costera, identificando conceptos clave y relaciones relevantes. Además, se diseñaron y ejecutaron consultas utilizando el lenguaje SPARQL con el estándar GeoSPARQL, lo que permitió obtener información específica sobre el entorno costero y su dinámica.

Realizar una ontología para la IDE-MFC se convirtió en el marco de referencia para analizar y presentar información relevante de manera contextualizada. Permitted la integración efectiva de datos de diversas fuentes. Al definir claramente las relaciones y las propiedades, se facilita la combinación de datos de distintos sistemas, lo que es importante para tomar decisiones informadas en el ámbito marítimo, lo que redundará en el cumplimiento de una de las responsabilidades de una IDE.

Es importante resaltar que la ontología costera representa una herramienta prometedora para mejorar el entendimiento y la gestión sostenible del entorno costero. El trabajo realizado hasta ahora sienta las bases para futuras investigaciones y desarrollos que busquen ampliar la cobertura de la ontología y fortalecer sus capacidades de consulta y razonamiento.

6.2. Trabajo futuro

Es misión de la IDE-MFC brindar una conexión entre la Autoridad Marítima Colombiana y la comunidad a través de la implementación de avances tecnológicos y metodológicos en geomática y sus herramientas de generación, análisis y difusión asociadas, que ayude a empoderar a la Colombia marítima con conocimiento, colaboración y apropiación (Dimar, 2021c). La ontología se presentó como una herramienta útil para compartir conocimiento al proporcionar un vocabulario consensuado en un dominio específico. Algunas mejoras encontradas durante el desarrollo de una ontología geoespacial para tener en cuenta:

1. Identificación y consulta de expertos: Una de las principales mejoras que se puede implementar es la identificación y consulta de expertos en el dominio geoespacial para validar y mejorar la ontología. Esto puede ser de gran ayuda para la identificación de conceptos y relaciones más relevantes, así como para asegurar que la ontología refleje correctamente el conocimiento en el dominio (Gawich et al., 2012).
2. Reutilización de ontologías existentes: Otra mejora es la reutilización de ontologías existentes y estandarizadas en lugar de crear una ontología desde cero. Esto puede ahorrar tiempo y esfuerzo en el proceso de desarrollo de la ontología, y también puede mejorar la interoperabilidad y la consistencia con otras ontologías y sistemas (Bontas et al., 2005).
3. Uso de herramientas automatizadas: El uso de herramientas automatizadas para la extracción y población de datos puede ser muy útil para agilizar el proceso de

creación de la ontología, esto también puede ayudar a reducir los errores humanos y mejorar la consistencia en la ontología (Jackson et al., 2019).

4. Validación continua: En lugar de realizar la validación al final del proceso, se puede realizar una validación continua a medida que se desarrolla la ontología para detectar y corregir errores y problemas antes de que se vuelvan más difíciles de solucionar (Poveda-Villalón et al., 2012).
5. Involucrar a usuarios finales: La participación de usuarios finales en el proceso de desarrollo de la ontología puede ser de gran ayuda para asegurar que la ontología sea relevante y útil en el dominio, esto también puede ayudar a identificar posibles deficiencias en la ontología y a mejorar su diseño y estructura (Sure et al., 2002).

La propuesta metodológica para crear una ontología para la IDE-MFC abarcó los logros alcanzados por otras metodologías a lo largo de los años, sin embargo, es necesario una investigación mucho más profunda sobre la aplicabilidad de esta y la identificación de su éxito a través de procesos iterativos que involucran un recurso humano y tecnológico que cuente con el apoyo del personal de la IDE-MFC.

Por otro lado, involucrar más datos e información referentes al contexto costero que tienen relación directa con los usados en la actual investigación, pero que no se pudieron contemplar debido al carácter reservado que tienen. Los bienes de uso público, las unidades geomorfológicas, la cobertura vegetal y línea de marea son datos con un potencial semántico para la ontología de la IDE-MFC y con interés de la comunidad marítima.

La ontología costera desarrollada hasta el momento se ha centrado principalmente en aspectos específicos del entorno costero. En trabajos futuros, se pretende ampliar la cobertura de dominio para incluir una gama más amplia de características y fenómenos costeros, como los eventos meteorológicos, oceanográficos e hidrográficos que se manejan en cada Centro de Investigación de la Dirección General Marítima.

Así mismo, se necesita llevar a cabo una validación exhaustiva de la ontología para asegurar su precisión y eficacia en la representación del conocimiento costero. Se explorarán métodos de evaluación y se solicitará la retroalimentación de expertos para realizar mejoras y ajustes necesarios. En consecuencia, llevar la ontología a su publicación y difusión para que sea herramienta para demás actores académicos interesados en el tema.

Finalmente, es necesario explorar y adoptar tecnologías emergentes, como aprendizaje automático, para mejorar la adquisición y el enriquecimiento de datos, así como para impulsar el razonamiento y la inferencia en la ontología. Contar con el apoyo de más instituciones que conlleven a asegurar que la ontología costera sea interoperable y esté alineada con otras ontologías relevantes en el ámbito marino y medio ambiente. Esto permitirá una integración más eficiente con otros recursos semánticos y sistemas basados en ontologías.

7. Bibliografía

- Aalders, H., & Moellering, H. (2008). Spatial data infrastructure. *GEO: Connexion*, 7(6), 3.
- Alcaldía Distrital de Buenaventura. (2018). *De manera exitosa se instaló el Comité Local de Playas*. <https://www.buenaventura.gov.co/articulos/de-manera-exitosa-se-instalo-el-comite-local-de-playas>
- Antoniou, G., & Doerr, M. (2007). Web ontology languages. *Semantic Web Services: Theory, Tools and Applications*, 96–109. <https://doi.org/10.4018/978-1-59904-045-5.ch005>
- Apache Jena. (2023a). *Apache Jena - ARQ - Un procesador SPARQL para Jena*.
- Apache Jena. (2023b). *Apache Jena - Home*. <https://jena.apache.org/>
- Aussenac-Gilles, N., Despres, S., & Szulman, S. (2008). The TERMINAE Method and Platform for Ontology Engineering from Texts. *Ontology Learning and Population: Bridging the Gap between Text and Knowledge*, 166.
- Avella, F., Osorio, A., Parra, E., Burgos, S., Vilardy, S., Botero, C., Ramos, A., Mendoza, J., Sierra, P., López, Á., Alonso, D., Reyna, J., & Mojica, D. (2010). Gestión del litoral en Colombia. Reto de un país con tres costas. Barragán Muñoz, J.M. (coord). In *Manejo Costero Integrado y Política Pública en Iberoamérica: Un diagnóstico. Necesidad de Cambio*. (Red IBERMA).
- Barber, E. E., Pisano, S., Romagnoli, S., Gabriela de Pedro, G., Gregui, C., Blanco, N., & Mostaccio, M. R. (2018). *Metodologías para el diseño de ontologías web*. Información, Cultura y Sociedad: Revista Del Instituto de Investigaciones Bibliotecológicas, Núm. 39. <https://www.redalyc.org/journal/2630/263057241002/html/>
- Battle, R., & Kolas, D. (2012). GeoSPARQL: Enabling a Geospatial Semantic Web. *Semantic Web Journal*, 0(0), 1–17.
- Bermudez, L., Graybeal, J., & Arko, R. (2006). A marine platforms ontology: experiences and lessons. *The 2006 Workshop on Semantic Sensor Networks, May 2014*, <http://www.ict.csiro.au/ssn06/Data/marine.pdf>. <http://www.ict.csiro.au/ssn06/Data/marine.pdf>
- Bernabé-Poveda, C., & López-Vázquez, M. (n.d.). *Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE)*. BibliotecaOnline SL.
- Bernard, L., Einspanier, U., Haubrock, S., Hübner, S., Klien, E., Kuhn, W., Lessing, R., Lutz, M., & Visser, U. (2004). Ontology-based discovery and retrieval of geographic information in spatial data infrastructures. *Geotechnologien Science Report*, 4, 15–29.
- Blázquez, L., Pascual, A., & Bernabé, M. A. (2006). *Ingeniería ontológica: El camino hacia la mejora del acceso a la información geográfica en el entorno web*. 10. [http://books.google.com.ar/books?hl=es&lr=&id=P0b56AeYI4wC&oi=fnd&pg=PA95&dq=\(accesibilidad+web+AND+usabilidad+web+AND+arquitectura+de+la+informaci?n\)](http://books.google.com.ar/books?hl=es&lr=&id=P0b56AeYI4wC&oi=fnd&pg=PA95&dq=(accesibilidad+web+AND+usabilidad+web+AND+arquitectura+de+la+informaci?n)

+AND+bibliotecas&ots=XD-sRUwWAZ&sig=3Vf7QzgzhClkav5w1b-2-utod80

- Bontas, E. P., Mochol, M., & Tolksdorf, R. (2005). Case Studies on Ontology Reuse. *Proceedings of the IKNOW05 Citeseer*. www.destatis.de/allg/d/klassif/wz2003.htm,
- Botero, C., Hurtado, Y., González, J., Ojeda, M., & Díaz, L. H. (2008). Metodología de cálculo de la capacidad de carga turística como herramienta para la gestión ambiental y su aplicación en cinco playas del caribe norte Colombiano. *Gestión y Ambiente*, 11(3), 109–122.
- Brodeur, J., Edwards, G., Bédard, Y., & Moulin, B. (2003). Revisiting the concept of geospatial data interoperability within the scope of human communication processes. *Transactions in GIS*, 7(2), 243–265. <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00143>
- Budak, I. A., Sheth, A., Ramakrishnan, C., Lynn, U. E., Azami, M., & Kwan, M. P. (2006). Geospatial ontology development and semantic analytics. *Transactions in GIS*, 10(4), 551–575. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2006.01012.x>
- Budhathoki, N. R., Bruce, B., & Nedovic-Budic, Z. (2008). Reconceptualizing the role of the user of spatial data infrastructure. *GeoJournal*, 72(3–4), 149–160. <https://doi.org/10.1007/s10708-008-9189-x>
- Calle Jiménez, T. (2015). *Integración de un modelo de conocimiento ontológico en una infraestructura de datos espaciales: caso de estudio Centrogeo*. <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/45/1/25-2011-Tesis-Real%0ASánchez%2C%0AEdson%0AArmando-Maestro%0Aen%0AGeomática.pdf>
- Celliers, L., Rosendo, S., Coetzee, I., & Daniels, G. (2013). Pathways of integrated coastal management from national policy to local implementation: Enabling climate change adaptation. *Marine Policy*, 39(1), 72–86. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.10.005>
- CIOH. (2021). *Reseña histórica del SHN*. <https://www.cioh.org.co/index.php/es/resena-historica-del-shn.html>
- Colucci, E., & Spanò, A. (2020). *PATRIMONIO COSTRUITO A REVIEW OF SPATIAL ONTOLOGIES FOR URBAN AND ARCHITECTURAL*.
- Conti, L. A., Fonseca Filho, H., Turra, A., & Amaral, A. C. Z. (2018). Building a local spatial data infrastructure (SDI) to collect, manage and deliver coastal information. *Ocean and Coastal Management*, 164(February), 136–146. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.01.034>
- DANE. (2021). *Geoportal del DANE - Codificación Divipola*. <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/territorio/consulta-divipola-division-politico-administrativa-de-colombia/>
- Departamento Nacional de Planeación. (2009). Conpes 3582. *Consejo Nacional de Política*

Económica y Social, 68.

- Departamento Nacional de Planeación. (2020). *CONPES 3990 - Colombia Potencia Bioceánica Sostenible 2030*. 91.
- Díaz, J. M., & Acero, A. (2003, May 20). *Marine Biodiversity in Colombia: Achievements, Status of Knowledge, and Challenges*. *Gayana* 67(2).
https://www.researchgate.net/profile/Juan-Diaz-63/publication/262783370_Biodiversidad_marina_en_Colombia_Estado_actual_del_conocimiento_y_desafios_futuros/links/0c960529e900279fe5000000/Biodiversidad-marina-en-Colombia-Estado-actual-del-conocimiento-y-desafios-futuros.pdf
- Dimar. (2021a). *Acerca del Cecoldo | Centro Colombiano de Datos Oceanográficos*.
<https://cecoldo.dimar.mil.co/web/acercade>
- Dimar. (2021b). *Jurisdicción | Portal Marítimo Colombiano - Dimar*.
<https://www.dimar.mil.co/jurisdiccion>
- Dimar. (2021c). *Resolución No. 0054-2021 MD-Dimar-Subdemar 1 de febrero de 2021*. Ministerio de Defensa. https://ide.dimar.mil.co/IDE/Documents/Resolución_0054-2021_Creación_IDE.pdf
- Eclipse Foundation. (2021). *Eclipse Jetty | The Eclipse Foundation*.
<https://www.eclipse.org/jetty/>
- Esri. (2021). *¿Qué es ArcGIS? | ArcGIS Resource Center*.
<https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Federal Geographic Data Committee. (2021). *Asociación de Infraestructura Global de Datos Espaciales (GSDI)*. <https://www.fgdc.gov/international/gsdi>
- Fernández, M., Gómez-Pérez, A., & Juristo, N. (1997). METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. *AAAI Technical Report SS-97-06*. www.aaai.org
- Fileto, R. (2001). Issues on Interoperability and Integration of Heterogeneous Geographical Data. *Proceedings of the Third Brazilian Symposium on Geoinformatics, May*, 129–136.
- Fonseca, F., Camara, G., Monteiro, A. M., & Câmara, G. (2009). A Framework for Measuring the Interoperability of Geo-Ontologies. *Spatial Cognition & Computation: An Interdisciplinary Journal*, 6(4)(May 2013), 309–331.
<https://doi.org/10.1207/s15427633scc0604>
- Fundación Geoespacial de Código Abierto. (2020). *Inicio - GeoNetwork opensource*.
<https://geonetwork-opensource.org/>
- Gawich, M., Badr, A., Egypt, G., & Hegazy, A. (2012). A Methodology for Ontology Building. *International Journal of Computer Applications*, 56(2), 975–8887.
- Giorgetti, A., Partescano, E., Barth, A., Buga, L., Gatti, J., Giorgi, G., Iona, A., Lipizer, M.,

- Holdsworth, N., Larsen, M. M., Schaap, D., Vinci, M., & Wenzer, M. (2018). EMODnet Chemistry Spatial Data Infrastructure for marine observations and related information. *Ocean and Coastal Management*, 166(March), 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.03.016>
- Gruber, T. (1993). *Toward principles_ design Onto used for Knowledge sharing.pdf*.
- Gúzman, J. A., López, M., & Durley, I. (2012). Metodologías y métodos para la construcción de ontologías. *Scientia et Technica*, 50, 133–140.
- Hu, Y., & Li, W. (2017). Spatial Data Infrastructures. *Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge*, 2017(Q2). <https://doi.org/10.22224/gistbok/2017.2.1>
- Huang, D. M., Du, Y. L., Zhang, M. H., & Zhang, C. (2012). Application of ontology-based automatic ETL in marine data integration. *Proceedings - 2012 IEEE Symposium on Electrical and Electronics Engineering, EEESYM 2012*, 11–13. <https://doi.org/10.1109/EEESym.2012.6258574>
- Huang, D., Zhang, Q., Wang, J., Liotta, A., Song, W., & Zhu, J. (2019). Marine Information System Based on Ocean Data Ontology Construction. *Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2018*, 41671431, 2595–2601. <https://doi.org/10.1109/SMC.2018.00444>
- Huang, W., Raza, S. A., Mirzov, O., & Harrie, L. (2019). Assessment and benchmarking of spatially enabled RDF stores for the next generation of spatial data infrastructure. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(7), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ijgi8070310>
- Hyland, B., Atemezing, G., & Villazón-Terrazas, B. (2014, January 9). *Best Practices for Publishing Linked Data*. W3C Working Group Note ; Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1767-5_2
- ICONTEC. (2009). Norma Técnica NTS-TS Sectorial Colombiana. *Norma Técnica*, 571, 20. <https://www.citur.gov.co/publicaciones?s=N&page=2#gsc.tab=0>
- ICSM. (2021). *Australian Spatial Data Infrastructure (ASDI) | Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping*. <https://www.icsm.gov.au/australian-spatial-data-infrastructure-asdi>
- IDECA. (2021). *[La IDE de Bogotá] | [Ideca]*. <http://www.ideca.gov.co/sobre-ideca/la-ide-de-bogota>
- IDEE. (2021). *Geoportal IDEE*. <https://www.ideo.es/web/guest/presentacion>
- IEEE. (1990). IEEE Standard Glossary of Data Management Terminology. In *Data Management*.
- IHO. (2017). *SPATIAL DATA INFRASTRUCTURES " THE MARINE DIMENSION " Guidance for Hydrographic Offices*. 1–45.

- IHO. (2018). International Hydrographic Organization Regulations of The IHO for International (INT) Charts. *International Hydrographic Organization*, 4(September), 1–435. https://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-4/S-4_e4.4.0_EN_Sep13.pdf
- IHO. (2021). *S-100 Universal Hydrographic Data Model* | IHO. NORMAS TÉCNICAS DE LA OHI. <https://iho.int/en/s-100-universal-hydrographic-data-model>
- INSPIRE. (2021). *About INSPIRE* | INSPIRE. <https://inspire.ec.europa.eu/about-inspire/563>
- ISO. (2009a). ISO/TC 211 N 2705. Report from stage 0 Project 19150 Geographic information - Ontology. *Geographic Information/Geomatics*. <http://www.isotc211.org/protodoc/211n2705/>
- ISO. (2009b). ISO 19126: Geographic information — Feature concept dictionaries and registers. *International Standard, 19126:2009*, 13.
- ISO. (2009c). Norma ISO 19119 - Servicios. *Instituto Geográfico Nacional - IGN, Prosigua Idera*.
- ISO. (2012). Geographic information — Ontology — Part 1: Framework. *TECHNICAL SPECIFICATION, 19150-1:20*.
- Jackson, R. C., Balhoff, J. P., Douglass, E., Harris, N. L., Mungall, C. J., & Overton, J. A. (2019). ROBOT: A Tool for Automating Ontology Workflows. *BMC Bioinformatics*, 20(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12859-019-3002-3>
- Jung, C. Te, Sun, C. H., & Yuan, M. (2013). An ontology-enabled framework for a geospatial problem-solving environment. *Computers, Environment and Urban Systems*, 38(1), 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.10.008>
- Klien, E., & Probst, F. (2005). Requirements for geospatial ontology engineering. *Proceedings 2005 - The 8th AGILE International Conference on Geographic Information Science, AGILE 2005*.
- Kokla, M., & Guilbert, E. (2020). A review of geospatial semantic information modeling and elicitation approaches. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/ijgi9030146>
- Lacasta, J., Noguerras-Iso, J., Béjar, R., Muro-Medrano, P. R., & Zarazaga-Soria, F. J. (2007). A Web Ontology Service to facilitate interoperability within a Spatial Data Infrastructure: Applicability to discovery. *Data and Knowledge Engineering*, 63(3), 947–971. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2007.06.002>
- Ladino, W., & Sembergman, L. (2015). *Políticas y administración pública de las playas del caribe colombiano, 2005-2015*. 2005–2015.
- Lamarca, M. J. (2018a). *HTML. Hipertexto: El nuevo concepto de documento en la cultura de la imagen*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid; Lamarca Lapuente. <http://www.hipertexto.info/documentos/html.htm>

- Lamarca, M. J. (2018b). XML. Hipertexto: El nuevo concepto de documento en la cultura de la imagen. *Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid*. <http://www.hipertexto.info/documentos/xml.htm>
- Lastra, R. E., & Vergara, A. R. (2019). *Territorios líquidos de Colombia. Espacios marítimos e insulares ante la legislación nacional e internacional*. <https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/f41d82e8-063d-4fa3-8188-24d24306b6cc/content>
- Leadbetter, A., Hamre, T., Lowry, R., Lassoued, Y., & Dunne, D. (2010). Ontologies and ontology extension for marine environmental information systems. *CEUR Workshop Proceedings, 679*, 1–8.
- Lutz, M., Sprado, J., Klien, E., Schubert, C., & Christ, I. (2009). Overcoming semantic heterogeneity in spatial data infrastructures. *Computers and Geosciences, 35*(4), 739–752. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.09.017>
- Martinez, M. J. (2016). *Armonización semántica de conocimiento asociado a geoformas estructurales presentes en la cartografía temática de Colombia, mediante la construcción de una ontología*.
- Montaño Hurtado, J. L., & Nieto Gómez, L. E. (2018). Factores internos que afectan la competitividad internacional del puerto de Buenaventura, Colombia. *Libre Empresa, 15*(1), 103–118. <https://doi.org/10.18041/1657-2815/libreempresa.2018v15n1.3159>
- Morales, R. (2014). *Qué son los esquemas XSD*. <https://www.ticarte.com/contenido/que-son-los-esquemas-xsd>
- Muñoz, J., & Gómez, M. B. (2016). Las Infraestructuras de Datos Espaciales asociadas a la información meteorológica con fines turísticos: diseño conceptual de un geoportal temático. *Geofocus, 17*, 93114.
- NASA. (2021). *Global Change Master Directory (GCMD) Keywords*. Earthdata Open Access for Open Science. <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/find-data/idn/gcmd-keywords>
- NETMAR. (2021). *Overview | NETMAR*. Open Service Network for Marine Environmental Data. <https://netmar.nersc.no/>
- Nowak Da Costa, J., Nogueras-Iso, J., & Peedell, S. (2005). *Issues of multilinguality in creating a European SDI-The perspective for spatial data interoperability*.
- Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2005). *Desarrollo de Ontologías-101: Guía Para Crear Tu Primera*. Stanford University, Stanford, CA, 94305. <https://silو.tips/download/desarrollo-de-ontologias-101-guia-para-crear-tu-primera>
- Noy, Natalya F., & McGuinness, D. L. (2001). Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. *Stanford Knowledge Systems Laboratory, 25*. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2004.01.014>

- ODV. (2020). *Ocean Data View*. <https://odv.awi.de/>
- OGC. (2021). *Glossary of Terms - I | OGC*. <https://www.ogc.org/ogc/glossary/i>
- OGC, & IHO. (2019). REPORT: Development of Spatial Data Infrastructures for Marine Data Management. OGC - IHO Marine SDI Concept Development Study. *OGC® Engineering Report*, 1–112.
- OMI. (2020). *Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974*. [https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)%2C-1974.aspx%0Ahttp://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-](https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)%2C-1974.aspx%0Ahttp://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-)
- OpenRefine. (2023). *OpenRefine About* (p. <https://openrefine.org/>).
- Oracle. (2023). Berkeley DB. In *RefCardz* (pp. 1–6).
- Pan, Y.-J., Kao, J.-C., & Yu, T.-C. (2016). Design and Implementation of Marine Information System, and Analysis of Learner's Intention Toward. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12(5), 1221–1229. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1508a>
- Park, D. W., Kwon, H. C., & Park, S. (2013). Ontology for semantic representation of marine metadata. *Proceedings of the 7th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, ICUIMC 2013*, 1–7. <https://doi.org/10.1145/2448556.2448622>
- Pastrana, E., Reith, S., & Cabrera, F. (2020). *Identidad e intereses nacionales de Colombia*. Fundación Konrad Adenauer Stiftung: Escuela Superior de Guerra. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/65140827/IDENTIDAD_E_INTERESES_NACIONALES_DE_COLOMBIA-libre.pdf?1607524049=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIDENTIDAD_E_INTERESES_NACIONALES_DE_COLOMBIA-libre.pdf&Expires=1680821743&Signature=OJDd0W6ipj6GGkOe7rnLqn2WUCqCAYbv5sRrVQ9LUINCzgGgWGPhWwd~2GJPNVnf6gOGIAVXDDb2BrUBi8lnSR6cAQoWZohZT8Kpi3Wnbfzl1CusyGMacWSvM0tT4ReavIUy72o23Mz3FCCZYC5F3eSW~uDyvUK4KGXMz6kNS6lsPdIxkx1nJYzW1WI6czZh9jt3QZG-6gVp5uBKyQbZ-Xv-NCdQSsle3emqkaAjechL5cfyk8TnKJpLNydfGK6SS7OjDXXajv43A0IUORVJkaikrKDWyIXnQnQHd6e4PLWSeJ7T-tT1RoUgeDp-mF~f31ilFfKtP8rTfjLSbqyxGgA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=403
- Peters, K. (2020). The territories of governance: Unpacking the ontologies and geophilosophies of fixed to flexible ocean management, and beyond: The territories of governance. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1814). <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0458>
- Poveda-Villalón, M., Suárez-Figueroa, M. C., & Gómez-Pérez, A. (2012). Validating Ontologies with OOPS ! State of the Art. *Knowledge Engineering and Knowledge*

Management, 267–281.

- Rangel-Ch, J. O. (2015). La biodiversidad de Colombia: significado y distribución regional. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* .
<https://doi.org/10.18257/raccefyn.136>
- Raskin, R., & Pan, M. (2003). *Semantic Web for Earth and Environmental Terminology (SWEET)*.
- Real Academia Española. (2021a). *ontología | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE*. <https://dle.rae.es/ontología?m=form>
- Real Academia Española. (2021b). *semántico, semántica | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE*. <https://dle.rae.es/semántico#XVRDns5>
- Robinson, D., & Botero, J. (2010). Contextos históricos y culturales . *Velorio y Santos Vivos - Itinerante Comunidades Negras, Afrocolombianas, Raizales y Palenqueras*.
- Rondón, J. D., Vilches, L. M., & Cangrejo, D. (2018). *Generación y publicación de Linked Data para el monitoreo de la calidad ambiental del agua*. 128.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63421>
- Ronzhin, S., Folmer, E., Lemmens, R., Mellum, R., Ellett Von Brasch, T., Martin, E., Romero, E. L., Kytö, S., Hietanen, E., & Latvala, P. (2019). Next Generation of Spatial Data Infrastructure: Lessons from Linked Data implementations across Europe. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 14, 83–107.
<https://doi.org/10.2902/1725-0463.2019.14.art4>
- Servicio Hidrográfico, & CIOH. (2015). *Generación de la cartografía náutica del país y su aporte al desarrollo marítimo*. 9–11.
- Stamoulis, K. A., & Delevaux, J. M. S. (2015). Data requirements and tools to operationalize marine spatial planning in the United States. *Ocean and Coastal Management*, 116, 214–223. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.07.011>
- Stanford University. (2020). *Protégé*. <https://protege.stanford.edu/products.php>
- Sun, K., Zhu, Y., Pan, P., Hou, Z., Wang, D., Li, W., & Song, J. (2019). Geospatial data ontology: the semantic foundation of geospatial data integration and sharing. *Big Earth Data*, 3(3), 269–296. <https://doi.org/10.1080/20964471.2019.1661662>
- Sure, Y., Erdmann, M., Angele, J., Staab, S., Studer, R., & Wenke, D. (2002). OntoEdit: Collaborative ontology development for the semantic web. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2342 LNCS, 221–235. https://doi.org/10.1007/3-540-48005-6_18
- Sure, Y., Staab, S., & Studer, R. (2004). On-To-Knowledge Methodology (OTKM). *Handbook on Ontologies*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Usmani, A. U., Jadidi, M., & Sohn, G. (2020). Automatic ontology generation of BIM and GIS

- data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B4), 77–80. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2020-77-2020>
- Vilches, L. M. (2011). *Metodología para la integración basada en ontologías de información de bases de datos heterogéneas en el dominio hidrográfico*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Vilches, L. M., Cañete, J. A., Corcho, O., & Bernabé, M. A. (2008). Interrelaciones entre las tecnologías de la información geográfica y la ingeniería ontológica para la mejora de la gestión de los recursos geo-espaciales. *Tecnologías de La Información Geográfica Para El Desarrollo Territorial. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de La ULPGC*, 194–206.
- W3C. (2010). *Linked Open Data - W3C eGovernment Wiki*. https://www.w3.org/egov/wiki/Linked_Open_Data
- W3C. (2013). *OWL - Estándares de Web Semántica*. <https://www.w3.org/OWL/>
- W3C. (2014). *RDF - Estándares de Web Semántica*. <https://www.w3.org/RDF/>
- Wang, X., Xu, J., Liu, M., Wei, Z., Bu, W., & Hong, T. (2017). An ontology-based approach for marine geochemical data interoperation. *IEEE Access*, 5(c), 13364–13371. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2724641>
- Wright, D. J. (2010). Spatial Data Infrastructures for Coastal Environments. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009*, 418. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88183-4>
- Xue, X., & Chen, J. (2019). Matching biomedical ontologies through compact differential evolution algorithm. *Systems Science and Control Engineering*, 7(2), 85–89. <https://doi.org/10.1080/21642583.2019.1647898>
- Zhang, C. (2019). Ontology for Geospatial Semantic Interoperability. *Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge*, 2019(Q4). <https://doi.org/10.22224/gistbok/2019.4.9>
- Zhang, S. (2019). Public participation in the Geoweb era: Defining a typology for geo-participation in local governments. *Cities*, 85(December 2018), 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.12.004>
- Zhu, Q., & He, Z. (2011). Construction of geo-information conceptual classification system based on ontology. *Proceedings - 2011 19th International Conference on Geoinformatics, Geoinformatics 2011*. <https://doi.org/10.1109/Geoinformatics.2011.5980755>