



VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Departament
d'Informàtica

Programa de Doctorat en Tecnologies de la
Informació, Comunicacions i Computació

TESIS DOCTORAL

*Infraestructura de datos abiertos basada en
tecnologías semánticas para la gestión
inteligente de incidencias de tráfico en carretera
y variables meteorológicas*

Autor

Julián Gutiérrez Moret

Directores:

Dr. Jose Javier Samper Zapater

Dr. Juan José Martínez Dura

20 de enero de 2025



VNIVERSITAT
D VALÈNCIA

(ETSE-UV) 100 ANYS
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria

INFORME DIRECTORES/AS Y TUTOR/A PARA DEPÓSITO DE TESIS

Director (es) / Codirector (es):

1.- Apellidos y nombre: SAMPER ZAPATER, JOSE JAVIER N.I.F. 33401090F

Departamento: Informática

Centro: ETSE, UV

2.- Apellidos y nombre: MARTÍNEZ DURÁ, JUAN JOSÉ

N.I.F. 24327106Y

Departamento: Informática

Centro: ETSE, UV

Tutor:

1.- Apellidos y nombre: JOSE JAVIER SAMPER ZAPATER N.I.F. 33401090F

Departamento/Instituto: INFORMÁTICA

Centro: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Directores/as y tutor/a, respectivamente, de la tesis doctoral:

“Infraestructura de datos abiertos basada en tecnologías semánticas para la gestión inteligente de incidencias de tráfico en carretera y variables meteorológicas.”

realizada por

D. Julián Gutiérrez Moret,

estudiante del Programa de Doctorado **3159 Technologies de la Informació, Comunicació i Computació** (RD99/2011) de la Universitat de València, emiten informe **FAVORABLE** para la realización del depósito y la defensa de la tesis doctoral.

Fecha: 20 de enero de 2024

JOSE

Firmado

JAVIER
SAMPER

digitalmente por
JOSE JAVIER
SAMPER|ZAPATER

ZAPATER

Fecha: 2025.01.20
12:12:19 +01'00'

Fdo.: Dr. Jose Javier Samper Zapater
Director/Tutor

MARTINEZ

Firmado
digitalmente por

DURA, JUAN

MARTINEZ DURA,
JUAN JOSE (FIRMA)

JOSE (FIRMA)

Fecha: 2025.01.20
12:31:52 +01'00'

Fdo.: Dr. Juan José Martínez Durá
Director

A mi padre,
que aunque ya no está conmigo, sé que estaría orgulloso de este paso que estoy dando.
Siempre me animó a seguir adelante con el doctorado, y hoy agradezco cada palabra de
aliento y cada ejemplo de esfuerzo que me dio en vida. Este camino lo recorro también
pensando en él.

A las mujeres de mi vida,
mi madre Amparo, por ser el pilar que siempre ha sostenido mis sueños,
mi esposa Merche, por su amor incondicional y su apoyo constante,
y mi hija Virginia, quien me inspira a superarme cada día.

A mis familiares y amigos,
por estar siempre a mi lado, alentándome en los momentos difíciles y celebrando cada
pequeño logro conmigo.

Este esfuerzo y dedicación no habría sido posible sin ellos.

AGRADECIMIENTOS

A mis directores de tesis, **Javier Samper** y **Juan José Martínez**, por su guía, apoyo y confianza durante todo este proceso. Su experiencia y sabios consejos han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

A **José Macario**, quien desempeñó un papel clave en las labores de gestión durante el proyecto CEF **LOD-RoadTran18**. Su apoyo continuo, especialmente en recomendaciones relacionadas con la elaboración de artículos de investigación y en el desarrollo de mi tesis, ha sido invaluable. También extendiendo mi gratitud a todo el equipo de CEF **LOD-RoadTran18**, cuyo esfuerzo y dedicación hicieron posible la realización de este proyecto.

A **Enrique Bonet**, responsable de sistemas, por su constante disposición y ayuda. Gracias por facilitarme entornos, herramientas de desarrollo y servidores que han sido imprescindibles para el desarrollo de esta tesis, así como por resolver cualquier necesidad técnica y docente.

A **Ramón Cirilo**, por su dedicación y por estar siempre disponible para cualquier consulta relacionada con la docencia en bases de datos y por sus consejos, siempre prácticos y oportunos.

A **Alejandro Reyes**, compañero y amigo en LSYM dentro de IRTIC, por su apoyo incondicional tanto en lo profesional como en lo personal. Su cercanía y disposición han sido un pilar en este camino.

A **Francisco Soriano** y **Nacho Sánchez**, por las risas y buenos momentos compartidos en el primer café de cada mañana. Esos instantes de desconexión han sido un motor para seguir adelante con energía renovada.

A los ya doctores **José García** (de LISITT), y a **Javier Sevilla**, **José Vicente Riera**, **Jesús Gimeno** y **Sergio Casas** (de ARTEC), por su ayuda y paciencia con todo el tema burocrático. Su experiencia y consejos han facilitado enormemente este proceso.

A todo el equipo del **IRTIC**, por ser un entorno profesional y humano en el que siempre he encontrado colaboración, motivación y apoyo para avanzar en mis investigaciones.

A mi **familia**, por su amor incondicional y por ser siempre mi refugio y mi fuerza. Sin su apoyo, este camino habría sido mucho más difícil.

A mis **amigos**, por estar a mi lado en todo momento, recordándome que los grandes logros se celebran mejor cuando se comparten.

A todos vosotros, gracias por ser parte de este camino, por vuestro apoyo, vuestra paciencia y vuestra confianza. Esta tesis es también fruto de vuestro acompañamiento y generosidad.

RESUMEN

En esta tesis se ha desarrollado una arquitectura avanzada para la publicación, consulta y visualización de información de incidentes de tráfico en el contexto de la seguridad vial (SRTI), utilizando un enfoque basado en Linked Open Data (LOD). Este trabajo se sitúa en la intersección entre la innovación tecnológica y la investigación aplicada, resolviendo desafíos complejos relacionados con la integración, reutilización y federación de datos provenientes de dominios heterogéneos como el tráfico, la meteorología y las infraestructuras viales.

Gran parte de este desarrollo se enmarca en el proyecto europeo **CEF LOD-RoadTran18**, cuyo objetivo principal es facilitar la reutilización de datos dinámicos de tráfico en dos Estados Miembros, España y la República Checa, y promover su publicación en el **Portal Europeo de Datos Abiertos** mediante el uso de tecnologías LOD. Este enfoque apoya los esfuerzos de la Unión Europea para hacer que los datos sean findable, accessible, interoperable y reusable (FAIR), conectando sectores como el transporte y la meteorología a través de la interoperabilidad semántica.

El trabajo comienza con la semantización automática de datos de tráfico en formato DATEX II XML SRTI, transformándolos en RDF mediante un pipeline desarrollado en Apache Jena. Este proceso está respaldado por una ontología específica para incidentes de tráfico, diseñada como parte de esta investigación, que asegura una estructuración semántica consistente y facilita su integración en entornos interoperables. Además, se ha llevado a cabo la semantización de datos de carreteras proporcionados por el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible en formato Excel, empleando procesos R2RML para convertirlos a RDF, así como la generación de instancias RDF de las unidades administrativas de España (Comunidades Autónomas, provincias y municipios), lo que añade una capa geopolítica esencial para contextualizar los incidentes de tráfico.

Uno de los aspectos innovadores de esta tesis es la integración de datos meteorológicos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), los cuales han sido semantizados y convertidos a RDF mediante SPARQL Anything. Posteriormente, estos datos se han vinculado con los incidentes de tráfico a través de estándares como GeoSPARQL en Virtuoso, proporcionando información climática tanto en tiempo real como en el momento en que ocurrieron los incidentes. Esta capacidad para enlazar datos meteorológicos y geoespaciales en tiempo real enriquece significativamente el valor de la información, permitiendo un análisis más profundo y contextualizado, lo que resulta particularmente útil para las autoridades de tráfico, gestores de infraestructuras y otros interesados.

Como parte de la publicación de datos abiertos, esta investigación también aborda la federación de datos mediante su publicación en el Portal Europeo de Datos Abiertos y el Portal de Datos Abiertos de España, garantizando que los datos sean accesibles para un público amplio, promoviendo su reutilización y generando impacto a nivel europeo.

Adicionalmente, la arquitectura desarrollada incorpora un sistema de visualización avanzada en Power BI, que consume datos desde APIs REST y ofrece cuadros de mando interactivos basados en información procesada semánticamente. Las APIs, diseñadas con Python FastAPI, permiten el acceso a datos en formato JSON, facilitando la integración con aplicaciones de terceros. Además, se ha integrado un sistema de visualización geográfica en tiempo real utilizando Angular y Leaflet, lo que ofrece mapas interactivos para explorar incidentes de tráfico, condiciones meteorológicas y características viales de manera intuitiva y dinámica.

La solución también incluye la implementación de reglas SWRL (Semantic Web Rule Language) para realizar inferencias automáticas sobre los datos. Estas reglas permiten, por ejemplo,

identificar condiciones de riesgo derivadas de patrones climáticos y de tráfico, así como generar nuevo conocimiento a partir de la información ya existente. Este enfoque basado en inferencias proporciona una herramienta valiosa para mejorar la toma de decisiones en tiempo real y enriquecer los sistemas de gestión de tráfico con análisis predictivo y reactivo.

Importancia y enfoque de investigación

Esta tesis se posiciona dentro del ámbito de la investigación aplicada, abordando problemas prácticos con soluciones innovadoras basadas en tecnologías avanzadas. Sus principales contribuciones incluyen:

- Un modelo semántico integrado que permite estructurar y vincular datos heterogéneos, como incidentes de tráfico, datos meteorológicos y características geoespaciales.
- Un marco para la publicación de datos abiertos y federados, alineado con los estándares europeos, lo que asegura que la información generada sea interoperable, accesible y reutilizable a nivel internacional.
- Herramientas analíticas y de visualización avanzadas, como cuadros de mando en Power BI y mapas interactivos, que permiten explorar y comprender los datos en tiempo real de forma intuitiva y efectiva.

La investigación se distingue por su capacidad para resolver problemas complejos relacionados con la integración y federación de datos, utilizando estándares y tecnologías semánticas como RDF, GeoSPARQL y SPARQL Anything, así como su aplicación práctica en el contexto del proyecto CEF LOD-RoadTran18. Este enfoque no solo facilita la interoperabilidad de los datos, sino que también promueve la creación de servicios avanzados para la gestión de tráfico y la seguridad vial.

Además, la publicación de los datos en portales abiertos europeos y nacionales permite que esta solución sea escalable y replicable, contribuyendo a la estandarización de los datos de tráfico y su análisis en un contexto global. La validación de la arquitectura desarrollada a través de pruebas en entornos reales demuestra su viabilidad técnica, destacando su potencial para mejorar la seguridad vial, la movilidad inteligente y la interoperabilidad de los datos en toda Europa.

En conclusión, esta tesis no solo representa un avance significativo en el ámbito de la movilidad inteligente y la gestión de datos abiertos, sino que también proporciona una solución práctica y escalable con un impacto tangible en la seguridad vial y la interoperabilidad de datos, posicionándose como una contribución relevante tanto para la academia como para la industria.

RESUM

En aquesta tesi s'ha desenvolupat una arquitectura avançada per a la publicació, consulta i visualització d'informació sobre incidents de trànsit en el context de la seguretat viària (SRTI), utilitzant un enfocament basat en Linked Open Data (LOD). Aquest treball se situa en la intersecció entre la innovació tecnològica i la investigació aplicada, resolent desafiaments complexos relacionats amb la integració, reutilització i federació de dades provinents de dominis heterogenis com el trànsit, la meteorologia i les infraestructures viàries.

Gran part d'aquest desenvolupament s'emmarca en el projecte europeu CEF LOD-RoadTran18, l'objectiu principal del qual és facilitar la reutilització de dades dinàmiques de trànsit en dos Estats Membres, Espanya i la República Txeca, i promoure'n la publicació al Portal Europeu de Dades Obertes mitjançant l'ús de tecnologies LOD. Aquest enfocament recolza els esforços de la Unió Europea per fer que les dades siguin trotables, accessibles, interoperables i reutilitzables (FAIR), connectant sectors com el transport i la meteorologia a través de la interoperabilitat semàntica.

El treball comença amb la semantització automàtica de dades de trànsit en format DATEX II XML SRTI, transformant-les en RDF mitjançant un pipeline desenvolupat amb Apache Jena. Aquest procés està recolzat per una ontologia específica per a incidents de trànsit, dissenyada com a part d'aquesta investigació, que assegura una estructuració semàntica consistent i facilita la integració en entorns interoperables. A més, s'ha dut a terme la semantització de dades de carreteres proporcionades pel Ministeri de Foment en format Excel, utilitzant processos R2RML per convertir-les a RDF, així com la generació d'instàncies RDF de les unitats administratives d'Espanya (comunitats autònomes, províncies i municipis), afegint una capa geopolítica essencial per contextualitzar els incidents de trànsit.

Un dels aspectes innovadors d'aquesta tesi és la integració de dades meteorològiques proporcionades per l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET), que han estat semantitzades i convertides a RDF mitjançant SPARQL Anything. Posteriorment, aquestes dades s'han vinculat amb els incidents de trànsit a través d'estàndards de GeoSPARQL en Virtuoso, proporcionant informació climàtica tant en temps real com en el moment en què es van produir els incidents. Aquesta capacitat per enllaçar dades meteorològiques i geoespaciales en temps real enriqueix significativament el valor de la informació, permetent una anàlisi més profunda i contextualitzada, especialment útil per a les autoritats de trànsit, gestors d'infraestructures i altres interessats.

Com a part de la publicació de dades obertes, aquesta investigació també aborda la federació de dades mitjançant la seva publicació al Portal Europeu de Dades Obertes i al Portal de Dades Obertes d'Espanya, garantint que les dades siguin accessibles a un públic ampli, promovent-ne la reutilització i generant impacte a nivell europeu.

A més, l'arquitectura desenvolupada incorpora un sistema de visualització avançada en Power BI, que consumeix dades des d'APIs REST i ofereix panells interactius basats en informació processada semànticament. Les APIs, dissenyades amb Python FastAPI, permeten l'accés a dades en format JSON, facilitant la integració amb aplicacions de tercers. També s'ha integrat un sistema de visualització geogràfica en temps real utilitzant Angular i Leaflet, que ofereix mapes interactius per explorar incidents de trànsit, condicions meteorològiques i característiques viàries de manera intuïtiva i dinàmica.

La solució també inclou la implementació de regles SWRL (Semantic Web Rule Language) per realitzar inferències automàtiques sobre les dades. Aquestes regles permeten, per exemple, identificar condicions de risc derivades de patrons climàtics i de trànsit, així com generar nou

coneixement a partir de la informació existent. Aquest enfocament basat en inferències proporciona una eina valuosa per millorar la presa de decisions en temps real i enriquir els sistemes de gestió de trànsit amb anàlisis predictius i reactius.

Importància i enfocament de la investigació

Aquesta tesi se situa dins l'àmbit de la investigació aplicada, abordant problemes pràctics amb solucions innovadores basades en tecnologies avançades. Les seves principals contribucions inclouen:

- Un model semàntic integrat que permet estructurar i vincular dades heterogènies, com incidents de trànsit, dades meteorològiques i característiques geoespacials.
- Un marc per a la publicació de dades obertes i federades, alineat amb els estàndards europeus, que assegura que la informació generada sigui interoperable, accessible i reutilitzable a nivell internacional.
- Eines analítiques i de visualització avançades, com panells en Power BI i mapes interactius, que permeten explorar i entendre les dades en temps real de forma intuïtiva i efectiva.

En conclusió, aquesta tesi no només representa un avanç significatiu en l'àmbit de la mobilitat intel·ligent i la gestió de dades obertes, sinó que també proporciona una solució pràctica i escalable amb un impacte tangible en la seguretat viària i la interoperabilitat de dades, posicionant-se com una contribució rellevant tant per a l'acadèmia com per a la indústria.

ABSTRACT

This thesis has developed an advanced architecture for the publication, querying, and visualization of traffic incident information within the context of road safety (SRTI), employing a Linked Open Data (LOD) approach. This work sits at the intersection of technological innovation and applied research, addressing complex challenges related to the integration, reuse, and federation of data from heterogeneous domains such as traffic, meteorology, and road infrastructures.

Much of this development is framed within the European CEF LOD-RoadTran18 project, whose primary objective is to facilitate the reuse of dynamic traffic data in two Member States, Spain and the Czech Republic, and promote its publication in the European Open Data Portal using LOD technologies. This approach supports the European Union's efforts to make data findable, accessible, interoperable, and reusable (FAIR), connecting sectors like transportation and meteorology through semantic interoperability.

The work begins with the automatic semantic annotation of traffic data in DATEX II XML SRTI format, transforming it into RDF through a pipeline developed in Apache Jena. This process is supported by a specific ontology for traffic incidents, designed as part of this research, ensuring consistent semantic structuring and facilitating integration into interoperable environments. Additionally, road data provided by Spain's Ministry of Transport in Excel format was semantically processed and converted to RDF using R2RML processes. RDF instances of Spain's administrative units (autonomous communities, provinces, and municipalities) were also generated, adding an essential geopolitical layer to contextualize traffic incidents.

An innovative aspect of this thesis is the integration of meteorological data provided by the Spanish Meteorological Agency (AEMET), semantically annotated and converted to RDF using SPARQL Anything. Subsequently, this data was linked to traffic incidents using GeoSPARQL standards in Virtuoso, providing weather information both in real-time and at the time of the incidents. This capability to link meteorological and geospatial data in real-time significantly enriches the information's value, enabling deeper and more contextualized analysis, particularly beneficial for traffic authorities, infrastructure managers, and other stakeholders.

As part of open data publication, this research also addresses data federation through publication on the European Open Data Portal and Spain's Open Data Portal, ensuring broad accessibility, promoting reuse, and creating impact at a European level.

Additionally, the developed architecture incorporates an advanced visualization system in Power BI, consuming data via REST APIs and offering interactive dashboards based on semantically processed information. APIs designed with Python FastAPI provide access to data in JSON format, facilitating integration with third-party applications. Furthermore, a real-time geographic visualization system using Angular and Leaflet offers interactive maps to explore traffic incidents, weather conditions, and road features in an intuitive and dynamic manner.

The solution also includes the implementation of SWRL (Semantic Web Rule Language) rules to perform automatic inferences on the data. These rules enable, for example, the identification of risk conditions derived from traffic and weather patterns, as well as the generation of new knowledge from existing information. This inference-based approach provides a valuable tool to improve real-time decision-making and enrich traffic management systems with predictive and reactive analysis.

Research Importance and Focus

This thesis is positioned within the field of applied research, addressing practical problems with innovative solutions based on advanced technologies. Its main contributions include:

- *An integrated semantic model for structuring and linking heterogeneous data, such as traffic incidents, meteorological data, and geospatial features.*
- *A framework for open and federated data publication aligned with European standards, ensuring that the generated information is interoperable, accessible, and reusable internationally.*
- *Advanced analytical and visualization tools, such as Power BI dashboards and interactive maps, enabling real-time exploration and understanding of data in an intuitive and effective way.*

In conclusion, this thesis represents a significant advancement in smart mobility and open data management, providing a practical and scalable solution with tangible impact on road safety and data interoperability. It positions itself as a relevant contribution for both academia and industry.

INDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN	1
1.1	Definición del problema	1
1.2	Hipótesis de investigación	2
1.3	Objetivos generales	3
1.4	Objetivos Específicos	5
1.5	Metodología de investigación	7
1.6	Estructura de la memoria	9
2	ESTADO DEL ARTE	11
2.1	Introducción	11
2.2	Directivas y reglamentos europeos	11
2.2.1	Directiva PSI: Reutilización de la Información del Sector Público	11
2.2.2	Directiva ITS 2010/40/UE	12
2.2.3	Relación entre Directivas PSI e ITS	16
2.2.4	Análisis del marco legal en España	18
2.2.5	Conclusiones Generales	25
2.3	Análisis de la implementación de las Directivas ITS considerando la directiva PSI	25
2.3.1	Introducción a la implementación de la Directiva PSI en España	25
2.3.2	Análisis de la implementación sectorial de la directiva PSI	28
2.3.3	Implementación de las acciones prioritarias de la Directiva ITS en España	34
2.3.4	Casos de estudio	36
2.3.5	Resumen de las características de los Puntos de Acceso Nacional (NAP)	46
2.3.6	Conclusiones	49
2.4	Análisis español de los enfoques de metadatos en los contextos de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS) y Datos Abiertos.	50
2.4.1	Estándar Técnico para la Interoperabilidad de recursos técnicos	50
2.4.2	Casos de estudio	54
2.4.3	Conclusiones	57
2.5	Análisis y revisión de los modelos utilizados para el tráfico por carretera en Europa	58
2.5.1	Análisis de los modelos DATEX II y herramientas	58
2.5.2	Análisis del uso LOD DATEX II	65
3	TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON LA WEB SEMANTICA	77
3.1	Introducción	77
3.2	Análisis de tecnologías relacionadas con la web semántica	77
3.2.1	Virtuoso SPARQL Endpoint	77
3.2.2	Fuseki	79
3.2.3	Jena	81

3.2.4	Eclipse RDF4J	84
3.2.5	RDFLib.....	87
3.2.6	D2RQ: Herramienta de Mapeo Relacional a RDF	89
3.2.7	Protégé: Herramienta de Modelado Ontológico	91
3.2.8	Pentaho Data Integration (PDI): Herramienta ETL para Integración de Datos ...	93
3.2.9	Python FastAPI	95
3.2.10	JAXB (Java Architecture for XML Binding): Conversión de Datos XML a Objetos Java	98
3.2.11	CKAN.....	100
3.2.12	LODView	103
3.2.13	SPARQL Anything.....	105
3.2.14	WIDOCO	108
3.3	Conclusiones.....	109
4	ONTOLOGÍAS RELACIONADAS CON SRTI.....	111
4.1	Introducción a las Ontologías Relacionadas con SRTI	111
4.2	Justificación de la Creación de Ontologías	111
4.3	Relación entre las Ontologías.....	112
4.4	Metodología de diseño	112
4.5	Methontology.....	113
4.5.1	Fases de la Metodología Methontology.....	114
4.5.2	Documentación y Revisión en Methontology	115
4.6	Diseño y construcción de una Ontología de Unidades Administrativas	116
4.6.1	Fase de Especificación	116
4.6.2	Fase de Conceptualización: Ontología de Unidades Administrativas	119
4.6.3	Fase de Formalización: Ontología de Unidades Administrativas	124
4.6.4	Fase de Construcción: Ontología de Unidades Administrativas	127
4.7	Diseño y construcción de una Ontología de Carreteras.....	136
4.7.1	Fase de Especificación	137
4.7.2	Fase de Conceptualización: Ontología de Carreteras	141
4.7.3	Formalización de la Ontología de Carreteras.....	145
4.7.4	Fase de Construcción: Ontología de Carreteras.....	147
4.8	Diseño y construcción de una Ontología SRTI.....	154
4.8.1	Fase de Especificación	154
4.8.2	Fase de Conceptualización	162
4.8.3	Fase de Formalización	179
4.8.4	Fase de Construcción	189

4.9	Conclusiones Generales de las Ontologías Relacionadas con SRTI	210
5	ARQUITECTURA DEL SISTEMA	213
5.1	Resumen.....	213
5.2	Definición de interfaces en España	213
5.3	Diseño y componentes de la arquitectura de información de tráfico LOD	218
5.3.1	Conversor LOD.....	219
5.3.2	Federación del grafo de incidentes en los portales de datos abiertos español y europeo	222
5.3.3	Proceso de Integración y Semantización de Unidades Administrativas	223
5.3.4	Proceso de Integración y Semantización de Datos de Carreteras	225
5.3.5	Lod View	226
5.3.6	Proceso de Integración y Semantización de los Datos de Electrolineras.....	228
5.3.7	Proceso General de Integración y Semantización de los Datos de AEMET.....	229
5.3.8	Proceso de Unificación de Todas las fuentes y aplicación de inferencias.....	231
5.3.9	API sobre la información almacenada en Virtuoso	233
5.3.10	Mapas en angular y leaflet.....	235
5.3.11	Informes en POWER BI.....	237
5.4	Conclusiones.....	238
6	IMPLEMENTACION Y DESPLIEGUE DE UN TIS LOD MEJORADO	239
6.1	Introducción	239
6.2	Conversor LOD.....	240
6.3	Construcción de la federación de incidentes en el portal de datos español y europeo	243
6.4	Construcción e integración de la información de Unidades Administrativas	245
6.5	Construcción e integración de la información de carreteras.....	248
6.6	Construcción e integración de la información de electrolineras	251
6.7	Construcción e integración de la información de AEMET	253
6.7.1	Descarga de la información meteorológico con Pentaho Data Integration.....	253
6.7.2	Sparql Anything para la integración de AEMET.....	255
6.8	Construcción del proceso de unificación de las fuentes	260
6.8.1	Definición de la Consulta GEOSPARQL.....	261
6.8.2	Proceso Java para la integración de las fuentes.....	264
6.9	Construcción de la aplicación de reglas de inferencias con SWRL.....	265
6.9.1	Definición y Construcción de Reglas SWRL	266
6.9.2	Implementación del proceso en Apache Jena	269
6.9.3	Impacto General del Proceso	269
6.10	Construcción de APIS	269

6.11	Construcción de mapas con Angular y Leaflets.....	274
6.12	Construcción de informes en Power BI.....	274
6.12.1	Transformación y Modelado de Datos en Power BI	275
6.12.2	Diseño y Construcción de Informes	275
6.13	Sparql EndPoint.....	276
6.14	Lodview	276
7	EXPERIMENTACION Y RESULTADOS.....	279
7.1	Resultados de la ejecución del proceso Conversor LOD.	279
7.2	Resultado de la federación en los portales de datos abiertos español y europeo... ..	282
7.3	Resultados RDF de la ejecución del proceso de integración de Unidades Administrativas.	284
7.4	Resultados RDF de la ejecución del proceso de integración de Carreteras.	287
7.5	Resultados RDF de la ejecución del proceso de integración de Electrolineas.....	290
7.6	Resultados RDF de la ejecución del proceso de integración de AEMET.	292
7.6.1	Estaciones meteorológicas.....	293
7.6.2	Observaciones meteorológicas	296
7.7	Resultados RDF de la ejecución del proceso de integración de todas las fuentes y reglas SWRL.....	300
7.7.1	Validación de los Datos RDF de Incidencias Inferidas	301
7.8	Resultados accesos a las APIS.	305
7.8.1	Obtención de Resultados en el Acceso al API de Unidades Administrativas	305
7.8.2	Obtención de resultados en el acceso al API de carreteras.	306
7.8.3	Obtención de resultados en el acceso al API de estaciones meteorológicas. ..	307
7.8.4	Obtención de resultados en el acceso al API de Observaciones de estaciones meteorológicas.....	308
7.8.5	Obtención de resultados en el acceso al API de electrolineas.	309
7.8.6	Obtención de resultados en el acceso al API de información de incidentes con enriquecida con información meteorológica.	310
7.9	Acceso a los mapas basados en Angular y leaflet.	311
7.10	Informes Power BI.....	312
7.10.1	Informe Power Bi de estaciones meteorológicas.....	312
7.10.2	Informe Power Bi Electrolineas.....	314
7.10.3	Informe Power Bi Incidentes de trafico	316
7.11	Consultas Federadas SPARQL.....	319
7.11.1	Consultas federadas IGN	319
7.11.2	Consultas Federadas LinkedGeoData.....	322

7.11.3	Consultas Federadas combinando información de incidentes combinando España y la República Checa	325
7.11.4	Conclusiones.....	326
8	CONCLUSIONES FINALES	327
8.1	Visión General, Motivación y Objetivos	327
8.2	Contribuciones Principales.....	327
8.3	Resultados de la Experimentación	328
8.4	Líneas Futuras de Trabajo	329
8.5	Consideraciones Finales	330
	GLOSARIO	333
	ANEXO I: Configuración Técnica e instalación del Conversor LOD.	337
	ANEXO II: Instalación y configuración de LodView.	341
	ANEXO III: Resultados RDF del Conversor LOD.	347
	REFERENCIAS.....	349
	PUBLICACIONES.....	359

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Documentos legislativos clave transposición directivas.	18
Ilustración 2: Administraciones de Tráfico de España. Fuente [43].....	22
Ilustración 3: Grupos de países participantes en función de su puntuación global de madurez en datos abiertos. Fuente: [45].....	26
Ilustración 4:Puntuación promedio general de madurez de los portales de datos abiertos. Fuente: [45].....	26
Ilustración 5: Porcentaje de distribuciones por formato, todas administraciones. Fuente: [45]29	
Ilustración 6: Porcentaje de distribuciones por formato, administración estatal. Fuente: [45].	30
Ilustración 7: Porcentaje de distribuciones por formato, administraciones autonómicas. Fuente: [45].....	31
Ilustración 8: Porcentaje de distribuciones por formato, administraciones locales. Fuente: [45]	32
Ilustración 9: Administraciones de tráfico españolas	35
Ilustración 10: Formulario de búsqueda de viajes. Fuente [47].....	36
Ilustración 11: Resultados búsqueda de viajes [47]	37
Ilustración 12: NAP español SRTI y RTTI. Fuente: [46]	39
Ilustración 13: Mapa de movilidad. Fuente: [51]	40
Ilustración 14: Aplicación Infocar. Fuente: [52]	41
Ilustración 15: Evento Infocar. Fuente: [52].....	41
Ilustración 16: Aplicación aparcamientos seguros. Fuente: [53]	45
Ilustración 17: Metadata usado en el NAP español de la DGT. Fuente: [46]	49
Ilustración 18: Principales directrices del NTI-RISP. Fuente: [57]	51
Ilustración 19: Vocabularios usados en NTI-RISP. Fuente: [57]	51
Ilustración 20: Diagrama de clases y conceptos para la definición de los metadata en NTI-RISP. Fuente: [57].....	52
Ilustración 21: URI del país España. Fuente: [57].....	52
Ilustración 22: Vista parcial comunidades autónomas NTI-RISP. Fuente: [57]	52
Ilustración 23: Vista parcial de las provincias NTI-RISP. Fuente: [57]	53
Ilustración 24: Ejemplo de URIS de organismos en NTI-RISP. Fuente: [57]	53
Ilustración 25: Vista parcial de sectores primarios NTI-RISP. Fuente: [57]	54
Ilustración 26: Sector transporte en NTI-RISP. Fuente: [57]	54
Ilustración 27: Comparativa Datex II v2.3 vs Datex II v 3.0	60
Ilustración 28: Diagrama de conceptos fase de especificación unidades administrativas para España	119
Ilustración 29: Propiedades de objeto fase de conceptualización Unidades Administrativas .	122
Ilustración 30: Diagrama de clases fase de conceptualización unidades administrativas.	124
Ilustración 31: Clases jerárquicas y otras relaciones para btn100:UnidadAdministrativa (Unidad Administrativa) en BTN100. Fuente: [103].....	128
Ilustración 32: Equivalencia entre geo_core:ObjetoGeografico y geosparql:Feature en la ontología geo_core. Fuente: [103].....	128
Ilustración 33: Geometría Comunidad Autónoma Andalucía en BTN100.	129
Ilustración 34: La Unidad Administrativa para España se define como btn100:UnidadAdministrativa en BTN100.	130
Ilustración 35: Jerarquía de las Unidades Administrativas de España	131
Ilustración 36: Definición geográfica en RAMON.....	132
Ilustración 37: Definición de objetos de propiedad en RAMON	132
Ilustración 38: Definición de la anotación de Código de Región en RAMON.....	132

Ilustración 39: Definición de clases en el modelo de Unidades Administrativas incluyendo las definiciones de RAMON	133
Ilustración 40: Diagrama de conceptos fase de especificación carreteras	140
Ilustración 41: Propiedades de objeto y de datos de fase de conceptualización carreteras....	144
Ilustración 42: Diagrama de clases fase de conceptualización carreteras.....	145
Ilustración 43: Clases jerárquicas y otras relaciones para carreteras en BTN100.. Fuente: [103]	148
Ilustración 44: Equivalencia entre geo_core:ObjetoGeográfico y geosparql:Feature en la ontología geo_core. Fuente: [103].....	148
Ilustración 45: Definición de “roads:CarreterasRCE”	149
Ilustración 46: Vista general de las clases de la ontología de carreteras.....	149
Ilustración 47: Vista general de las clases de la ontología de carreteras con enfoque en RoadNumber	150
Ilustración 48: Clase dtx_srti:RoadNumberin en la ontología de carreteras	150
Ilustración 49: Definición de la clase carretera en la ontología de carreteras.....	151
Ilustración 50: Diagrama de conceptos fase de especificación ontología SRTI	159
Ilustración 51: Diagrama de propiedades de la clase SituationRecord en fase de conceptualización ontología SRTI.....	169
Ilustración 52: Diagrama de propiedades de la clase RoadWorks en fase de conceptualización ontología SRTI.....	170
Ilustración 53: Diagrama de propiedades de la clase ConstructionWorks en fase de conceptualización ontología SRTI.....	170
Ilustración 54: Diagrama de propiedades de la clase ConstructionWorks en fase de conceptualización ontología SRTI.....	171
Ilustración 55: Diagrama de propiedades de la clase Accident en fase de conceptualización ontología SRTI.....	172
Ilustración 56: Diagrama de propiedades de la clase DisturbanceActivity en fase de conceptualización ontología SRTI.....	172
Ilustración 57: Diagrama de propiedades de la clase PublicEvent en fase de conceptualización ontología SRTI.....	173
Ilustración 58: Diagrama de propiedades de la clase Conditions en fase de conceptualización ontología SRTI.....	173
Ilustración 59: Diagrama de propiedades de la clase PoorEnvironmentConditions en fase de conceptualización ontología SRTI.....	174
Ilustración 60: Diagrama de propiedades de la clase NonWeatherRelatedRoadConditions en fase de conceptualización ontología SRTI	174
Ilustración 61: Diagrama de propiedades de la clase WeatherRelatedRoadConditions en fase de conceptualización ontología SRTI.....	174
Ilustración 62: Diagrama de propiedades de la clase Obstruction en fase de conceptualización ontología SRTI.....	175
Ilustración 63: Diagrama de propiedades de la clase AnimalPresenceObstruction en fase de conceptualización ontología SRTI.....	175
Ilustración 64: Diagrama de propiedades de la clase EnviromentalObstruction en fase de conceptualización ontología SRTI.....	175
Ilustración 65: Diagrama de propiedades de la clase GeneralObstruction en fase de conceptualización ontología SRTI.....	176
Ilustración 66: Diagrama de propiedades de la clase InfrastructureDamageObstruction en fase de conceptualización ontología SRTI.....	176

Ilustración 67: Diagrama de propiedades de la clase VehicleObstruction en fase de conceptualización ontología SRTI.....	177
Ilustración 68: Diagrama de clases en fase de conceptualización ontología SRTI	178
Ilustración 69: Esquema de URIs de la norma NTI. Fuente: [38].....	191
Ilustración 70: Encabezado de la ontología SRTI. IRI.....	192
Ilustración 71: Esquema clase Validity. Fuente: [19]	192
Ilustración 72: Modelo central de entidades temporales. Fuente: [104]	193
Ilustración 73: Representación de un "ProperInterval". Fuente: [104]	194
Ilustración 74: Vista de la clase Validity y sus relaciones en la ontología principal dtx-srti. Captura de Protégé-Ontograf.	195
Ilustración 75: Parte de los tipos "específicos y genéricos". Paquete D2Datatype. Fuente: [19]	195
Ilustración 76: Relaciones entre los tipos "específicos y genéricos". Paquete D2Datatype. Fuente: [19].....	196
Ilustración 77: Definición del concepto Quantity Value	196
Ilustración 78: Nuevas clases basadas en QUDT en la ontología de incidentes dtx_srti	197
Ilustración 79: Nuevas clases basadas en QUDT en la ontología de incidentes dtx_srti	198
Ilustración 80: Clase LinearElement y el atributo roadNumber:String [0..1]. Fuente: [19]	201
Ilustración 81: Clase RoadInformation y el atributo roadNumber:String [0..1]. Fuente: [19]..	201
Ilustración 82: Clase TpegDescriptor y sus subclases, donde se incluye el atributo tpegOtherPointDescriptorType. Fuente: [19]	201
Ilustración 83 :Enumeración "linkName" de TpegLoc03OtherPointDescriptorSubtypeEnum. Fuente: [19].....	202
Ilustración 84: Definición de la propiedad "hasRoadNumber"	203
Ilustración 85: Vista de las clases y propiedades relacionadas con "RoadNumber"	203
Ilustración 86: Vista de las clases para las localizaciones TPEG	204
Ilustración 87 :Uso de la ontología AdministrativeUnit en el modelo ontológico SRTI	205
Ilustración 88: Propiedades de objeto para especificar la Unidad Administrativa.....	205
Ilustración 89: Definiciones de unidades administrativas para "LinearWithinLinearElement" and "PointAlongLinearElement"	206
Ilustración 90: Definiciones de unidades administrativas para "TpegDescriptor" and "TpegOtherPointDescriptor"	206
Ilustración 91: Definiciones de unidades administrativas para "TpegDescriptor" and "TpegOtherPointDescriptor"	214
Ilustración 92: Ejecución y resultados de una consulta SPARQL en el NAP	215
Ilustración 93 :Arquitectura general del sistema LOD de tráfico	218
Ilustración 94 :Arquitectura conversor LOD.....	220
Ilustración 95: Proceso de deserialización de XML a objetos Java.....	221
Ilustración 96 : Conversión de datos SRTI a formato semántico	221
Ilustración 97 : Carga de instancias LOD SRTI en Virtuoso.....	222
Ilustración 98: Arquitectura general de LOD VIEW	227
Ilustración 99: Flujo del proceso de semantización de datos de electrolineras.	228
Ilustración 100: Flujo del proceso de semantización de datos meteorológicos de AEMET.....	229
Ilustración 101 : Paquetes y clases del conversor DATEX II LOD.....	240
Ilustración 102 : Configuración log4j del conversor DATEX II LOD	241
Ilustración 103 : Configuración general del conversor DATEX II LOD	242
Ilustración 104 : Variables globales del conversor DATEX II LOD.....	242

Ilustración 105: Ejemplo de la publicación de incidencias SRTI en el NAP español. Fuente: [46]	243
Ilustración 106: Acceso al fichero de metadatos de una publicación de incidencias SRTI: Fuente: [46]	243
Ilustración 107: Segmento de código archivo de metadatos publicación incidentes SRTI: Fuente: [46]	244
Ilustración 108: Modelo relacional de la base de datos de unidades administrativas.	246
Ilustración 109: Modelo relacional de la base de datos carreteras.	249
Ilustración 110: Documentación de la API de arquitectura semántica de incidentes y variables meteorológicas en Swagger	273
Ilustración 111: Mapeo entre instancias DATEX II XML y DATEXII LOD	280
Ilustración 112: Validación exitosa del RDF de incidentes de tráfico	281
Ilustración 113: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de incidentes de tráfico generados por el conversor LOD	282
Ilustración 114: Dataset DATEX II LOD publicado en el portal de datos abiertos español. Fuente: [45]	283
Ilustración 115: Dataset DATEX II LOD publicado en el portal de datos abiertos europeo con calificación de metadatos "Buena". Fuente: [120]	283
Ilustración 116: Resultados del validador MQA para los metadatos españoles, sin problemas detectados. Fuente: [120]	284
Ilustración 117: Validación exitosa del RDF de unidades administrativas	286
Ilustración 118: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de provincias y comunidades autonomas en formato LOD	287
Ilustración 119: Validación exitosa del RDF de carreteras	288
Ilustración 120: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de datos de carreteras.	289
Ilustración 121: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de datos de tramos de carreteras	290
Ilustración 122: Validación exitosa del RDF de electrolíneas	291
Ilustración 123: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de datos de electrolíneas LOD	292
Ilustración 124: Validación exitosa del RDF de estaciones meteorológicas	294
Ilustración 125: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de datos de estaciones meteorológicas	295
Ilustración 126: Validación exitosa del RDF de observaciones meteorológicas	298
Ilustración 127: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de datos de observaciones meteorológicas	299
Ilustración 128: Validación exitosa del RDF de incidentes de tráfico con información meteorológica y aplicación de reglas de inferencia	303
Ilustración 129: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de datos de incidentes integrados con información meteorológica e inferencias sobre riesgos climatológicos	304
Ilustración 130: Resultado general API Unidades Administrativas en Postman	305
Ilustración 131: Resultado API Unidades Administrativas por comunidad autónoma en Postman	306
Ilustración 132: Resultado general API carreteras en Postman	306
Ilustración 133: Resultado API carreteras por provincia en Postman	307
Ilustración 134: Resultado general API estaciones meteorológicas en Postman	307
Ilustración 135: Resultado API estaciones meteorológicas por provincia en Postman	308

Ilustración 136: Resultado general API observaciones de estaciones meteorológicas en Postman	308
Ilustración 137: Resultado API observaciones de estaciones meteorológicas por estación en Postman	309
Ilustración 138: Resultado general API electrolineras en Postman	309
Ilustración 139: Resultado API electrolineras por provincia en Postman	310
Ilustración 140: Resultado general API incidentes enriquecidos semánticamente en Postman	310
Ilustración 141: Resultado general API incidentes enriquecidos semánticamente filtrando por provincia en Postman.....	311
Ilustración 142: Resultado general API incidentes enriquecidos semánticamente filtrando por provincia en Postman.....	312
Ilustración 143: Cuadro de mando Power BI de estaciones meteorológicas.....	313
Ilustración 144: Cuadro de mando Power BI de estaciones meteorológicas por provincias de la Comunidad Valenciana.....	314
Ilustración 145: Cuadro de mando Power BI de electrolineras.	315
Ilustración 146: Cuadro de mando Power BI de estaciones meteorológicas por provincias de la Comunidad Valenciana.....	316
Ilustración 147: Cuadro de mando Power BI de incidentes de tráfico e inferencias meteorológicas.....	318
Ilustración 148: Cuadro de mando Power BI de incidentes de tráfico e inferencias meteorológicas filtrando aquellos incidentes con riesgo de hielo.	318
Ilustración 149: Resultados de consulta federada contra IGN para la obtención de hospitales a 5 km del incidente de tráfico	321
Ilustración 150: Resultados de consulta federada contra IGN para la obtención de gasolineras a 1 km del incidente de tráfico	322
Ilustración 151: Resultados de consulta federada contra LinkedGeoData para la obtención de estaciones de metro a 2 km del incidente de tráfico	324
Ilustración 152: Resultados de consulta federada contra LinkedGeoData para la obtención de estaciones de servicio a 2 km del incidente de tráfico	324
Ilustración 153: Resultados de consulta federada contra el Sparql Endpoint de Republica Checa para la obtención de la estadística internacional de incidentes de tráfico.	326
Ilustración 154: Resultado de la compilación con Maven del Conversor de incidentes de tráfico LOD.....	338
Ilustración 155: Resultado de la ejecución del Conversor de incidentes de tráfico LOD.....	339
Ilustración 156: Ficheros generados tras la ejecución del Conversor de incidentes de tráfico LOD.....	339
Ilustración 157: Configuración archivo pom de la aplicación LodView.....	341
Ilustración 158: Configuración del archivo general de la aplicación LodView.....	342
Ilustración 159: Resultado tras la compilación con Maven de la aplicación LodView	342
Ilustración 160: Entorno tomcat para el despliegue de la aplicación LodView	343
Ilustración 161: Vista web de un incidente tráfico en la aplicación LodView	344
Ilustración 162: Vista web LodView de la unidad administrativa de la provincia de Madrid ...	345
Ilustración 163: Vista web LodView de la unidad administrativa de la provincia de Madrid detallando los diferentes municipios dentro de la provincia.....	345
Ilustración 164: Vista web LodView de los tramos de carreteras en la provincia de Madrid...	346

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla relación directivas PSI e ITS propósito y enfoque	16
Tabla 2: Tabla relación directivas PSI e ITS ámbito de aplicación	17
Tabla 3: Tabla relación directivas PSI e ITS requisitos específicos	17
Tabla 4: Tabla relación directivas PSI e ITS estándares y tecnologías.....	17
Tabla 5: Tabla relación directivas PSI e ITS impacto y beneficiarios	17
Tabla 6: Relación aparcamientos seguros.....	46
Tabla 7: NAPS en el territorio español	47
Tabla 8: Evolución de la madurez de los Naps españoles.	48
Tabla 9: Tabla de resumen de análisis Ontología para Redes de Transporte	67
Tabla 10: Tabla de resumen de análisis OSMonto	68
Tabla 11: Tabla de resumen de Road Accident Ontology	68
Tabla 12: Tabla de resumen de km4city, the DISIT Knowledge Model for City and Mobility.....	69
Tabla 13: Tabla de resumen de Transport Disruption Ontology.....	70
Tabla 14: Tabla resumen de Vocab.linkeddata.es. Vocabulario para la representación de datos de las infraestructuras de medios de transporte.....	71
Tabla 15: Tabla resumen de Vocabulario para la representación de datos de tráfico	72
Tabla 16: Tabla resumen de Vocabulario para la representación de datos de tráfico generado por vehículos motorizados	73
Tabla 17: Tabla resumen de LinkedGTFS	73
Tabla 18: Tabla resumen de Vocab.datex	74
Tabla 19: Tabla resumen de MobiVoc.....	74
Tabla 20: Tabla resumen de MobiVoc.....	75
Tabla 21: Tabla resumen Ontologías.....	75
Tabla 22: Tabla clases principales fase formalización Unidades Administrativas.....	124
Tabla 23: Tabla subclases España fase formalización Unidades Administrativas	125
Tabla 24: Tabla subclases Republica Checa fase formalización Unidades Administrativas.....	125
Tabla 25: Tabla propiedades de objeto fase formalización Unidades Administrativas	125
Tabla 26: Tabla propiedades de datos fase formalización Unidades Administrativas.....	125
Tabla 27: Tabla restricciones de cardinalidad propiedades de objeto de Unidades Administrativas	126
Tabla 28: Tabla restricciones de cardinalidad propiedades de datos de Unidades Administrativas	126
Tabla 29: Tabla clases principales fase formalización carreteras	146
Tabla 30: Tabla propiedades de objeto fase formalización carreteras	146
Tabla 31: Tabla propiedades de datos fase formalización carreteras.....	147
Tabla 32: Tabla de restricciones y axiomas fase formalización carreteras	147
Tabla 33: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase SituationRecord	185
Tabla 34: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase RoadWorks	186
Tabla 35: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase Accident.....	186
Tabla 36: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase DisturbanceActivity	186
Tabla 37: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase PublicEvent	186
Tabla 38: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase Conditions.....	186
Tabla 39: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase PoorEnvironmentConditions.....	187
Tabla 40: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase NonWeatherRelatedRoadConditions.....	187

Tabla 41: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase WeatherRelatedRoadConditions	187
Tabla 42: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase Obstruction.....	187
Tabla 43: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase AnimalPresenceObstruction	187
Tabla 44: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase EnvironmentalObstruction.....	188
Tabla 45: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase GeneralObstruction.....	188
Tabla 46: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase InfrastructureDamageObstruction.....	188
Tabla 47: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase VehicleObstruction	188
Tabla 48: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase LocationReferencing	188
Tabla 49: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase Location	189
Tabla 50: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase Conditions.....	189
Tabla 51: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase Conditions.....	189
Tabla 52: Asociaciones con el paquete de DATEX II Validity. Fuente: [7]	193
Tabla 53: Atributos del paquete de DATEX II Validity. Fuente: [7]	193
Tabla 54: Lista de instancias importadas de QUDT (qudt-unit).	198

INDICE DE LISTADOS

Listado 1: Ejemplo segmento XML DATEX II evento obstrucción del entorno desprendimiento de rocas. Fuente: [46]	43
Listado 2: Ejemplo segmento XML DATEX II evento visibilidad reducida. Fuente: [46]	43
Listado 3: Ejemplo segmento XML DATEX II evento nevadas. Fuente: [46]	44
Listado 4: Ejemplo de instancia en formato Turtle RDF de la comunidad autónoma Andalucía en BTN100. Fuente: [103]	128
Listado 5: Ejemplo recursos de comunidades autónomas en BTN100. Fuente: [103]	129
Listado 6: Ejemplo recursos de comunidades autónomas en BTN100. Fuente: [103]	129
Listado 7: Clase owl comunidad autónoma en la ontología de unidades administrativas.....	134
Listado 8: Clase owl provincia en la ontología de unidades administrativas.....	134
Listado 9: Propiedad owl belongToAutonomy en la ontología de unidades administrativas...	135
Listado 10: Definición en formato turtle de la carretera M-30 en BTN100. Fuente: [103]	148
Listado 11: Clase owl de carretera en la ontología de carreteras.....	152
Listado 12: Propiedad owl TramosRCE en la ontología de carreteras	153
Listado 13: Propiedad owl carretera_COD_Tramos en la ontología de carreteras	153
Listado 14: Definiciones de Validity, OverallPeriod, ValidityStatusEnum en la ontología DATEX II SRTI.....	194
Listado 15: Especificación kilometro en la ontologia Qudt	197
Listado 16: Definiciones de diferentes unidades de medida en la ontología de incidentes de tráfico DATEX II SRTI.....	199
Listado 17: Propiedad distanceAlong en la ontología DATEX II SRTI	200
Listado 18: Uso de la propiedad distanceAlong en la ontología DATEX II SRTI en una instancia de SituationRecord.....	200
Listado 19: Ejemplo instancias de carreteras configuradas con la propiedad hasRoadNumber en la Ontología DATEX II SRTI.....	203
Listado 20: Instancia para la clase TpegOtherPointDescriptor en la ontología DATEX II SRTI..	204
Listado 21: Ejemplo RDF de enlace de la ontología de incidentes de tráfico SRTI con la ontología de unidades administrativas.	207
Listado 22: Ejemplo de la clase Conditions en la ontología DATEX II SRTI.....	207
Listado 23: Ejemplo de la clase Conditions en la ontología DATEX II SRTI.....	208
Listado 24: Ejemplo de la clase WeatherRelatedRoadConditions en la ontología DATEX II SRTI	208
Listado 25: Fragmento del archivo de configuración D2RQ para la integración semántica de unidades administrativas.	247
Listado 26: Fragmento del archivo de configuración D2RQ para la integración semántica carreteras.	250
Listado 27: Consulta SPARQL Anything para la obtención semántica de los datos de observaciones meteorológicas.....	257
Listado 28: Consulta SPARQL Anything para la obtención semántica de los datos de estaciones meteorológicas.....	258
Listado 29: Segmento de código SPARQL para la conversión de coordenadas de LINESTRING en coordenadas para el cálculo de distancias.....	262
Listado 30: Segmento de código RDF de las provincias colindantes de las diferentes provincias de España.	263
Listado 31: Segmento de código de la consulta SPARQL de integración con la fuente AMET en el que se establece el enlace del incidente con la información meteorológica a través de las provincias colindantes.....	263
Listado 32: Definición de la regla de clasificación de riesgo hielo en SWRL.	266

<i>Listado 33: Definición de la regla de clasificación de riesgo de viento fuerte en SWRL.</i>	266
<i>Listado 34: Definición de la regla de clasificación de riesgo de nieve en SWRL.</i>	267
<i>Listado 35: Definición de la regla de clasificación de riesgo por lluvia intensa en SWRL.</i>	267
<i>Listado 36: Definición de la regla de clasificación de riesgo por lluvia intensa en SWRL.</i>	267
<i>Listado 37: Definición de la regla de clasificación de riesgo por lluvia intensa en SWRL.</i>	268
<i>Listado 38: Definición de la regla de clasificación de riesgo por lluvia intensa en SWRL.</i>	268
Listado 39: Ejemplo instancia SituationRecord de condiciones meteorológicas adversas tras la conversión de XML a DATEX II LOD en formato RDF/XML.	279
Listado 40: Consulta SPARQL para la obtención de datos de incidentes de tráfico.	281
Listado 41: Ejemplo instancia de unidades administrativas tras la semantización de los datos del INE.	285
Listado 42: Consulta SPARQL para la obtención de poblaciones, provincias y comunidades autónomas.	286
Listado 43: Ejemplo de instancia de carreteras y tramos tras la semantización de los datos excel	288
Listado 44: Consulta SPARQL para la obtención de datos de carreteras	289
Listado 45: Consulta SPARQL para la obtención de datos de tramos de carreteras	289
Listado 46: Ejemplo de instancia de electrolineras tras la semantización con SPARQL Anything	291
Listado 47: Consulta SPARL para la obtención de datos de electrolineras.	292
Listado 48: Ejemplo instancia estación meteorológica tras ejecutar el proceso de transformación con SPARQL Anything	293
Listado 49: Consulta SPARQL para la obtención de datos de estaciones meteorológicas.	295
Listado 50: Ejemplo instancia de observaciones meteorológicas asociadas a una estación en AEMET.	297
Listado 51: Consulta SPARQL para la obtención de observaciones meteorológicas.	298
Listado 52: Ejemplo de instancia de incidentes de tráfico enlazada con información meteorológica de AEMET e información inferida de riesgos meteorológicos.	301
Listado 53: Consulta SPARQL la obtención de información incidentes de tráfico enlazada con información meteorológica de AEMET e información inferida de riesgos meteorológicos.	304
Listado 54: Consulta federada enlazando los incidentes tráfico con información de IGN para la obtención de información de hospitales a 5 km del incidente de tráfico.	321
Listado 55: Consulta federada enlazando los incidentes tráfico con información de IGN para la obtención de información de gasolineras a 1 km del incidente de tráfico.	322
Listado 56: Consulta federada enlazando los incidentes tráfico con información de linkedgeodata para la obtención de información estaciones de metro a 2 km del incidente de tráfico.	323
Listado 57: Consulta federada enlazando los incidentes tráfico con información de linkedgeodata para la obtención de información estaciones de servicio a 2 km del incidente de tráfico.	324
Listado 58: Consulta SPARQL para la obtención de datos de estadísticas internacionales de incidentes de tráfico incluyendo España y Republica Checa.	325
Listado 59: Ejemplo completo de los datos RDF generados por el conversor LOD	348

1 INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

1.1 Definición del problema

La seguridad vial es un componente crítico en la gestión de infraestructuras de transporte, especialmente en un entorno donde la movilidad y el tráfico se están volviendo cada vez más complejos. La implementación de sistemas de información relacionados con la seguridad vial del tráfico (SRTI, por sus siglas en inglés) es esencial para abordar estos desafíos. Los sistemas SRTI están diseñados para proporcionar alertas sobre eventos peligrosos, condiciones adversas y otros incidentes que puedan afectar la seguridad en las carreteras. Sin embargo, para que estos sistemas sean efectivos, es crucial que los datos relacionados con la seguridad vial estén integrados, contextualizados y sean accesibles en tiempo real.

Actualmente, la información de tráfico se encuentra dispersa en múltiples formatos y fuentes, lo que limita la capacidad de integrar estos datos de manera coherente y útil. La falta de interoperabilidad entre diferentes sistemas de información y la dificultad para acceder a datos en tiempo real representan barreras significativas para una gestión eficaz de la seguridad vial. Las tecnologías semánticas, como RDF (Resource Description Framework) [1], GeoSPARQL [2] [3][4] y SPARQL Anything [5], ofrecen una solución innovadora a estos problemas al proporcionar un marco estandarizado para la integración y el acceso a datos de diversas fuentes.

En este contexto, la presente tesis se enfoca en desarrollar una arquitectura semántica para la integración y publicación de datos relacionados con los incidentes de tráfico, utilizando tecnologías LOD (Linked Open Data) [6]. Este enfoque permite la conversión de datos en formato DATEX II XML SRTI [7] a RDF, apoyado por una ontología [8] específica para incidentes de tráfico y su integración con datos de infraestructura vial, condiciones meteorológicas y datos geopolíticos. El uso de estas tecnologías no solo facilita la interoperabilidad y el acceso a la información, sino que también enriquece el contexto de los datos para una gestión más efectiva de la seguridad vial.

La motivación principal de esta tesis radica en la necesidad urgente de mejorar la seguridad vial mediante el uso de tecnologías avanzadas que permitan una gestión eficiente y en tiempo real de los incidentes de tráfico. Los sistemas SRTI tienen un impacto significativo al alertar a los conductores sobre condiciones peligrosas y eventos que podrían poner en riesgo su seguridad. Sin embargo, la efectividad de estos sistemas depende de la disponibilidad y calidad de la información, así como de su capacidad para ser integrada con otros datos relevantes, como las condiciones meteorológicas y el estado de las infraestructuras.

La integración de datos de tráfico con información meteorológica [9] en tiempo real es crucial para proporcionar un contexto completo y preciso para la gestión de tráfico [10]. Por ejemplo, conocer las condiciones meteorológicas durante un incidente de tráfico puede ayudar a las autoridades a comprender mejor las causas subyacentes y a tomar decisiones informadas sobre la gestión del tráfico y las alertas a los conductores. Asimismo, la inclusión de datos sobre la infraestructura vial y las unidades administrativas permite una comprensión más completa del impacto de los incidentes en diferentes áreas geográficas y administrativas.

La aplicación de tecnologías semánticas como RDF, GeoSPARQL y SPARQL Anything permite superar las limitaciones de los sistemas tradicionales al ofrecer una infraestructura flexible y escalable para la integración de datos. Al utilizar LOD, esta tesis no solo mejora la accesibilidad y la interoperabilidad de la información, sino que también promueve la transparencia y el

intercambio de datos a nivel nacional e internacional. Esto fomenta la colaboración entre diferentes entidades y el desarrollo de aplicaciones innovadoras que pueden utilizar estos datos para mejorar la seguridad vial.

Además, la arquitectura desarrollada en esta tesis proporciona una base sólida para la implementación de sistemas de movilidad inteligente, que son esenciales para enfrentar los desafíos de la gestión del tráfico en un mundo cada vez más conectado. La posibilidad de acceder a datos en tiempo real y de integrar información de diferentes dominios ofrece una ventaja significativa para los gestores de tráfico y las autoridades, al permitir una respuesta más rápida y efectiva a situaciones de emergencia y a condiciones cambiantes en las carreteras.

En resumen, esta tesis aborda un problema crítico en la gestión de la seguridad vial al ofrecer una solución que integra y enriquece los datos relacionados con el tráfico mediante el uso de tecnologías semánticas. La capacidad de proporcionar información precisa y contextualizada en tiempo real tiene el potencial de mejorar significativamente la seguridad en las carreteras, apoyar a las autoridades en la toma de decisiones y beneficiar a los conductores al ofrecerles información relevante y actualizada del desarrollo de la arquitectura semántica, destacando tanto los desafíos actuales como el impacto potencial de la solución.

1.2 Hipótesis de investigación

Identificado el problema y con el objetivo de abordarlo, se formula la siguiente hipótesis:

"Es posible desarrollar una arquitectura semántica que, partiendo de un conjunto heterogéneo de fuentes de datos relacionadas con incidentes de tráfico, infraestructura vial y meteorología, permita su integración y publicación como Linked Open Data (LOD), asegurando su interoperabilidad y accesibilidad en tiempo real. Esta arquitectura, basada en estándares como RDF y GeoSPARQL, será capaz de enriquecer el contexto de los incidentes y habilitar la creación de servicios avanzados para la consulta, análisis y toma de decisiones informadas."

En concreto, esta tesis busca desarrollar una solución que aproveche las tecnologías semánticas para superar las limitaciones actuales de los sistemas tradicionales, promoviendo la integración de datos y su reutilización mediante estándares interoperables. Esto permitirá no solo generar información más contextualizada y accesible, sino también habilitar nuevos servicios que enriquezcan la gestión de la seguridad vial.

Fundamentos de la hipótesis:

El planteamiento de esta hipótesis está respaldado por varios supuestos clave que sustentan su viabilidad:

- **La integración de datos heterogéneos es posible mediante tecnologías semánticas:** La información relacionada con incidentes de tráfico, condiciones meteorológicas y características viales se encuentra dispersa en formatos diversos, como XML, Excel o servicios web y APIs, lo que dificulta su explotación conjunta. Mediante la aplicación de estándares como RDF, GeoSPARQL y APIs, es posible estructurar estos datos en un modelo semántico que facilite su integración y análisis.
- **La publicación en LOD incrementa la accesibilidad y la reutilización de la información:** Transformar los datos en recursos interoperables y accesibles mediante un endpoint SPARQL [11] y APIs RESTful [12] fomenta su reutilización por parte de aplicaciones externas y otros sistemas. Esto alinea la solución con los principios FAIR (Findable, Accessible,

Interoperable, Reusable) promovidos por la Unión Europea, maximizando su impacto a nivel nacional e internacional.

- **El enriquecimiento semántico permite obtener información contextualizada y precisa:** A través de reglas SWRL [13], es posible generar conocimiento adicional, como la identificación de patrones de riesgo derivados de condiciones climáticas adversas o características específicas de las infraestructuras viales. Este enfoque agrega valor a la información básica, permitiendo una gestión más proactiva y predictiva de la seguridad vial.
- **El diseño de servicios avanzados beneficia a las autoridades y usuarios finales:** La interoperabilidad semántica y la capacidad de realizar consultas complejas y contextualizadas en tiempo real habilitan nuevos servicios para las autoridades de tráfico, gestores de infraestructuras y conductores. Estas funcionalidades permiten alertas más precisas, análisis predictivos y una respuesta más eficiente ante incidentes.

Impacto esperado

La solución desarrollada en esta tesis aspira a resolver barreras clave como la fragmentación de datos y la falta de interoperabilidad entre sistemas. Al ofrecer un marco integrado para la gestión de información de tráfico y su contexto asociado, esta arquitectura semántica tiene el potencial de:

- Mejorar significativamente la seguridad vial al proporcionar información más rica, precisa y contextualizada.
- Apoyar la transición hacia una movilidad inteligente y sostenible mediante la interoperabilidad entre datos de diferentes dominios.
- Generar valor agregado para las autoridades y los usuarios finales, habilitando servicios avanzados que respondan a necesidades específicas en tiempo real.

En síntesis, esta hipótesis no solo establece un marco conceptual sólido para abordar el problema identificado, sino que también traza una ruta clara para desarrollar una solución práctica y escalable que pueda extenderse a otros dominios y contextos más allá de la seguridad vial.

1.3 Objetivos generales

Desarrollar una Arquitectura Semántica para la Integración de Datos de Incidentes de Tráfico en LOD.

El primer objetivo general de esta tesis es diseñar y construir una arquitectura semántica robusta que permita la integración de datos de incidentes de tráfico en un entorno LOD. Esto implica la creación de un proceso automatizado para convertir datos en formato DATEX II XML SRTI a RDF, utilizando una ontología específica desarrollada en la investigación. La arquitectura debe ser capaz de gestionar datos de manera eficiente, asegurando su interoperabilidad y facilitando su acceso para diversas aplicaciones y usuarios. Además, se deben integrar otros conjuntos de datos relevantes, como información sobre infraestructura vial, condiciones meteorológicas y datos geopolíticos, proporcionando un marco unificado para la consulta y análisis de información de tráfico.

Semantizar Datos de Infraestructura Vial y Unidades Administrativas, y Convertir Datos Crudos a RDF

Este objetivo se centra en la semantización y conversión de datos de infraestructura vial y unidades administrativas en formato RDF. Los datos sobre carreteras proporcionados por el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible en formato Excel se transformarán a RDF mediante procesos R2RML [14], utilizando una ontología desarrollada en la investigación para estructurarlos de manera coherente y accesible. De igual forma, se semantizarán y generarán instancias RDF de las unidades administrativas de España, como Comunidades Autónomas, provincias y municipios. Estos datos enriquecerán el contexto de la información de tráfico y facilitarán una mejor comprensión y gestión de los incidentes en diferentes áreas geográficas.

Integrar Datos Meteorológicos con Información de Incidentes de Tráfico utilizando GeoSPARQL

Un objetivo crucial de la tesis es integrar datos meteorológicos en tiempo real con la información sobre incidentes de tráfico para ofrecer un contexto más completo y enriquecido. Esto se logrará mediante el uso de GeoSPARQL en Virtuoso, que permitirá la vinculación de datos RDF sobre condiciones meteorológicas proporcionadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) con los datos de incidentes de tráfico. La integración permitirá obtener información meteorológica relevante tanto en el momento en que ocurrió un incidente como en tiempo real, proporcionando una visión más precisa de las condiciones ambientales durante los eventos de tráfico y mejorando la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia.

Implementar una Infraestructura de Publicación y Consulta de Datos Utilizando Tecnologías LOD y RESTful APIs

Este objetivo abarca la implementación de una infraestructura para la publicación y consulta de datos utilizando tecnologías de LOD y APIs RESTful. Los datos semánticos se publicarán en un endpoint SPARQL[15] utilizando Virtuoso, permitiendo consultas directas mediante SPARQL. Además, se desarrollará un sistema de APIs RESTful basadas en FastAPI y Python para proporcionar los datos en formato JSON, facilitando su integración en aplicaciones externas y su acceso por parte de desarrolladores y usuarios.

Inicialmente, se implementa una solución basada en Angular y Leaflet para demostrar cómo la información proveniente de las APIs puede ser explotada a través de herramientas desarrolladas ad hoc. Esta demostración se enfoca en la visualización geoespacial interactiva de los datos destacando la flexibilidad y capacidad de integración de las APIs en aplicaciones personalizadas.

Posteriormente, se identifica el valor añadido que podría ofrecer la creación de cuadros de mando interactivos en Power BI. Por ello, se diseñan cuadros de mando en esta plataforma para permitir la visualización de información mediante mapas, tablas y gráficos avanzados. Esta extensión aporta una visión estratégica e integrada, complementando las capacidades de análisis y exploración proporcionadas por Angular, Leaflet y las APIs RESTful, y ofreciendo a los usuarios finales herramientas poderosas y accesibles para analizar la información relacionada con los incidentes de tráfico.

Desarrollar y Aplicar Reglas SWRL para el Enriquecimiento de Datos y Generación de Conocimiento

El objetivo es desarrollar e implementar reglas SWRL (Semantic Web Rule Language) para enriquecer los datos disponibles y generar nuevo conocimiento a partir de la información

existente. Estas reglas permitirán realizar inferencias automáticas sobre los datos de tráfico, meteorológicos e infraestructura, aportando un nivel adicional de análisis y proporcionando conocimientos más profundos sobre las situaciones de tráfico. La aplicación de estas reglas es crucial para mejorar la calidad y el valor de los datos, permitiendo una toma de decisiones más informada y eficaz en la gestión del tráfico y la seguridad vial.

Fomentar la Transparencia y Reutilización de Datos a Nivel Nacional e Internacional

Un objetivo importante es promover la transparencia y la reutilización de los datos a nivel nacional e internacional mediante su publicación en portales de datos abiertos. La tesis se enfocará en garantizar que los datos semánticos sean accesibles en los portales de datos abiertos de España y Europa, facilitando su uso por parte de la comunidad investigadora, las autoridades de tráfico y otros actores interesados. La disponibilidad de estos datos en formato LOD contribuirá a la estandarización de la información y fomentará la colaboración y el desarrollo de aplicaciones innovadoras que puedan aprovechar los datos para mejorar la seguridad vial y la gestión del tráfico.

1.4 Objetivos Específicos

Diseñar y Desarrollar una Ontología para Incidentes de Tráfico en el Contexto SRTI

Objetivo: Crear una ontología detallada que represente de manera exhaustiva los conceptos y relaciones relacionados con los incidentes de tráfico, incluyendo tipos de incidentes, severidad, causas, y ubicaciones.

Detalle: La ontología debe ser capaz de modelar la información proporcionada por los datos DATEX II XML SRTI y facilitar su conversión a RDF. Debe incluir clases y propiedades específicas para representar las características de los incidentes y sus relaciones con otros datos, como condiciones meteorológicas y características de la infraestructura vial.

Implementar un Proceso Automatizado para Convertir Datos DATEX II XML SRTI a RDF

Objetivo: Desarrollar un proceso automatizado en JENA para convertir los datos de incidentes de tráfico en formato DATEX II XML SRTI a RDF utilizando la ontología desarrollada.

Detalle: Este proceso debe incluir la transformación de datos, la creación de triples RDF y la inserción de datos en un repositorio (triplestore). Además, debe garantizar la coherencia y precisión de los datos transformados, así como su alineación con la ontología.

Semantizar Datos de Infraestructura Vial Basados en el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible

Objetivo: Convertir los datos de infraestructura vial del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible en formato Excel a RDF utilizando un proceso R2RML y una ontología específica para la infraestructura vial.

Detalle: Desarrollar la ontología adecuada para modelar los datos de carreteras, intersecciones, y señales de tráfico. Implementar el proceso de conversión para transformar los datos crudos de Excel a RDF, asegurando que la información sea precisa y esté correctamente estructurada.

Semantizar y Generar Instancias RDF para Unidades Administrativas

Objetivo: Semantizar los datos sobre Comunidades Autónomas, provincias y municipios, y convertirlos a RDF utilizando una ontología desarrollada para las unidades administrativas.

Detalle: Crear y aplicar una ontología que permita modelar de manera precisa las jerarquías y relaciones entre las unidades administrativas. Realizar la conversión de datos, asegurando la integridad y la coherencia de la información geográfica y administrativa.

Integrar Datos Meteorológicos en Tiempo Real con Incidentes de Tráfico

Objetivo: Enlazar los datos meteorológicos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) con la información de incidentes de tráfico utilizando GeoSPARQL en Virtuoso.

Detalle: Utilizar GeoSPARQL para realizar consultas espaciales que relacionen datos meteorológicos y de tráfico. Desarrollar un modelo que permita obtener información sobre las condiciones meteorológicas en el momento de un incidente y enriquecer el contexto de la información de tráfico con datos meteorológicos relevantes.

Desarrollar una Infraestructura para la Publicación y Consulta de Datos RDF

Objetivo: Implementar una infraestructura de publicación y consulta de datos RDF utilizando Virtuoso como triplestore y desarrollar APIs RESTful basadas en FAST API para proporcionar datos en formato JSON.

Detalle: Configurar Virtuoso para alojar y gestionar los datos RDF, y desarrollar un endpoint SPARQL para consultas directas. Implementar APIs RESTful que permitan el acceso a los datos desde aplicaciones externas, y desarrollar interfaces de usuario para visualizar los datos en mapas interactivos utilizando Angular y Leaflet.

Aplicar Reglas SWRL para el Enriquecimiento y Generación de Conocimiento

Objetivo: Desarrollar y aplicar reglas SWRL para realizar inferencias automáticas y enriquecer los datos disponibles, generando nuevo conocimiento a partir de la información existente.

Detalle: Crear un conjunto de reglas que permitan inferir información adicional sobre los incidentes de tráfico y su contexto, basadas en las relaciones entre datos meteorológicos, infraestructura vial y unidades administrativas. Aplicar estas reglas para proporcionar conocimientos más profundos y mejorar la utilidad de los datos para la toma de decisiones.

Diseñar y Crear Cuadros de Mando en Power BI para la Visualización de Datos Integrados

Objetivo: Desarrollar cuadros de mando en Power BI que permitan visualizar de manera interactiva los datos integrados relacionados con incidentes de tráfico, condiciones meteorológicas y características viales, facilitando su análisis mediante mapas, tablas y gráficos avanzados.

Detalle: Los cuadros de mando estarán diseñados para consumir los datos proporcionados por las APIs RESTful desarrolladas en esta tesis, asegurando que la información semántica publicada como LOD pueda ser analizada en un entorno amigable y accesible. Estos cuadros de mando proporcionarán capacidades avanzadas de visualización, como mapas geoespaciales y gráficos personalizados, que apoyen a las autoridades y usuarios finales en la toma de decisiones informadas y estratégicas.

Publicar los Datos en Portales de Datos Abiertos Nacionales e Internacionales

Objetivo: Asegurar que los datos semánticos sean accesibles a través de portales de datos abiertos tanto a nivel nacional como europeo, fomentando la transparencia y la reutilización de la información.

Detalle: Preparar y publicar los datos en los portales de datos abiertos de España y Europa, siguiendo las normativas y estándares requeridos. Promover el acceso a los datos para la comunidad investigadora, las autoridades de tráfico y otros actores interesados, facilitando la colaboración y el desarrollo de nuevas aplicaciones.

1.5 Metodología de investigación

La metodología de investigación para esta tesis está diseñada para abordar de manera sistemática y rigurosa los objetivos propuestos, utilizando un enfoque basado en la tecnología semántica para la integración y gestión de datos relacionados con incidentes de tráfico y seguridad vial. La metodología se divide en varias fases, cada una con objetivos y procedimientos específicos que aseguran la coherencia y validez de los resultados. A continuación, se detallan las fases de la metodología:

1. Revisión de la Literatura y Análisis de Requisitos

Objetivo: Comprender el estado actual del conocimiento en el campo de la semantización de datos de tráfico, sistemas SRTI, y tecnologías relacionadas. Identificar las necesidades y requisitos para el desarrollo de una solución que integre y publique datos en formato LOD.

Procedimiento: Realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica, técnica y normativa relacionada con la gestión de datos de tráfico, ontologías de transporte, y tecnologías semánticas. Analizar estudios previos, estándares de datos, y tecnologías utilizadas en aplicaciones similares para identificar lagunas y oportunidades de mejora. Entrevistar a expertos en el campo y recopilar requisitos de los sistemas existentes para definir las especificaciones de la arquitectura y las ontologías a desarrollar.

2. Desarrollo de Ontologías

Objetivo: Diseñar y construir ontologías específicas para representar los conceptos y relaciones relevantes en los datos de incidentes de tráfico, infraestructura vial, unidades administrativas, y condiciones meteorológicas.

Procedimiento: Utilizar herramientas de modelado ontológico (como Protégé) [14, 16] para desarrollar las ontologías. Definir clases, propiedades, y relaciones que representen adecuadamente los datos y sus interacciones. Validar las ontologías mediante revisiones iterativas y consultas a expertos para asegurar su precisión y aplicabilidad.

3. Conversión de Datos a RDF

Objetivo: Transformar los datos de incidentes de tráfico en formato DATEX II XML SRTI, datos de infraestructura vial del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, y datos sobre unidades administrativas a formato RDF.

Procedimiento: Implementar un proceso automatizado en JENA para la conversión de DATEX II XML SRTI a RDF, utilizando la ontología desarrollada. Aplicar procesos R2RML para la conversión de datos de Excel a RDF. Utilizar herramientas de mapeo y transformación para garantizar la calidad y consistencia de los datos convertidos. Realizar pruebas y validaciones para asegurar que los datos RDF generados sean precisos y completos.

4. Integración de Datos Meteorológicos

Objetivo: Enlazar los datos meteorológicos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) con los datos de incidentes de tráfico utilizando GeoSPARQL.

Procedimiento: Semantizar los datos meteorológicos de AEMET y convertirlos a RDF. Implementar consultas GeoSPARQL en Virtuoso para realizar enlaces espaciales entre los datos meteorológicos y los incidentes de tráfico. Desarrollar un modelo que permita obtener información meteorológica en tiempo real y durante el momento de los incidentes, y validar la integración mediante pruebas de consulta y análisis.

5. Desarrollo de Infraestructura de Publicación y Consulta

Objetivo: Implementar una infraestructura para la publicación y consulta de datos RDF utilizando Virtuoso y desarrollar APIs RESTful para proporcionar datos en formato JSON.

Procedimiento: Configurar Virtuoso como triplestore para almacenar y gestionar los datos RDF. Desarrollar un endpoint SPARQL para permitir consultas directas sobre los datos. Crear APIs RESTful utilizando FAST API y Python para ofrecer los datos en formato JSON, y desarrollar interfaces de usuario para visualizar los datos en mapas interactivos con Angular y Leaflet. Realizar pruebas de rendimiento y funcionalidad para garantizar la eficacia de la infraestructura.

6. Diseño e Implementación de Cuadros de Mando en Power BI

Objetivo: Diseñar e implementar cuadros de mando interactivos en Power BI para la visualización avanzada de los datos integrados, facilitando el análisis y la toma de decisiones estratégicas mediante gráficos, tablas y mapas geoespaciales.

Procedimiento: Para integrar los datos en Power BI, primero se configurará la conexión con las APIs RESTful desarrolladas, permitiendo que la herramienta consuma los datos semánticos directamente desde la infraestructura existente. Posteriormente, se diseñarán cuadros de mando que incluyan visualizaciones interactivas como mapas geoespaciales, gráficos dinámicos y tablas para representar información clave sobre incidentes de tráfico, condiciones meteorológicas y características viales.

La funcionalidad de los cuadros de mando se validará mediante pruebas iterativas con usuarios, asegurando que cumplan con los requisitos de accesibilidad, claridad y utilidad definidos en los objetivos. Además, se optimizarán las visualizaciones para atender a distintos perfiles de usuarios, como autoridades de tráfico, analistas y gestores de infraestructuras, garantizando que cada usuario pueda explotar los datos de forma eficiente. Por último, se documentará el proceso y, si es necesario, se proporcionará capacitación para que los usuarios finales comprendan y utilicen plenamente las capacidades de los cuadros de mando diseñados.

7. Aplicación de Reglas SWRL

Objetivo: Aplicar reglas SWRL para enriquecer los datos y generar nuevo conocimiento a partir de la información existente.

Procedimiento: Diseñar y desarrollar reglas SWRL que permitan realizar inferencias automáticas sobre los datos. Implementar estas reglas en el entorno de triplestore y validar su efectividad mediante casos de prueba. Evaluar el impacto de las inferencias en la calidad y utilidad de los datos, y ajustar las reglas según sea necesario para mejorar los resultados.

8. Publicación de Datos en Portales de Datos Abiertos

Objetivo: Asegurar que los datos semánticos sean accesibles a través de portales de datos abiertos a nivel nacional e internacional.

Procedimiento: Preparar y formatear los datos para su publicación en los portales de datos abiertos de España y Europa. Cumplir con las normativas y estándares requeridos para la publicación de datos en estos portales. Coordinar con las plataformas de datos abiertos para asegurar la correcta inclusión y visibilidad de los datos.

8. Evaluación y Validación

Objetivo: Evaluar la efectividad y la calidad de la solución desarrollada, y validar que cumple con los objetivos de la tesis.

Procedimiento: Realizar una evaluación exhaustiva de la arquitectura, ontologías, procesos de conversión, integración de datos, y la infraestructura de publicación.

1.6 Estructura de la memoria

La presente tesis se organiza en ocho capítulos principales, estructurados de manera lógica y progresiva para abordar los objetivos de investigación propuestos. A continuación, se describe brevemente el contenido de cada capítulo:

1. **Introducción y Motivación:** En este capítulo se contextualiza el problema de investigación, se definen los objetivos generales y específicos, y se presenta la hipótesis de investigación. Además, se explica la relevancia del trabajo en el contexto de la seguridad vial y los sistemas de transporte inteligentes.
2. **Estado del Arte:** En este capítulo se analizan las principales directivas y normativas europeas relacionadas con la reutilización de datos públicos (PSI) y los sistemas de transporte inteligentes (ITS), incluyendo su implementación y adaptación en España. Se revisan los estándares técnicos fundamentales, como DATEX II, empleado para estructurar datos de tráfico, y DCAT-AP, utilizado para garantizar la interoperabilidad en portales de datos abiertos. Asimismo, se examina el uso de metadatos para describir y organizar conjuntos de datos, resaltando su importancia en la accesibilidad y reutilización de la información. También se incluyen las ontologías vinculadas al tráfico, evaluando cómo contribuyen a la semantización y enriquecimiento de datos para promover una movilidad más eficiente y segura.
3. **Tecnologías Relacionadas con la Web Semántica:** Este capítulo explora las tecnologías utilizadas en el desarrollo de la arquitectura semántica, incluyendo Virtuoso, Jena, GeoSPARQL y herramientas como SPARQL Anything y WIDOCO. También se analizan sus fortalezas, limitaciones y aplicaciones en el proyecto.
4. **Ontologías Relacionadas con SRTI:** Se describe el diseño y la implementación de las ontologías desarrolladas para modelar datos de tráfico, infraestructura vial y unidades administrativas. El capítulo incluye el uso de la metodología Methontology y la formalización de ontologías específicas para incidentes de tráfico.
5. **Arquitectura del Sistema:** Se presenta la arquitectura desarrollada para la integración, publicación y consulta de datos. Este capítulo abarca los componentes del sistema, las interfaces desarrolladas y los procesos de semantización implementados.
6. **Implementación y Despliegue de un TIS LOD Mejorado:** En este capítulo se detalla el desarrollo y la integración de los diferentes componentes del sistema, incluyendo la federación de datos, las inferencias mediante SWRL, las APIs RESTful, y las herramientas de visualización como mapas interactivos y cuadros de mando en Power BI.

7. **Experimentación y Resultados:** Se exponen los resultados obtenidos en las pruebas de integración, consultas federadas SPARQL, accesos a APIs, y los mapas interactivos desarrollados. También se evalúa la calidad de los datos RDF generados y su impacto en la mejora de la seguridad vial.
8. **Conclusiones Finales:** El último capítulo resume las contribuciones principales de la tesis, discute los resultados alcanzados y presenta posibles líneas futuras de investigación en el ámbito de la movilidad inteligente y la interoperabilidad semántica.

Cada capítulo está diseñado para proporcionar un flujo coherente de información, desde la conceptualización inicial del problema hasta los resultados y conclusiones finales, asegurando que el lector pueda comprender y apreciar la importancia de los hallazgos presentados.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción

El desarrollo de sistemas de transporte inteligentes (ITS, por sus siglas en inglés) y la publicación de datos abiertos enlazados en el ámbito del tráfico son elementos clave para mejorar la movilidad, la seguridad vial y la sostenibilidad en Europa. En este contexto, las directivas europeas, como la Directiva PSI [17] sobre reutilización de información del sector público y la Directiva ITS 2010/40/UE [18], han establecido un marco normativo y técnico que guía la publicación, interoperabilidad y reutilización de datos.

Este capítulo tiene como objetivo analizar el marco europeo para la implementación de estos sistemas, con especial énfasis en la relación entre las directivas PSI e ITS, y los reglamentos delegados que complementan a esta última. Además, se evaluará cómo España ha transpuesto estas directivas y adaptado su infraestructura, destacando las fortalezas, retos y oportunidades en la gestión de los Puntos de Acceso Nacional (NAP, por sus siglas en inglés). y la alineación con estándares internacionales como DATEX II [19] y DCAT-AP [20].

El análisis se centra en identificar los avances más significativos y los desafíos pendientes en la implementación de esta normativa a nivel nacional. Esto proporciona el marco necesario para contextualizar el uso de datos abiertos enlazados en sistemas de transporte inteligentes, uno de los pilares fundamentales de esta tesis.

2.2 Directivas y reglamentos europeos

En esta sección se detallan las principales normativas europeas que afectan la publicación y reutilización de datos de tráfico, enfatizando las Directivas PSI e ITS, sus objetivos, alcance, y cómo se complementan para fomentar la interoperabilidad y el uso de datos abiertos.

2.2.1 Directiva PSI: Reutilización de la Información del Sector Público

En esta sección se describen los objetivos, aspectos clave y la relación con ITS de la directiva PSI (Public Sector Information) .

2.2.1.1 Objetivo y propósito

La Directiva PSI (Public Sector Information) [17] tiene como objetivo principal promover la reutilización de la información del sector público, considerada un recurso estratégico para la economía digital y la innovación. Busca garantizar que los datos generados por las administraciones públicas sean accesibles, reutilizables y disponibles para fines comerciales y no comerciales. Esto fomenta la transparencia, la generación de valor económico y el fortalecimiento de los derechos de los ciudadanos.

2.2.1.2 Aspectos clave

- **Accesibilidad y formatos abiertos:** La Directiva obliga a las administraciones públicas a poner sus datos a disposición en formatos legibles por máquina, abiertos y estandarizados. Esto incluye formatos como CSV, JSON y RDF, que permiten la interoperabilidad entre sistemas.
- **Licencias abiertas:** Establece el uso de licencias abiertas y claras que permitan la reutilización sin restricciones significativas, como Creative Commons.

- **Amplitud de aplicación:** Su ámbito no se limita a un sector específico, abarcando desde datos meteorológicos y mapas hasta datos del transporte y estadísticas públicas.
- **Evolución normativa:** La Directiva original (2003/98/CE) [21] ha sido modificada, incluyendo la Directiva (UE) 2019/1024 [17], que refuerza el acceso a datos dinámicos en tiempo real y fomenta la creación de APIs para facilitar la reutilización automatizada.

2.2.1.3 Relación con ITS

La Directiva PSI proporciona un marco normativo general que fomenta la apertura de datos, incluyendo los datos de transporte. Esto permite que las especificaciones ITS, como los Puntos de Acceso Nacional (NAPs), puedan alinearse con estos principios para garantizar que los datos de tráfico sean accesibles y útiles para desarrolladores, empresas y ciudadanos.

2.2.2 Directiva ITS 2010/40/UE

La Directiva **ITS 2010/40/UE** [18] fue adoptada por la Unión Europea en agosto de 2010 con el objetivo de crear un marco legal para facilitar el despliegue de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS) en el ámbito del transporte por carretera y sus interfaces con otros modos de transporte. Su enfoque principal es mejorar la interoperabilidad y la eficiencia de estos sistemas a nivel europeo, así como aumentar la seguridad y reducir el impacto ambiental del transporte.

2.2.2.1 Objetivos principales de la Directiva

Promover la interoperabilidad de los ITS: Asegura que los sistemas y servicios de transporte inteligente puedan comunicarse y funcionar entre sí en toda la Unión Europea.

Desplegar servicios ITS armonizados: Fomenta el uso de servicios ITS comunes en los países miembros, basándose en especificaciones técnicas compartidas.

Mejorar la seguridad vial: Mejorar la seguridad en las carreteras mediante la implementación de servicios ITS como la información de tráfico en tiempo real y el monitoreo de condiciones de la carretera.

Fomentar la eficiencia y sostenibilidad del transporte: Facilitar un uso más eficiente de la infraestructura de transporte, reduciendo los tiempos de viaje, el consumo de combustible y las emisiones contaminantes.

2.2.2.2 Áreas prioritarias

La Directiva establece cuatro áreas prioritarias en las que los Estados miembros deben centrar sus esfuerzos:

- **Optimización del uso de datos de transporte y carreteras:** Se enfoca en la recopilación y el intercambio de datos de tráfico, facilitando la toma de decisiones en tiempo real.
- **Continuidad de los servicios ITS:** Asegura la continuidad de los servicios ITS a lo largo de los corredores de transporte europeo y en zonas urbanas.
- **Seguridad y protección del tráfico:** Aborda aspectos como la prevención de accidentes y el monitoreo de riesgos.
- **Interconexión entre vehículos e infraestructuras de transporte:** Promueve la comunicación directa entre vehículos y la infraestructura, como semáforos inteligentes o zonas de recarga para vehículos eléctricos.

2.2.2.3 Reglamentos delegados

La Directiva permite a la Comisión Europea adoptar Reglamentos delegados para desarrollar especificaciones técnicas para cada una de estas áreas prioritarias. Estas regulaciones delegadas aseguran que los servicios ITS en la UE sigan un estándar común, lo cual es esencial para su compatibilidad e interoperabilidad. Se describen a continuación la relación de los diferentes Reglamentos delegados con sus correspondientes especificaciones:

- **Reglamento Delegado (UE) N.º 885/2013:** Establece especificaciones para asegurar la compatibilidad, interoperabilidad y continuidad de los servicios de información sobre lugares de estacionamiento seguros y protegidos para camiones y vehículos comerciales. Este reglamento ayuda a prevenir que los camiones estacionen en los arcones y permite a los conductores cumplir con la legislación sobre tiempos de conducción de manera segura [22].
- **Reglamento Delegado (UE) N.º 886/2013:** Define las especificaciones necesarias para asegurar la compatibilidad, interoperabilidad y continuidad en el despliegue y uso de datos y procedimientos para ofrecer, cuando sea posible, información mínima y universal sobre seguridad vial gratuita para los usuarios [23].
- **Reglamento Delegado (UE) N.º 2015/962:** Establece especificaciones para garantizar la accesibilidad, intercambio, reutilización y actualización de datos de carreteras y tráfico por parte de autoridades viales, operadores de carreteras y proveedores de servicios. Este reglamento se enfoca en la provisión de servicios de información de tráfico en tiempo real a nivel de la UE [24].
- **Reglamento Delegado (UE) 2017/1926:** Define las especificaciones necesarias para asegurar la exactitud y disponibilidad transfronteriza de los servicios de información de viajes multimodales a nivel de la UE, beneficiando a los usuarios de ITS en todo el territorio europeo [25].

2.2.2.4 Implementación y monitoreo

La Directiva también establece la creación de NAPs en cada país miembro, a través de los cuales los datos de transporte deben publicarse para que sean accesibles a los servicios ITS. Además, la Comisión Europea colabora con un grupo asesor para la evaluación y actualización periódica de estas especificaciones.

En resumen, la Directiva ITS 2010/40/UE establece el marco para una implementación armonizada de tecnologías ITS en la UE, abordando los desafíos de interoperabilidad, seguridad y sostenibilidad en el transporte por carretera y facilitando la transición hacia una movilidad más inteligente y eficiente.

2.2.2.5 Puntos de Acceso Nacional (NAPs) y Estandarización de Metadatos

La Directiva ITS 2010/40/UE y sus Reglamentos delegados (Reglamentos 2017/1926, 885/2013, 886/2013 y 2015/962) establecen la obligación de que cada Estado Miembro de la Unión Europea implemente un NAP. Estos NAPs funcionan como plataformas centrales que permiten la publicación y descubrimiento de datos relacionados con tráfico y viajes dentro del ámbito nacional, facilitando la interoperabilidad y el acceso a los servicios de transporte inteligentes (ITS) en toda Europa.

2.2.2.6 Ecosistema de los NAPs

Los NAPs se conciben como nodos clave dentro del marco de la Directiva ITS para la provisión de datos y servicios. El concepto de estos puntos de acceso no solo abarca la publicación de

conjuntos de datos (datasets), sino también su contextualización mediante metadatos estandarizados, que describen la estructura, contenido y propósito de los datos disponibles. Esto permite a los usuarios potenciales descubrir, interpretar y reutilizar los datos de forma efectiva.

Además, los NAPs no se limitan únicamente a proporcionar datos, sino que pueden también soportar servicios específicos, como la planificación de rutas multimodales o servicios de búsqueda geográfica. Por ejemplo, un NAP podría ofrecer un servicio para calcular rutas basado en un conjunto de datos que describe la red vial, alineándose así con el Reglamento delegado 2017/1926. Esta capacidad para soportar tanto datos como servicios garantiza que los NAPs sean herramientas fundamentales para la implementación de ITS armonizados a nivel europeo.

2.2.2.7 Metadatos en los NAPs

Los requisitos para la publicación de datos en la web provienen de diversas fuentes. Para los profesionales de la web, la principal referencia es el W3C con sus especificaciones abiertas; en cambio, para las autoridades públicas, la legislación europea emitida por el Parlamento Europeo, en forma de directivas y reglamentos delegados, es el marco normativo principal. La Unión Europea pone especial énfasis en la apertura de datos gestionados por el Estado mediante la Directiva PSI y la Directiva ITS, aunque esta última aborda solo un subconjunto específico de datos. Ambos enfoques coinciden en la necesidad de descripciones claras, comprensibles y legibles por máquinas, y, en el contexto de datos abiertos enlazados, también en la clasificación del contenido de los datos mediante ontologías generalmente aceptadas que permitan su procesamiento automático.

Las descripciones de datos pueden representarse en distintas formas y variantes, entre las que destacan:

- **DCAT** (Data Catalog Vocabulary): Ontología publicada por el W3C como estándar para la representación de metadatos en portales de datos abiertos. Incluye clases y propiedades obligatorias, recomendadas y opcionales [26].
- **DCAT-AP** (Application Profile for Data Portals in Europe): Perfil europeo de DCAT diseñado para describir conjuntos de datos del sector público en Europa, facilitando el intercambio de descripciones entre datasets. Actualmente en su versión 3.0.0, cuenta con extensiones específicas por país, lo que ha generado problemas de interoperabilidad debido a diferencias en atributos como opcionalidad y cardinalidad.
 - Cada país ha desarrollado su propia versión de DCAT-AP, lo que ha dado lugar a desafíos, como se detalla en el informe *"DCAT-AP and its extensions: Context and evolution"* (febrero de 2018). Además, algunos países emplean DCAT-AP o SPA CMC para sus NAPs.
- **GeoDCAT-AP**: Extensión de DCAT-AP para describir datos y servicios geoespaciales [27].
- **StatDCAT-AP**: Extensión de DCAT-AP para conjuntos de datos estadísticos [28].
- **TransportDCAT-AP**: Extensión de DCAT-AP para datos de transporte público, enfocada en metadatos relacionados con transporte [29].
- **SPA CMC** (Single Point of Access Coordinated Metadata Catalogue): Catálogo desarrollado por el proyecto EU-EIP para la descripción de metadatos en los NAPs. Aunque especifica cómo deben describirse los datos, no define el formato para publicar estos metadatos.

Los metadatos legibles por máquina recurren a vocabularios o ontologías específicas. El catálogo de metadatos debe especificar qué vocabularios se utilizan, entre los cuales los más comunes son:

- **SKOS**: Sistema de organización de conocimiento simple que incluye vocabularios planos como dcat:theme, dct:format, dct:language, dct:publisher, entre otros [30].
- **Ontologías externas**: Vocabularios como dct:spatial (geoespacial), dct:type (tipos de licencia) o dcatap:availability (disponibilidad de distribución).

Una de las plataformas más utilizadas para la publicación de datos abiertos es **CKAN**[31], que requiere extensiones para implementar funcionalidades de datos enlazados:

- **CKANEXT-HARVEST**: Marco común de recolección para CKAN, que añade una interfaz de línea de comandos (CLI) y una interfaz web (WUI) para gestionar fuentes y trabajos de recolección [32].
- **CKANEXT-DCAT**: Permite a CKAN exponer y consumir metadatos de otros catálogos mediante documentos RDF serializados con DCAT [33].

Los catálogos de metadatos en formato RDF pueden serializarse en varias representaciones, como RDFa (HTML), Notation 3, Turtle, N-triples o JSON-LD, entre otros.

Por razones de intercambio de datos, compatibilidad e interoperabilidad, los socios responsables de Países Bajos, Alemania, Austria y Suecia desarrollaron **SPA CMC** (Single Point of Access Coordinated Metadata Catalogue) [34] antes comentado.

Este catálogo describe los elementos de metadatos más importantes, proporciona una descripción técnica de los mismos y contiene toda la información necesaria para la definición de metadatos requerida para cumplir con las obligaciones de los NAPs nacionales.

Por otro lado, DCAT-AP clasifica y agrupa los datos en 13 temas o categorías diferentes. Dentro de estas, se define la categoría de Transporte (código = TRAN). DCAT-AP facilita definiciones sobre metadatos, definiciones de vocabulario común, un formato de intercambio definido en RDF y XML y posibilidad de intercambio y compartición de máquina a máquina.

Para cumplir con los requisitos de los Reglamentos delegados relacionados con el formato de intercambio definido por DCAT-AP, se logra una particular armonización de datos a través de la estandarización, utilizando diversos estándares para describir datos de tráfico. El estándar más representado en los Reglamentos delegados es DATEX II.

Históricamente, los metadatos en muchos portales nacionales, incluido el NAP español previo a la elaboración de esta tesis, se limitaban a ser legibles por humanos. La transición hacia modelos RDF basados en vocabularios estándar (por ejemplo, DCAT, DCAT-AP) es un paso clave para facilitar consultas automatizadas y enriquecer el ecosistema de datos.

El **SPA Coordinated Metadata Catalogue** (v2.0, 15 de noviembre de 2019) será considerado como una fuente potencial para extender el vocabulario de metadatos DCAT-AP (v3.0.0) en la presente tesis.

2.2.2.8 DATEX II: El estándar clave para ITS

El formato **DATEX II** [19], seleccionado por la Unión Europea como estándar para la provisión de datos de tráfico, juega un papel central en la interoperabilidad de los servicios ITS. Este estándar, desarrollado bajo el comité técnico CEN/TC 278/WG 8, proporciona especificaciones técnicas para el intercambio de datos relacionados con el tráfico, garantizando una integración fluida entre centros de control de tráfico y otros actores del ecosistema ITS.

DATEX II ha sido adoptado como parte de la estrategia de armonización técnica europea, con el objetivo de fomentar carreteras más seguras, reducir la congestión y minimizar el impacto ambiental.

2.2.2.9 Impacto en la investigación

La implementación de NAPs y el uso de estándares como DCAT-AP y DATEX II son fundamentales para la interoperabilidad y accesibilidad de los datos de transporte en Europa. Esto no solo respalda los principios FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable), sino que también proporciona un marco técnico sólido para la publicación y reutilización de datos. En el contexto de esta tesis, la alineación con estos estándares asegura que los datos semantizados puedan integrarse y reutilizarse en aplicaciones avanzadas de ITS, apoyando el desarrollo de una movilidad inteligente y sostenible.

2.2.3 Relación entre Directivas PSI e ITS

Las Directivas PSI (Public Sector Information) e ITS (Intelligent Transport Systems) tienen objetivos, alcance y aplicaciones diferentes, aunque ambas comparten un enfoque en la reutilización de datos y la interoperabilidad. A continuación, se realiza análisis de sus diferencias clave.

La relación entre el propósito y el enfoque de las Directivas PSI e ITS refleja las diferentes áreas de interés que abordan. La Tabla 1 resume estas diferencias, destacando el objetivo general y los aspectos específicos de cada directiva.

Propósito y Enfoque

Directiva PSI	Directiva ITS
Se centra en la reutilización de la información del sector público (PSI), promoviendo su accesibilidad y uso para fines económicos, sociales y de innovación.	Dirigida específicamente a los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS), con el objetivo de implementar soluciones tecnológicas que mejoren la movilidad, la seguridad y la eficiencia del transporte.
Propósito general: fomentar la economía digital y la innovación mediante la reutilización de datos públicos.	Propósito específico: armonizar e interoperar tecnologías ITS en Europa para transporte por carretera y conexiones multimodales.

Tabla 1: Tabla relación directivas PSI e ITS propósito y enfoque

En cuanto al ámbito de aplicación, ambas directivas presentan diferencias significativas en términos de alcance y sectores abordados. La Tabla 2 expone estas distinciones de manera detallada.

Ámbito de Aplicación

Directiva PSI	Directiva ITS
Cubre todos los datos generados por el sector público, incluidos mapas, estadísticas, datos meteorológicos, datos del transporte, etc.	Se limita al ámbito del transporte, con un enfoque en el tráfico por carretera y su integración con otros modos de transporte.
No está vinculada a un sector específico, aplicándose a cualquier información de interés público.	Aplica específicamente a datos de tráfico, movilidad y transporte relacionados con ITS.

Tabla 2: Tabla relación directivas PSI e ITS ámbito de aplicación

Los requisitos específicos de las Directivas PSI e ITS reflejan su compromiso con la interoperabilidad y la reutilización de datos. La Tabla 3 muestra una comparación entre los estándares exigidos por cada directiva.

Requisitos Específicos

Directiva PSI	Directiva ITS
Obliga a las administraciones públicas a publicar datos en formatos abiertos y reutilizables, facilitando su acceso y uso.	Exige la creación de Puntos de Acceso Nacional (NAPs) para compartir datos relacionados con el transporte y la movilidad.
Enfatiza la apertura de datos bajo licencias abiertas y estándares de interoperabilidad (por ejemplo, DCAT-AP).	Impone especificaciones técnicas específicas a través de reglamentos delegados, como DATEX II para datos de tráfico.

Tabla 3: Tabla relación directivas PSI e ITS requisitos específicos

La Tabla 4 presenta los estándares y tecnologías clave utilizados por cada directiva para garantizar la interoperabilidad de los datos y servicios.

Estándares y Tecnologías

Directiva PSI	Directiva ITS
Promueve estándares abiertos y generales para la descripción y publicación de datos (por ejemplo, DCAT, JSON, RDF).	Utiliza estándares específicos del transporte, como DATEX II, para la interoperabilidad de datos de tráfico.
Su enfoque es más amplio, permitiendo flexibilidad en los formatos y estándares utilizados por los Estados Miembros.	Fija estándares técnicos detallados para asegurar la interoperabilidad en servicios ITS, como GeoSPARQL para datos geoespaciales.

Tabla 4: Tabla relación directivas PSI e ITS estándares y tecnologías

Finalmente, la Tabla 5 explora el impacto y los beneficiarios principales de las Directivas PSI e ITS, destacando sus contribuciones a distintos sectores.

Impacto y Beneficiarios

Directiva PSI	Directiva ITS
Beneficia principalmente a desarrolladores, empresas y ciudadanos interesados en reutilizar datos públicos para crear aplicaciones y servicios.	Beneficia a operadores de transporte, autoridades viales, desarrolladores de ITS y ciudadanos que usan servicios de transporte inteligentes.
El impacto se observa en sectores diversos, desde la economía digital hasta la investigación.	El impacto está restringido al ámbito del transporte, con un énfasis en mejorar la movilidad y la seguridad vial.

Tabla 5: Tabla relación directivas PSI e ITS impacto y beneficiarios

Sinergias:

- Ambas directivas buscan facilitar el acceso y la reutilización de datos públicos, promoviendo la transparencia y la interoperabilidad.
- La Directiva PSI establece principios generales para la apertura de datos que la Directiva ITS aplica específicamente al transporte, integrando requisitos técnicos como la creación de NAPs y el uso de estándares específicos.

Diferencias clave

- La Directiva PSI tiene un alcance general y no está limitada a ningún sector, mientras que la Directiva ITS se centra exclusivamente en los sistemas de transporte inteligente.
- La Directiva ITS incluye especificaciones técnicas detalladas (por ejemplo, DATEX II), mientras que la PSI promueve estándares abiertos generales, como DCAT y JSON-LD.

Impacto conjunto

- La combinación de ambas directivas fomenta un ecosistema de datos abiertos e interoperables que apoya la creación de servicios innovadores en transporte y movilidad.
- La integración de principios generales de apertura (PSI) y especificaciones técnicas (ITS) facilita la transición hacia una movilidad inteligente y sostenible.

2.2.4 Análisis del marco legal en España

2.2.4.1 Transposición de la Directiva PSI en España

La Directiva PSI (Public Sector Information) ha tenido un impacto significativo en la apertura de datos públicos en España. Desde su adopción inicial en 2003 y sus revisiones posteriores, España ha adaptado su marco normativo para alinearse con los principios de esta directiva, promoviendo la reutilización de información del sector público como recurso estratégico para la innovación y la transparencia.

La transposición a la legislación española y el resto de regulaciones se muestra en la ilustración 1.

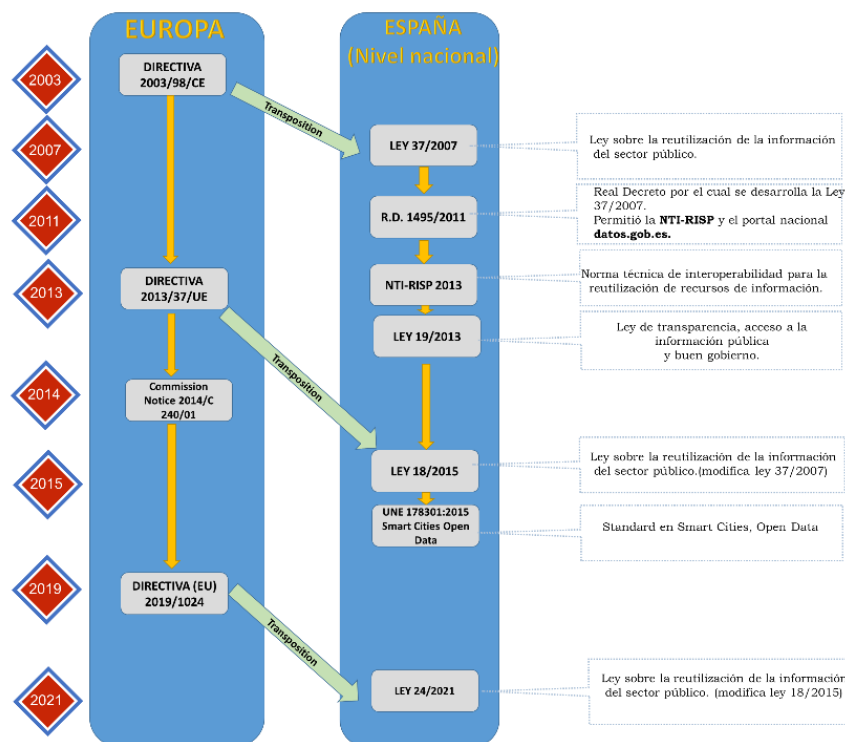


Ilustración 1: Documentos legislativos clave transposición directivas.

2.2.4.1.1 Ley 37/2007, de 16 de noviembre

La Ley 37/2007 [35], de 16 de noviembre fue la primera normativa en España que transponía la Directiva 2003/98/CE. Establece las bases para la reutilización de documentos del sector público y abarca todas las administraciones y entidades públicas del país. Algunos aspectos destacados de esta ley son:

- **Reutilización de documentos:** Permite la reutilización sin necesidad de licencia, salvo que se establezcan condiciones específicas mediante licencias tipo.
- **Formatos accesibles:** Se promueve la publicación en medios electrónicos y formatos accesibles para personas con discapacidad.
- **Condiciones generales de uso:** Prohíbe la alteración de los datos y exige citar la fuente y la fecha de la última actualización.
- **Régimen sancionador:** Incluye un catálogo de infracciones y sanciones relacionadas con el uso indebido de los datos.

2.2.4.1.2 Real Decreto 1495/2011, de 24 de octubre

Este decreto detalla el alcance de la Ley 37/2007 para la Administración General del Estado [36], sirviendo como modelo para administraciones autonómicas y locales. Entre sus disposiciones se encuentran:

- Publicación preferente en **formatos electrónicos reutilizables**.
- Creación de un catálogo de datos reutilizables para facilitar el acceso.

2.2.4.1.3 Norma Técnica de Interoperabilidad para la Reutilización de Información del Sector Público (NTI-RISP)

La **Norma Técnica de Interoperabilidad sobre Reutilización de Información del Sector Público (NTI-RISP)** [37], publicada en 2013, establece un conjunto de directrices y requisitos técnicos con el objetivo de garantizar la interoperabilidad en la publicación y reutilización de datos del sector público. A continuación, se amplían los puntos clave mencionados:

Metadatos mínimos obligatorios

La NTI-RISP define un conjunto de metadatos que deben acompañar a los conjuntos de datos publicados para garantizar su descripción adecuada y su fácil localización y reutilización. Entre los elementos obligatorios destacan:

- **Descripción del conjunto de datos:** Proporciona un resumen claro sobre el contenido, contexto y propósito de los datos.
- **Fecha de última actualización:** Asegura que los usuarios puedan identificar la actualidad y relevancia de los datos.
- **Licencia:** Especifica las condiciones de uso y reutilización de los datos, promoviendo licencias abiertas para fomentar la accesibilidad.
- **Formato:** Indica el formato en que se publican los datos, priorizando aquellos que sean reutilizables y legibles por máquinas, como CSV, RDF o JSON.

Estos metadatos no solo mejoran la calidad de los datos publicados, sino que también facilitan su integración en sistemas interoperables y su descubrimiento por parte de los usuarios.

Uso de vocabularios y estándares internacionales

La norma enfatiza el uso de vocabularios controlados y estándares internacionales ampliamente aceptados, con el objetivo de garantizar la interoperabilidad semántica entre distintos sistemas. Algunos ejemplos incluyen:

- **Dublin Core:** Para la descripción de recursos informativos.
- **SKOS:** Para la organización jerárquica y estructurada del conocimiento.
- **ISO 8601:** Para la representación estándar de fechas y tiempos.
- **DCAT:** Para la descripción de catálogos de datos abiertos, promoviendo la alineación con perfiles como el DCAT-AP europeo.

Al adoptar estos vocabularios, la NTI-RISP facilita que los datos publicados en España puedan ser interpretados, combinados y reutilizados en contextos internacionales.

Guías para la aplicación en distintos niveles administrativos

La NTI-RISP [38] incluye orientaciones específicas para su implementación en los niveles estatal, autonómico y local, reconociendo la diversidad y complejidad administrativa de España. Esto permite:

- **Homogeneidad en la publicación de datos:** Aunque cada nivel administrativo puede tener prioridades distintas, la norma asegura un enfoque coherente para la publicación de datos.
- **Flexibilidad en la extensión de los metadatos:** Se permite que las administraciones amplíen los metadatos según sus necesidades específicas, siempre y cuando estas extensiones estén documentadas y se alineen con vocabularios estándar.
- **Recomendaciones prácticas:** Ofrece ejemplos y casos de uso para guiar a las administraciones en la aplicación efectiva de la norma.

2.2.4.1.4 Ley 18/2015, de 9 de julio

La ley 18/2015 [39] modificó la Ley 37/2007 para incorporar las disposiciones de la Directiva 2013/37/UE . Las principales novedades fueron:

- Promoción de **formatos abiertos y legibles por máquina**, junto con metadatos adecuados.
- Fomento del uso de **licencias abiertas** para maximizar la reutilización.
- Inclusión de excepciones limitadas en acuerdos de exclusividad para recursos culturales (museos, archivos y bibliotecas).

2.2.4.1.5 UNE 178301:2015 Ciudades Inteligentes Datos Abiertos (AENOR)

La Norma UNE 178301:2015 Ciudades Inteligentes Datos Abiertos (AENOR) [40] evalúa el nivel de madurez de un proyecto de datos abiertos, facilitando su implementación y mejora continua, teniendo en cuenta aspectos que afectan y fomentan la sostenibilidad, calidad, eficiencia y efectividad del proyecto. Incluye un listado de 11 conjuntos de datos considerados prioritarios: catálogo de comercios, agenda cultural, población (padrón municipal), calidad del aire, contratos, presupuesto inicial y de ejecución, aparcamientos públicos, autobús regular, estado del tráfico, puntos de interés y callejero. Además, incluye un vocabulario recomendado para optimizar la publicación de los datos, enmarcado en el paradigma de Datos Enlazados. El informe

“Vocabularios de representación de datos abiertos en Ciudades Digitales” [9] proporciona un análisis de esta Norma Técnica.

2.2.4.1.6 Real Decreto-ley 24/2021

El Real Decreto-ley 24/2021 [41], de 2 de noviembre, transpone varias directivas de la Unión Europea, incluyendo la Directiva (UE) 2019/1024 sobre datos abiertos y reutilización de la información del sector público. Esta transposición introduce cambios significativos respecto a la normativa anterior, que se detallan a continuación:

Ampliación del Ámbito de Aplicación:

- **Empresas Públicas:** Se extiende la obligación de facilitar la reutilización de información a empresas públicas, incluyendo entidades que operan en sectores como el transporte y la energía.
- **Datos de Investigación:** Se promueve la disponibilidad de datos resultantes de investigaciones financiadas con fondos públicos, fomentando su reutilización para impulsar la innovación y el desarrollo científico.

Formatos Abiertos y Legibles por Máquina:

- Se refuerza la obligación de que los datos se publiquen en formatos abiertos y legibles por máquina, facilitando su accesibilidad y procesamiento automatizado.

Limitación de Exclusividades:

- Se restringen los acuerdos de exclusividad en la reutilización de información del sector público, permitiéndose únicamente en casos justificados y por un período limitado, para evitar prácticas que puedan limitar el acceso a la información.

Gratuidad y Transparencia en los Costes:

- Se establece el principio de gratuidad en la reutilización de la información, permitiendo la imposición de tarifas solo en casos excepcionales y bajo criterios transparentes, para garantizar que los costes no sean una barrera para el acceso a los datos.

Nuevas Obligaciones para los Organismos Públicos:

- Se imponen obligaciones adicionales a los organismos públicos para facilitar la disponibilidad de datos dinámicos a través de interfaces de programación de aplicaciones (APIs), promoviendo su actualización en tiempo real y su integración en servicios digitales.

Estos cambios buscan fomentar una mayor apertura y reutilización de la información del sector público, alineándose con los objetivos de la Unión Europea de promover la economía digital y la transparencia gubernamental.

2.2.4.1.7 Estrategias complementarias

En el marco del impulso por la reutilización de datos públicos, diversas iniciativas y normativas han surgido como complemento a la Directiva PSI, fomentando la colaboración entre

administraciones, empresas y ciudadanos. Estas estrategias buscan no solo garantizar el acceso a la información, sino también maximizar su utilidad mediante herramientas prácticas, normativas regionales y enfoques específicos adaptados a las necesidades locales.

- **Iniciativa APORTA:** Lanzada en 2009 para promover la apertura y reutilización de información pública. Se articula en torno a la plataforma nacional **datos.gob.es**, que actúa como punto de encuentro para administraciones, empresas y ciudadanos interesados en datos abiertos [42].
- **Normas regionales y locales:** Muchas comunidades autónomas y municipios han desarrollado regulaciones específicas basadas en la Ley 37/2007, como las ordenanzas de Zaragoza y Santander.

2.2.4.2 Transposición de la Directiva ITS en España

La transposición de la Directiva ITS (2010/40/EU) en España ha supuesto un marco estratégico para implementar Sistemas de Transporte Inteligente (ITS) que mejoren la seguridad vial, la interoperabilidad de los servicios y la sostenibilidad del transporte. Este apartado analiza las acciones legislativas, regulatorias y prácticas llevadas a cabo para cumplir con los objetivos de la Directiva y sus Reglamentos Delegados.

2.2.4.2.1 Marco General de Implementación en España

Según se puede observar en la ilustración 2, España ha dividido las competencias relacionadas con ITS entre diferentes organismos, destacando:

- **Dirección General de Tráfico (DGT):** Responsable de la gestión del tráfico en carreteras interurbanas en la mayoría del territorio.
- **Ministerio de Transportes y Movilidad y Sostenible (MTMS):** Encargado de la regulación del transporte y la creación de puntos nacionales de acceso (NAPs) específicos.
- **Administraciones autonómicas:** Gestión del tráfico en Cataluña (Servicio Catalán de Tráfico - SCT) y País Vasco (Departamento de Tráfico - DT).



Ilustración 2: Administraciones de Tráfico de España. Fuente [43]

La implementación de ITS en España ha sido esencial para gestionar un territorio extenso de 504.750 kilómetros cuadrados, con más de 330,000 km de carreteras. Esta estructura ha facilitado la adopción de iniciativas clave como los NAPs, aunque también ha planteado desafíos en la armonización de estándares.

2.2.4.2.2 Cumplimiento normativo de los Reglamentos delegados de la Directiva ITS 2010/40/EU en España.

El cumplimiento de los Reglamentos delegados de la Directiva **ITS 2010/40/EU** en España ha requerido la implementación de diversas medidas normativas y operativas. Estas acciones han sido lideradas principalmente por la Dirección General de Tráfico (DGT) y el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, quienes han desarrollado infraestructuras y herramientas específicas para garantizar el acceso a la información y la interoperabilidad. A continuación, se detalla el estado actual del cumplimiento de los principales reglamentos delegados relacionados con la Directiva ITS, identificando avances y áreas de mejora

- **Reglamento delegado (UE) 885/2013: Aparcamientos Seguros para Camiones.** Este reglamento tiene como objetivo optimizar el uso de aparcamientos seguros para camiones y facilitar decisiones informadas sobre cuándo y dónde estacionar a través de servicios de información. En España, la Dirección General de Carreteras ha implementado un Punto Nacional de Acceso (NAP) gestionado por la Dirección de Gestión y Explotación de Carreteras para centralizar la información sobre aparcamientos seguros. Sin embargo, el cumplimiento es parcial, ya que actualmente solo se proporciona información estática sobre aparcamientos.

Reglamento delegado (UE) 962/2015: Información de Tráfico en Tiempo Real a Nivel de la UE. Este reglamento establece la accesibilidad y el intercambio de datos en tiempo real sobre el tráfico para mejorar la calidad del servicio a nivel de la UE. La DGT ha desarrollado un Punto Nacional de Acceso que proporciona información de tráfico en tiempo real de alta calidad, aunque aún persisten desafíos en la integración de datos de diversas fuentes y formatos reutilizables como RDF que se abordan en la presente tesis.

- **Reglamento delegado (UE) 886/2013: Información Básica sobre Seguridad Vial.** Este reglamento enfatiza la provisión de información mínima sobre seguridad vial de forma gratuita. La DGT publica esta información en tiempo real a través de su Punto Nacional de Acceso, incluyendo datos de tráfico de otras regiones autónomas como el País Vasco y Cataluña, así como información de datos abiertos de Madrid. Al ser una autoridad pública, la DGT ofrece estos datos de manera gratuita bajo una política de “open data”, aunque es necesario mejorar la accesibilidad y usabilidad de esta información. Los datos, previo a la elaboración de esta tesis se ofrecen en formato estático DATEX II XML.
- **Reglamento delegado (UE) 2017/1926: Información Multimodal de Viajes.** El Ministerio de Transportes y Movilidad sostenible, desarrolla y hace público en junio de 2021 un NAP específico para información multimodal, cumpliendo con el Reglamento 2017/1926, facilitando la creación de aplicaciones y servicios para el usuario.

2.2.4.2.3 Estado de Datos Abiertos y Desafíos en España

España es ampliamente reconocida como uno de los líderes en la implementación de datos abiertos, alcanzando un promedio del 95 % en el Informe de Madurez de Datos Abiertos 2024

[44]. Sin embargo, a pesar de este reconocimiento, varios portales de datos abiertos presentan deficiencias importantes que limitan su potencial. Entre los desafíos más notables se encuentran la falta de APIs para acceso automatizado, información geográfica insuficiente (como referencias de ubicación) y la no conformidad con el estándar de catálogo de metadatos alineado con DCAT-AP.

El Portal Nacional de Datos Abiertos [45], emplea el catálogo de metadatos DCAT-AP con una extensión adaptada al contexto español, lo que permite la integración de catálogos locales y la publicación de APIs. Este portal ofrece acceso robusto a la información mediante un punto SPARQL, con 2,106 conjuntos de datos relacionados con el transporte en diversos formatos. No obstante, persisten áreas de mejora, especialmente en la integración y armonización de datos para maximizar su interoperabilidad.

La infraestructura del Punto de Acceso Nacional (NAP) español [46], previa a la investigación de esta tesis, se presentó como una plataforma web básica que centralizaba publicaciones de tráfico de varios proveedores, con la Dirección General de Tráfico (DGT) como principal recurso. Aunque los datos estaban disponibles para descarga a través del portal de distribución, esta versión inicial enfrentaba importantes limitaciones en términos de usabilidad y descubrimiento de datos.

Por ejemplo, aunque los conjuntos de datos se ofrecían de forma gratuita bajo una licencia sectorial aceptada al momento de la descarga, no se brindaba orientación suficiente sobre su uso. Además, los metadatos publicados eran legibles solo por humanos, careciendo de un catálogo RDF que facilitara la búsqueda automatizada de información específica. Esto dificultaba el acceso eficiente y la reutilización de los datos, además de carecer de un sistema para registrar datos en el NAP o de contactos visibles para los operadores.

Los datos disponibles en el NAP incluían incidentes de tráfico, cámaras y señales de mensaje variable, basados en el modelo DATEX II versión 3.0. Sin embargo, antes de la implementación de las mejoras propuestas en esta tesis, los datos no estaban semantizados, lo que limitaba su capacidad para integrarse en ecosistemas de datos enlazados LOD y para ser reutilizados de manera efectiva junto con otras fuentes de información.

2.2.4.2.4 Puntos de Mejora del Caso del NAP español:

El Punto de Acceso Nacional (NAP) español, aunque funcional en su configuración inicial, presenta diversas áreas de mejora que podrían potenciar significativamente su utilidad y alinearlos con los estándares internacionales de interoperabilidad y reutilización de datos. Estas mejoras son esenciales para optimizar el acceso y la calidad de la información publicada, así como para promover la integración con otros ecosistemas de datos abiertos y enlazados. A continuación, se destacan los principales aspectos a reforzar para maximizar el impacto y la eficiencia del NAP español.

- **Gestión de Metadatos:** Implementar un sistema adecuado con capacidad de gestión de metadatos que permita servicios de descubrimiento y acceso a través de API.
- **Formatos LOD:** Difundir datos en formatos LOD (RDF, OWL, JSON-LD, etc.), ya que previo a la elaboración de esta tesis solo estaban disponibles DATEX XML, XML y KML (Ayuntamiento de Madrid) en la plataforma del NAP español.
- **Metadatos para el Catálogo:** No sólo usar metadatos para describir conjuntos de datos, sino también incluir metadatos específicos para el catálogo de conjuntos de datos.

- **Publicación de Información Variada:** Ampliar la publicación de otros tipos de información a través del Portal de Datos Europeo (EDP), especialmente en lo que respecta a incidencias tráfico SRTI formato LOD .

2.2.5 Conclusiones Generales

España cumple con los reglamentos y especificaciones de RTTI, SRTI y SSTP a nivel nacional, y está desarrollando servicios de información como MMTIS y eCall a través de su participación en proyectos internacionales. Los NAP en España utilizan principalmente el formato DATEX II y formatos estandarizados para la recopilación de datos estáticos y dinámicos. No obstante, existen áreas de mejora, especialmente en la armonización para el intercambio de datos a nivel internacional entre NAPs de diferentes Estados Miembros. Esto requiere una estructura organizativa y un nivel de estandarización en catálogos de datos y metadatos para facilitar las relaciones entre las bases de datos abiertas disponibles.

La falta de semantización en **DATEX II versión 3.0** implica que los datos, aunque estructurados, no están enriquecidos con significado explícito ni vinculados a ontologías que permitan su interpretación automática en el contexto de la web semántica. Esto representa una barrera para su interoperabilidad, descubrimiento y reutilización en aplicaciones avanzadas, como sistemas de transporte inteligentes basados en datos abiertos.

Como parte de esta tesis, se ha trabajado en la **semantización de los datos DATEX II versión 3.0**, utilizando estándares como RDF y vinculándolos a ontologías específicas desarrolladas durante esta investigación. Este enfoque permite transformar los datos de tráfico en información semántica y enlazada, promoviendo su reutilización en aplicaciones ITS y en otros sistemas relacionados con la movilidad inteligente. Con ello, se busca superar las limitaciones identificadas en el estado del arte y contribuir a la evolución hacia un ecosistema de datos de transporte interoperables y accesibles.

Adicionalmente se encuentran carencias en acceso mediante APIs RESTful para mejorar la interoperabilidad y el uso de datos en tiempo real. Estas limitaciones serán abordadas en la investigación y desarrollo de procesos semánticos de la presente tesis.

El desarrollo de un marco normativo más claro y la mejora en la infraestructura tecnológica del NAP no solo beneficiaría a los gestores de tráfico, sino también a los usuarios finales, proporcionando información más accesible y útil para la toma de decisiones en el ámbito del transporte.

2.3 Análisis de la implementación de las Directivas ITS considerando la directiva PSI

2.3.1 Introducción a la implementación de la Directiva PSI en España

El portal europeo de datos, **data.europa.eu**, ha publicado el **Open Data Maturity Index 2024**[44], un informe que evalúa anualmente el nivel de madurez de los países europeos en materia de datos abiertos. Este año, participaron 34 países, incluidos los 27 Estados Miembros de la Unión Europea, tres países de la Asociación Europea de Libre Comercio (Islandia, Noruega y Suiza) y cuatro países candidatos (Bosnia y Herzegovina, Albania, Serbia y Ucrania).

En esta edición, España obtuvo una calificación total del **95% sobre 100%**, consolidándose como uno de los países con mejores prácticas en datos abiertos. España ocupa la **sexta posición general** y sigue formando parte del grupo de **países marcadores de tendencia (trendsetters)**,

junto con Francia, Polonia, Ucrania, Eslovaquia, Irlanda, Lituania, República Checa, Italia, Estonia y Chipre. Estos países lideran en la implementación de estrategias innovadoras y sostenibles en materia de datos abiertos (ilustraciones 3 y 4).

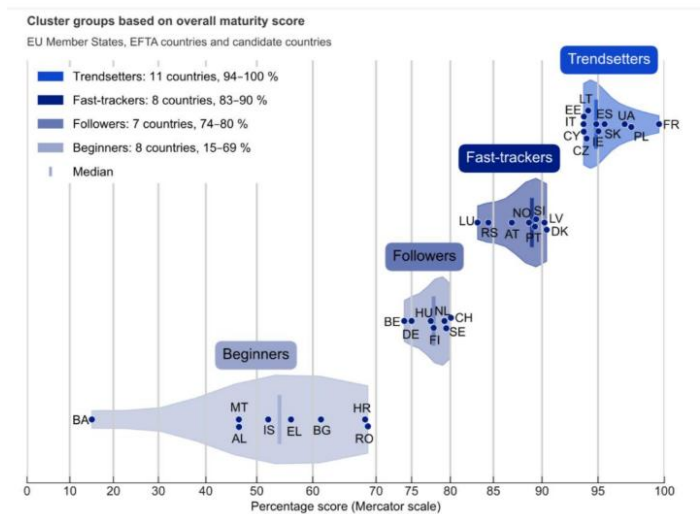


Ilustración 3: Grupos de países participantes en función de su puntuación global de madurez en datos abiertos. Fuente: [45]

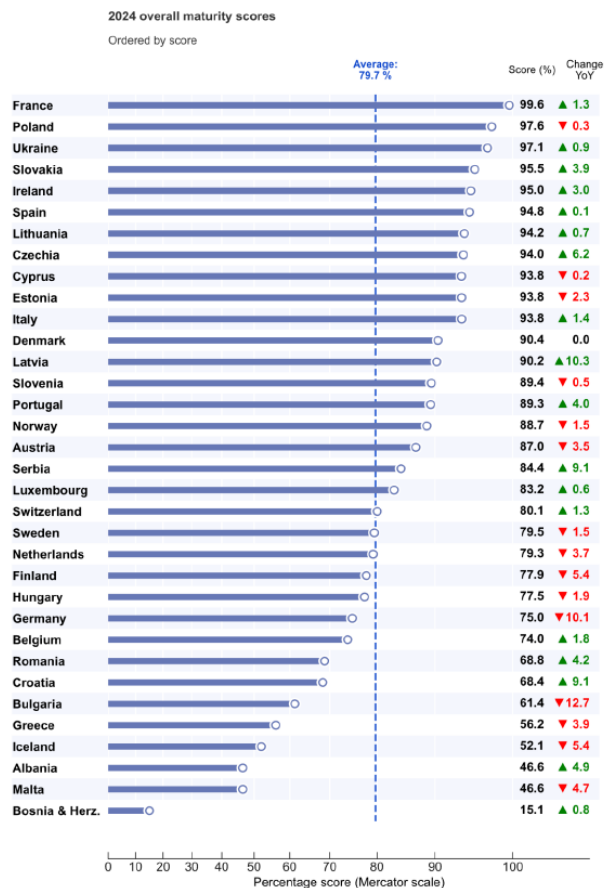


Ilustración 4: Puntuación promedio general de madurez de los portales de datos abiertos. Fuente: [45]

Análisis de las Dimensiones Evaluadas

El informe mide la madurez de los datos abiertos en función de cuatro dimensiones: **Política, Impacto, Portal y Calidad**. España supera la media de la UE27 en cada una de ellas, consolidando su posición como referente europeo.

1. Dimensión Política

España obtiene un **96%**, superando la media europea del **91%**. Los aspectos más destacados incluyen:

- **Alineamiento con las políticas europeas:** España está plenamente alineada con la Directiva Europea sobre datos abiertos y otras normativas recientes.
- **Planes de acción definidos:** Las estrategias nacionales incentivan la publicación de datos en tiempo real y datos generados por la ciudadanía.
- **Fortalecimiento de competencias:** Programas formativos han mejorado las habilidades de los funcionarios públicos, promoviendo una cultura del dato dentro de las administraciones.

2. Dimensión Impacto

Con una puntuación perfecta del **100%**, España lidera en esta dimensión, destacando por:

- **Colaboración multisectorial:** La interacción entre administraciones públicas, empresas privadas y la sociedad civil es ejemplar, con iniciativas como el informe anual de la Asociación Multisectorial de la Información (ASEDIE).
- **Reutilización en sectores clave:** Casos de éxito en áreas como medio ambiente, movilidad y energía subrayan el impacto tangible de los datos abiertos.
- **Innovación en comunicación:** Estrategias como la producción de podcasts y vídeos promocionales han concienciado a nuevas audiencias sobre el valor de los datos.

3. Dimensión Portal

España se posiciona como un referente con un **96%**, frente a la media europea del **82%**. Los puntos destacados son:

- **Sostenibilidad y mejora continua:** La plataforma nacional (datos.gob.es) se adapta constantemente a las demandas tecnológicas.
- **Interacción con los usuarios:** La promoción activa de datasets y los canales de solicitud de datos no disponibles fortalecen la experiencia del usuario.

4. Dimensión Calidad

España obtiene un **88%**, superando la media de la UE27 (79%). Entre sus fortalezas destacan:

- **Automatización de metadatos:** Herramientas avanzadas reducen la dependencia de procesos manuales y mejoran la actualización en tiempo real.
- **Guías prácticas:** Iniciativas para anonimización, publicación en formatos tabulares y el uso de APIs mejoran la calidad de los datos abiertos.

Recomendaciones y Retos

Aunque España sigue destacando en la UE gracias a su ecosistema de datos abiertos, el informe subraya áreas de mejora y ofrece recomendaciones clave para consolidar su posición de liderazgo:

- **Consolidar ecosistemas de datos abiertos:** Fortalecer comunidades temáticas de proveedores y reutilizadores, priorizando los conjuntos de datos de alto valor (HVDs).
- **Mejorar la coordinación:** Alinear la estrategia nacional con las necesidades de agencias y autoridades locales.
- **Desarrollar métricas de impacto:** Colaborar con universidades e instituciones para evaluar el impacto económico, ambiental y social de los datos abiertos.
- **Promover la calidad de los datos:** Adoptar tecnologías como la inteligencia artificial para validar y optimizar los estándares de publicación.
- **Fomentar casos de éxito:** Publicar ejemplos de reutilización innovadora que inspiren a otros actores a explorar nuevas aplicaciones de los datos.

2.3.2 Análisis de la implementación sectorial de la directiva PSI

El portal de datos abiertos español, **datos.gob.es**, ofrece un cuadro de mando interactivo que proporciona una visión integral sobre el estado y evolución de los datos abiertos en España. A través de gráficos dinámicos y métricas clave, el cuadro de mando permite explorar información detallada sobre los conjuntos de datos disponibles, sus formatos, categorías temáticas, y su nivel de reutilización.

2.3.2.1 Implementación considerando todas las administraciones

En el cuadro de mandos contemplando **todas las administraciones** se refleja un avance significativo en la publicación de datos abiertos, con formatos predominantes como **CSV (22.10%)** y **JSON (14.03%)**, ideales para análisis estructurados. Sin embargo, existen oportunidades para fortalecer su ecosistema de datos:

- **Adopción de formatos semánticos:** Incorporar formatos como RDF y JSON-LD permitirá alinear la publicación con estándares internacionales, facilitando la interoperabilidad y el acceso avanzado a los datos.
- **Mayor representación de datos geoespaciales:** Incrementar la disponibilidad de formatos como GeoJSON y Shapefiles es clave para abordar aplicaciones relacionadas con la movilidad, la sostenibilidad y la gestión territorial.
- **Transición desde formatos estáticos:** Reducir la dependencia de formatos como PDF y TIFF, transformándolos en formatos reutilizables como CSV o Excel, aumentará la utilidad práctica de los datos publicados.
- **Optimización de metadatos:** Automatizar la generación y actualización de metadatos garantiza información consistente y actualizada, mejorando la experiencia del usuario y el descubrimiento de datos.

En la ilustración 5 se muestra el porcentaje de distribuciones por formato teniendo en cuenta todas las administraciones de España.

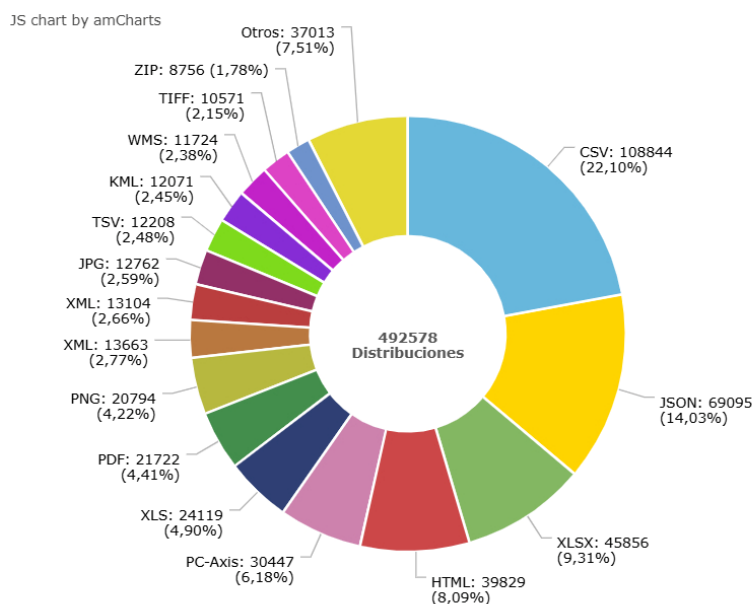


Ilustración 5: Porcentaje de distribuciones por formato, todas administraciones. Fuente: [45]

2.3.2.2 Implementación considerando las administraciones estatales

La administración estatal, a través del portal **datos.gob.es**, presenta una distribución diversificada de formatos de datos abiertos, liderada por **CSV (26.71%)**, **JSON (12.72%)** y **XLSX (12.43%)**, los cuales destacan por su utilidad en el análisis y reutilización de datos. Sin embargo, la inclusión de formatos como **HTML (16.09%)** y **PDF (9.13%)**, que no son adecuados para reutilización automatizada

A continuación, se señalan áreas de mejora para maximizar el impacto de los datos abiertos:

- **Aumentar el uso de formatos estructurados y semánticos:** Promover formatos como RDF y JSON-LD para facilitar la interoperabilidad y alinearse con estándares internacionales, especialmente en datos complejos y geoespaciales.
- **Reducir la publicación en formatos no reutilizables:** Disminuir el uso de formatos como HTML y PDF, que dificultan la automatización y el análisis de datos, promoviendo su conversión a formatos reutilizables como CSV o JSON.
- **Ampliar la disponibilidad de formatos geoespaciales:** Incorporar formatos como GeoJSON y Shapefiles para fortalecer aplicaciones en movilidad, urbanismo y sostenibilidad, respondiendo a las demandas de datos espaciales.
- **Mejorar la calidad y gestión de metadatos:** Implementar herramientas de automatización para garantizar metadatos estandarizados, actualizados y alineados con DCAT-AP, facilitando el descubrimiento y uso de los datos.
- **Fomentar la publicación de conjuntos de datos de alto valor (HVDs):** Priorizar la publicación de datos estratégicos en sectores clave como transporte, energía y medio ambiente, en cumplimiento con la normativa europea.
- **Capacitar a los editores de datos:** Proveer formación específica y guías prácticas para adoptar mejores estándares y prácticas de publicación, asegurando datos de calidad.

A continuación, en la ilustración 6 se muestra el porcentaje de distribuciones por formato teniendo en cuenta la administración estatal en España.

JS chart by amCharts

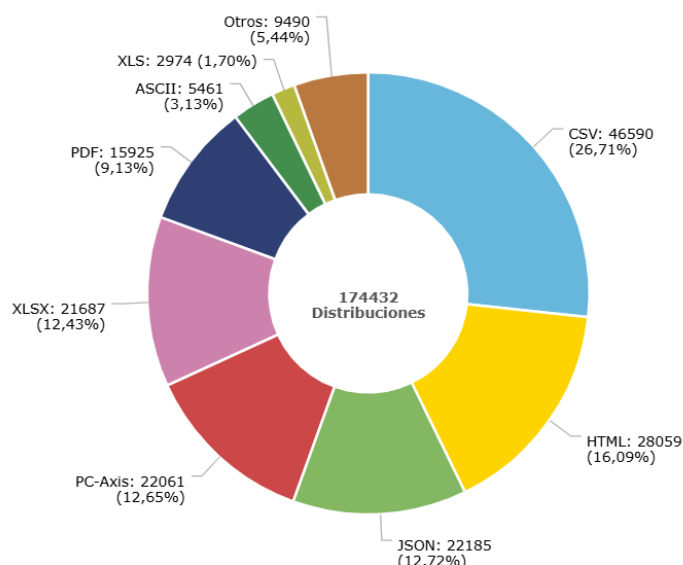


Ilustración 6: Porcentaje de distribuciones por formato, administración estatal. Fuente: [45]

2.3.2.3 Implementación considerando las administraciones autonómicas

En cuanto a la administración autonómica, basándonos en la estadística de distribuciones de la ilustración 7, muestra un uso diverso de formatos en la publicación de datos abiertos. Los formatos más destacados son **CSV (13.15%)**, **PNG (11.37%)**, y **JSON (11.18%)**, lo que indica una tendencia hacia formatos estructurados y visualmente interpretables. Sin embargo, se identifican oportunidades clave para mejorar la calidad y la reutilización de los datos.

Consideraciones de mejorar para las administraciones autonómicas:

- **Fortalecer el uso de formatos semánticos y reutilizables:** Aunque RDF/XML (2.17%) ya está presente, es necesario ampliar su adopción y complementar con formatos modernos como JSON-LD. Esto mejoraría la interoperabilidad y la integración de datos con estándares internacionales.
- **Reducir el uso de formatos visuales y estáticos:** La alta presencia de formatos como PNG (11.37%) y JPG (5.70%) limita la reutilización automática. Se recomienda transformar estos datos en formatos estructurados como CSV, JSON, o geoespaciales como GeoJSON, cuando sea pertinente.
- **Promover datos geoespaciales:** Formatos como KML (5.99%) y WMS (6.17%) son valiosos para aplicaciones geográficas. Se sugiere potenciar su disponibilidad y calidad para aplicaciones avanzadas en planificación territorial y movilidad.
- **Optimizar la gestión de metadatos:** La presencia de formatos como API (1.94%) indica un enfoque en acceso programático, pero esto debe complementarse con una mejora en los metadatos, asegurando su estandarización con perfiles como DCAT-AP para facilitar el descubrimiento y la reutilización.
- **Reducir la dependencia de formatos obsoletos o comprimidos:** El uso de XLS (4.44%), TSV (2.65%) y ZIP (2.89%) puede ser optimizado mediante la publicación directa en formatos más accesibles y ampliamente utilizados, como CSV o JSON, eliminando la necesidad de pasos adicionales de conversión.

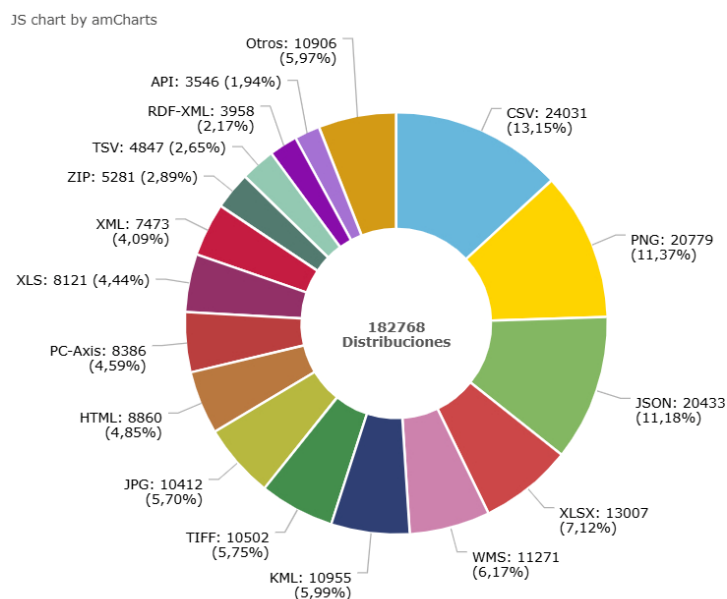


Ilustración 7: Porcentaje de distribuciones por formato, administraciones autonómicas. Fuente: [45]

2.3.2.4 Implementación considerando las administraciones locales

La administración local en España refleja un panorama diversificado en la publicación de datos abiertos, como se observa en la distribución de formatos. **CSV (26.50%)** lidera la estadística, seguido por **JSON (17.54%)** y **XLS (10.55%)**, lo que pone de manifiesto una preferencia hacia formatos estructurados que facilitan el análisis y la reutilización de los datos. Sin embargo, hay importantes áreas de mejora para maximizar el impacto y la utilidad de la información publicada.

Fortalezas Identificadas

- **Predominio de formatos reutilizables:** El uso extensivo de **CSV** y **JSON** muestra un compromiso por parte de la administración local para publicar datos en formatos ampliamente accesibles y compatibles con herramientas modernas de análisis.
- **Diversidad en los formatos:** La presencia de formatos como **XLSX (8.60%)** y **TSV (6.06%)** ofrece flexibilidad para los usuarios que prefieren opciones más específicas según sus necesidades.

Oportunidades de Mejora

- **Aumentar el uso de formatos semánticos:** Aunque se evidencia un uso moderado de **XML (4.11%)**, sería beneficioso complementar con formatos como **RDF** y **JSON-LD**, que facilitan la interoperabilidad en entornos de datos enlazados (Linked Data).
- **Reducir formatos obsoletos:** La publicación en **XLS (10.55%)** y **PDF (3.52%)** puede limitar la reutilización automatizada. Se recomienda transformar estos formatos en alternativas más estructuradas, como **CSV** o **JSON**, para fomentar su integración en aplicaciones automatizadas.
- **Fortalecer la calidad de los metadatos:** La correcta descripción de los conjuntos de datos mediante estándares como **DCAT-AP** aseguraría que los usuarios puedan descubrir y reutilizar los datos más fácilmente, promoviendo su valor.

- **Impulsar datos abiertos geoespaciales:** Aunque no aparecen formatos como **KML** o **WMS** en esta estadística, sería relevante fomentar su uso para aplicaciones relacionadas con planificación urbana, movilidad o medio ambiente en contextos locales.

En la ilustración 8 se muestra el porcentaje de distribuciones por formato teniendo en cuenta las administraciones locales en España.

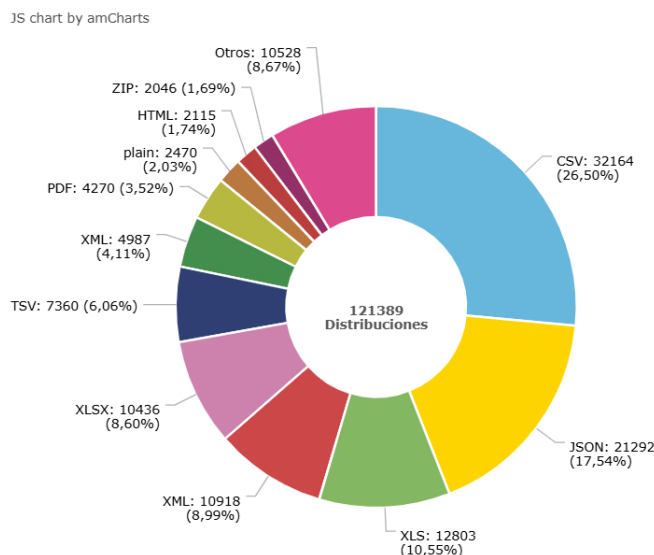


Ilustración 8: Porcentaje de distribuciones por formato, administraciones locales. Fuente: [45]

2.3.2.5 Resumen del Análisis de la Publicación de Datos Abiertos en las Administraciones Estatal, Autonómica y Local

La publicación de datos abiertos en España muestra un panorama diverso y prometedor en las tres administraciones: estatal, autonómica y local. Aunque cada nivel administrativo presenta características específicas, comparten fortalezas y desafíos comunes que resaltan el progreso y las oportunidades de mejora en el ecosistema de datos abiertos del país.

Fortalezas Comunes

- **Uso destacado de formatos estructurados:** En las tres administraciones, formatos como **CSV** y **JSON** lideran la distribución, lo que evidencia un compromiso por facilitar el acceso y la reutilización de los datos. Estos formatos, ampliamente aceptados por herramientas modernas de análisis, son fundamentales para garantizar la interoperabilidad básica.
- **Diversidad de formatos disponibles:** Todas las administraciones ofrecen una amplia variedad de formatos, que incluyen **XLS**, **XML** y **HTML**, adaptándose a diferentes tipos de usuarios y necesidades.
- **Compromiso con la apertura de datos:** La cantidad significativa de distribuciones en cada administración refleja un esfuerzo continuo por mejorar la disponibilidad de datos abiertos y alinearse con estándares europeos.

Oportunidades de Mejora

- **Aumentar el uso de formatos semánticos:** Aunque **JSON** y **XML** son comunes, el uso de formatos como **RDF** y **JSON-LD** es todavía limitado. Incorporar estas tecnologías permitiría avanzar hacia la interoperabilidad semántica y la integración en ecosistemas de LOD.
- **Reducir la dependencia de formatos estáticos:** Formatos como **PDF** y **TIFF** son frecuentes en las tres administraciones, especialmente en la estatal y autonómica. Transformar estas distribuciones en formatos estructurados y reutilizables incrementaría el valor de los datos publicados.
- **Mejorar la calidad de los metadatos:** La adopción de estándares como **DCAT-AP** debería fortalecerse en todas las administraciones para garantizar que los datos sean fácilmente descubribles, comprensibles y reutilizables.
- **Priorizar datos de alto valor (HVDs):** Promover conjuntos de datos en áreas clave como movilidad, sostenibilidad y energía alinearía mejor las publicaciones con las necesidades de los usuarios y con las directrices europeas.

Comparativa entre Administraciones

- **Administración Estatal:** Destaca por un alto volumen de distribuciones, con un enfoque claro en CSV y JSON, pero muestra oportunidades para reducir formatos estáticos y aumentar la calidad de los metadatos.
- **Administración Autonómica:** Presenta una distribución balanceada entre formatos estructurados y estáticos, pero carece de un enfoque en formatos geoespaciales, lo que limita su aplicación en contextos específicos.
- **Administración Local:** Aunque lidera en el uso de CSV y JSON, se enfrenta al desafío de ampliar el uso de formatos avanzados y mejorar la estandarización de los metadatos para facilitar su reutilización.

Dado que los datos pueden publicarse en diferentes formatos, es evidente que, al prepararlos para su publicación, se puede lograr un uso más eficiente si se publican bajo el paradigma de LOD, alcanzando el nivel de las "5 estrellas" en el modelo de datos abiertos. El uso de estándares como RDF, URIs y metadatos es esencial para la publicación de datos abiertos.

Asimismo, para los expertos en tecnologías de la web semántica, además de las interfaces de búsqueda clásicas, deben estar disponibles de manera complementaria servicios avanzados de búsqueda mediante el estándar SPARQL. Según la encuesta mencionada [44], sólo 14 de los 34 países ofrecen una función de consulta SPARQL a través de su portal nacional, y España es uno de los 14 países con SparqlEndpoint tras la elaboración de esta tesis.

España desarrolló su perfil DCAT en 2013, antes de la creación del DCAT-AP europeo, y lo aprobó oficialmente. Las principales diferencias se encuentran en la taxonomía utilizada para identificar entidades públicas y la cobertura geográfica, específicas de España. La legislación española definió una clasificación con un número mayor de categorías temáticas (22) en comparación con las del DCAT-AP europeo (13). Sin embargo, en la mayoría de los casos, es posible asignar una categoría NTI-RISP a una categoría DCAT-AP.

En mi opinión, a la luz de la Directiva, sería necesaria una actualización del NTI-RISP para garantizar, entre otras cosas, la plena compatibilidad de los metadatos. Estos aspectos serán

considerados en esta acción, ya que es imprescindible utilizar formatos abiertos y metadatos apropiados para el sistema LOD de la tesis.

Finalmente, la Directiva PSI enfatiza la accesibilidad de los datos a través de APIs, y las encuestas recientes confirman que hay un número reducido de portales españoles con APIs para el acceso automatizado a los datos. En mi opinión, esta funcionalidad es muy importante para ofrecer diferentes mecanismos de interacción con los usuarios potenciales. Las APIs deberían estar disponibles para garantizar el uso adecuado y eficiente de los catálogos de datos y su funcionalidad, permitiendo a los desarrolladores generar un gran número de aplicaciones de movilidad.

En relación con este tema, como se comenta en la sección 2.4 de la presente tesis, se mencionan los servicios web y puntos de referencia, destacándose la necesidad de que las organizaciones que ofrecen los datos proporcionen documentación detallada asociada. Esta documentación debe incluir la forma de acceso, las configuraciones soportadas, los parámetros de consulta, entre otros. A pesar de este requisito, la norma no recoge metadatos específicos para dichos servicios, aunque las nuevas versiones de los estándares DCAT-AP y W3C DCAT sí lo contemplan.

El uso de plataformas de datos abiertos como CKAN representa una ventaja significativa para la gestión y publicación de datos en formatos abiertos. CKAN es una tecnología robusta y ampliamente utilizada que cumple con los requisitos establecidos para los portales de datos abiertos, incluidos los relativos al uso de metadatos estandarizados como DCAT-AP, la interoperabilidad y el acceso automatizado a través de APIs RESTful.

Como parte de esta tesis, se ha llevado a cabo la instalación y configuración de una instancia de CKAN, diseñada para dar soporte a la arquitectura propuesta para la DGT. Esta implementación tiene como objetivo centralizar y gestionar los datos semantizados generados durante la tesis, permitiendo:

- **Publicación eficiente de datos abiertos:** Integrando los datos semantizados en un catálogo accesible y reutilizable por diferentes actores, desde desarrolladores hasta investigadores.
- **Gestión avanzada de metadatos:** Utilizando extensiones como CKANEXT-DCAT para exponer los conjuntos de datos en formatos RDF compatibles con DCAT-AP.
- **Acceso programático mediante APIs:** Proporcionando mecanismos para la consulta y descarga de datos, alineados con los principios.
- **Interoperabilidad con el endpoint SPARQL:** Permitiendo que CKAN actúe como un puente entre los datos en formato RDF alojados en Virtuoso y aplicaciones externas que consumen los datos.

Esta integración refuerza el compromiso de la tesis con la publicación de datos abiertos y enlazados, asegurando la sostenibilidad y escalabilidad de la solución propuesta. Además, establece una base sólida para la interoperabilidad con otros portales de datos abiertos tanto nacionales como internacionales.

2.3.3 Implementación de las acciones prioritarias de la Directiva ITS en España

Como se expone en el contexto español dentro de la sección Análisis del marco legal y técnico de la tesis, las competencias en Sistemas de Transporte Inteligente (ITS) están compartidas a nivel nacional entre el Ministerio del Interior (a través de la Dirección General de Tráfico, DGT) y el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible.

Debido a la distribución de competencias mencionada anteriormente y conforme al **Reglamento delegado (UE) 885/2013** y la **Ley 37/2015**, la Dirección General de Carreteras decidió implementar el **Punto Nacional de Acceso (NAP)** para la información, gestionado por la Subdirección General de Gestión y Explotación de Carreteras. Este punto centraliza la información sobre los **lugares de estacionamiento seguros y protegidos** en la Red de Carreteras del Estado en España. La información sobre el estacionamiento de camiones se concentra en el **Punto Nacional de Acceso para la Información sobre Lugares de Estacionamiento Seguros y Protegidos**. Para clasificar las instalaciones, se ha adoptado un sistema de doble clasificación: **niveles de servicio y niveles de seguridad**, establecido como parte del proyecto europeo **Label**.

Respecto al **Reglamento delegado (UE) 2017/1926**, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Sostenible desarrolla y publica en Junio de 2021 el punto nacional de acceso, denominado **“Punto de acceso nacional de datos de transporte”**. Este portal permite a los ciudadanos acceder fácilmente a información sobre alternativas de transporte intermodal para trayectos de media y larga distancia, y analizar las diferentes opciones de transporte para realizar una ruta específica, detallando los posibles recorridos y horarios de cada modo de transporte disponible.

Además, conforme a los **Reglamentos delegados (UE) No 886/2013** y **No 962/2015**, la Dirección General de Tráfico (DGT) es responsable del **Punto Nacional de Acceso español** (<http://nap.dgt.es>), donde se concentra principalmente la información sobre **SRTI** (Información de Tráfico Relativa a la Seguridad) y **RTTI** (Información de Tráfico en Tiempo Real).

Actualmente, el Punto Nacional de Acceso español recopila publicaciones de datos de tráfico (SRTI, RTTI) de las siguientes entidades:

- **Dirección General de Tráfico (DGT):** información de tráfico de todas las carreteras de España, excepto Cataluña y el País Vasco.
- **Departamento de Tráfico del Gobierno Vasco (DT-GV):** información de tráfico de las carreteras del País Vasco.
- **Servicio Catalán de Tráfico (SCT):** información de tráfico de las carreteras de Cataluña.
- **Ayuntamiento de Madrid:** datos abiertos de información de tráfico.
- **Proveedor de servicios TomTom.**

Como se puede observar en la ilustración 9, la información de tráfico se intercambia principalmente entre la DGT, SCT, DT-GV y otros nodos mediante el estándar **DATEX II**. Por lo tanto, el servidor internacional de DATEX II dispone de información de todo el país.



Ilustración 9: Administraciones de tráfico españolas

Antes de los Reglamentos delegados, los datos ya se estaban difundiendo a través de varios medios (actualmente funcionales):

- **VMS, DATEX, RDS-TMC,**
- **A través de la web:** <http://www.dgt.es/incidenciasXY.xml> o Mapa: **eTraffic**.

Los emisores externos deben estar registrados, siendo toda la información gratuita y habiéndose firmado previamente los correspondientes Memorandos de Entendimiento (MoUs). Además, toda la información (incidencias, eventos, etc.) era validada por los **Centros de Control de Tráfico (TCC)**.

2.3.4 Casos de estudio

España ha sido un país activo en la implementación de los **Puntos de Acceso Nacional (NAP)**, cumpliendo con las obligaciones establecidas por los **Reglamentos Delegados** derivados de la **Directiva ITS (Servicios de Transporte Inteligente)**. A continuación, se evalúa el cumplimiento en las distintas acciones prioritarias descritas en los Reglamentos delegados con diferentes ejemplo y casos de estudio:

2.3.4.1 Implementación del punto de acceso nacional español para información de viajes multimodales (acción prioritaria a)

Previo al desarrollo en 2021 del Nap de transporte multimodal por parte del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, existen algunas aplicaciones que proporcionan dicha información de forma parcial.

2.3.4.1.1 Portal de Información sobre Transporte de Pasajeros

La aplicación permite consultar rutas de transporte entre dos localidades, mostrando información sobre las paradas del trayecto, precios, horarios de salida y llegada, y la duración del viaje. También proporciona datos sobre las empresas de transporte regular y las estaciones de autobuses. Los precios y horarios son aproximados y deben confirmarse directamente con las empresas operadores [47].

Actualmente, la información disponible corresponde exclusivamente a los servicios regulares de transporte por carretera aportados por la Dirección General de Transporte Terrestre (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible) y las comunidades autónomas de **Andalucía, Aragón, Murcia, Navarra, Comunidad Valenciana, La Rioja, Castilla y León y Castilla-La Mancha**.

Las ilustraciones 10 y 11 muestran el formulario de consulta y la respuesta de la consulta de viaje entre Valencia y Madrid en la aplicación.

El formulario, titulado "Consulta de viaje", está dividido en secciones para "Origen" y "Destino". Cada sección contiene campos para "Nombre de población", "Provincia" (con un menú desplegable) y "Población" (con un menú desplegable). En la sección "Origen", los valores seleccionados son "valencia", "VALENCIA" y "VALENCIA (VALENCIA)". En la sección "Destino", los valores seleccionados son "madrid", "MADRID" y "MADRID (MADRID)". Debajo de estas secciones hay un campo "Fecha" con subcampos para "Día", "Mes" y "Año". Al final del formulario hay dos botones: "Ver Trayectos" y "Nueva consulta".

Ilustración 10: Formulario de búsqueda de viajes. Fuente [47]

Resultados de la búsqueda					
H.Salida	H.Llegada	Tiempo	Distancia	Precio	Disponibilidad del servicio
00:55	06:42	05 h. 47 min.	358 Km.	29.19 €	DOMINGOS-DEL 26-06 AL 16-09 Detalle
00:58	06:16	05 h. 18 min.	358 Km.	29.19 €	DOMINGOS-DEL 26-06 AL 16-09 Detalle
01:00	05:45	04 h. 45 min.	370 Km.	29.19 €	DIARIO EXCEPTO SABADOS-ANUAL Detalle
02:30	06:30	04 h. 00 min.	358 Km.	29.19 €	LUNES-ANUAL Detalle
02:43	08:01	05 h. 18 min.	358 Km.	29.19 €	LUNES-DEL 26-06 AL 16-09 Detalle
03:00	07:00	04 h. 00 min.	358 Km.	29.19 €	DIARIO-ANUAL Detalle
03:00	08:17	05 h. 17 min.	358 Km.	29.19 €	DIARIO-ANUAL Detalle
05:00	09:15	04 h. 15 min.	370 Km.	36.82 €	DIARIO-ANUAL Detalle
06:30	10:30	04 h. 00 min.	358 Km.	29.19 €	LUNES A SABADOS-ANUAL Detalle
09:00	13:19	04 h. 19 min.	358 Km.	29.19 €	DIARIO-ANUAL Detalle
09:00	14:49	05 h. 49 min.	358 Km.	29.19 €	DIARIO-ANUAL Detalle
10:30	14:30	04 h. 00 min.	358 Km.	29.19 €	DIARIO-ANUAL Detalle
11:57	17:14	05 h. 17 min.	358 Km.	29.19 €	DOMINGOS-DEL 26-06 AL 16-09 Detalle
12:00	16:19	04 h. 19 min.	358 Km.	29.19 €	DIARIO-ANUAL Detalle
13:19	18:20	05 h. 01 min.	358 Km.	29.19 €	LUNES A SABADOS-ANUAL Detalle
14:00	18:45	04 h. 45 min.	370 Km.	29.19 €	DIARIO-ANUAL Detalle
15:30	19:30	04 h. 00 min.	358 Km.	29.19 €	VIERNES Y DOMINGOS-ANUAL Detalle
16:00	20:19	04 h. 19 min.	358 Km.	29.19 €	DIARIO-ANUAL Detalle
17:00	21:00	04 h. 00 min.	358 Km.	29.19 €	VIERNES Y DOMINGOS-ANUAL Detalle
17:15	21:15	04 h. 00 min.	358 Km.	29.19 €	DIARIO-DEL 20-06 AL 15-09 Detalle
17:40	21:00	03 h. 20 min.	358 Km.	29.19 €	DIARIO-ANUAL Detalle
18:15	22:15	04 h. 00 min.	358 Km.	29.19 €	DOMINGOS-ANUAL Detalle
18:25	22:35	04 h. 10 min.	358 Km.	29.19 €	DOMINGOS-ANUAL Detalle
18:40	23:10	04 h. 30 min.	358 Km.	29.19 €	DIARIO-DEL 20-06 AL 15-09 Detalle
18:45	22:45	04 h. 00 min.	358 Km.	29.19 €	DIARIO-ANUAL Detalle
18:55	23:05	04 h. 10 min.	358 Km.	29.19 €	LUNES A SABADOS-ANUAL Detalle
19:04	23:35	04 h. 31 min.	358 Km.	29.19 €	DOMINGOS-ANUAL Detalle
21:00	01:00	04 h. 00 min.	358 Km.	29.19 €	VIERNES Y DOMINGOS-ANUAL Detalle

Ilustración 11: Resultados búsqueda de viajes [47]

2.3.4.1.2 SIRDE

En noviembre de 2016, el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible desarrolló SIRDE[48], una aplicación informática denominada **Sistema de Información para Registro de Datos de Expediciones**, con el objetivo de optimizar la gestión de las concesiones de transporte de viajeros por carretera que son responsabilidad de la Administración General del Estado.

Tras diversas pruebas realizadas con SIRDE en algunas rutas y en colaboración con las empresas concesionarias, el Ministerio consideró que los resultados obtenidos eran satisfactorios. Esta herramienta, instalada en dispositivos a bordo de los autobuses, recopiló datos sobre la operación de las concesiones y los transmitió al Ministerio. Tanto la recopilación de datos de los viajes como su transmisión y recepción cumplieron con los estándares técnicos esperados.

En marzo de 2017, el Director General de Transporte Terrestre emitió las primeras resoluciones que hacen obligatorio el uso de SIRDE para las empresas contratistas de servicios públicos de transporte regular de uso general por carretera. Además, esta obligatoriedad se encuentra contemplada en los pliegos de bases de los contratos, aplicándose progresivamente conforme se renuevan.

2.3.4.1.3 Operación paso del estrecho

La **Operación Paso del Estrecho** [49] se lleva a cabo anualmente desde 1986, entre el 15 de junio y el 15 de septiembre, con el objetivo de facilitar el desplazamiento de un gran número de trabajadores magrebíes residentes en Europa que aprovechan sus vacaciones para regresar a sus países de origen en el norte de África.

En 2024, el inicio de la Operación se adelanta al **13 de junio**, con el propósito de que el dispositivo de gestión y coordinación esté completamente operativo durante los días **15 y 16 de junio**, cuando se espera un aumento significativo de viajeros debido a la celebración de la **"Fiesta del Cordero"** el 17 de junio.

Se trata de un **Plan Especial de Protección Civil**, gestionado por el **Ministerio del Interior** a través de la **Dirección General de Protección Civil y Emergencias**. Este plan está diseñado y estructurado para prevenir riesgos y responder a las eventualidades propias de un movimiento masivo de personas.

Los preparativos para la primera edición de la Operación Paso del Estrecho comenzaron en 1986 con diversas reuniones y actuaciones preliminares. En **2024**, se celebra la **35ª edición** de esta iniciativa, que en **2023 permitió el paso de 3.219.618 personas y 775.410 vehículos**, realizando **11.085 rotaciones marítimas** entre Europa y África.

2.3.4.1.4 Nap de transporte multimodal

El Punto de Acceso Nacional de Transporte Multimodal [50] surge como cumplimiento de una normativa europea, establecida inicialmente por la Directiva 2010/40 y ampliada mediante el Reglamento delegado 1926/2017 de la Comisión Europea, que promueve activamente esta iniciativa en toda la Unión Europea.

Esta plataforma centraliza la información digitalizada sobre la oferta de transporte de viajeros en todo el territorio nacional, abarcando diversos modos de transporte como carretera, ferroviario, marítimo y aéreo, tanto en ámbitos urbanos como interurbanos.

El NAP español se alinea con la Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030, que es el instrumento sectorial del MTMS para dar respuesta a los nuevos retos del transporte y la movilidad, en concreto con su Eje 5 dedicado a la movilidad inteligente.

Desde su lanzamiento, el NAP ha ido ampliando progresivamente la cantidad y variedad de datos disponibles, integrando más servicios de transporte y funcionalidades según se desarrollan. Esta evolución continua busca abarcar toda la oferta de transporte disponible en España y apoyar el desarrollo de servicios de movilidad innovadores que respondan a las necesidades de los usuarios.

En resumen, el Punto de Acceso Nacional de Transporte Multimodal de España es una herramienta clave para la digitalización y modernización de los servicios de transporte, promoviendo la interoperabilidad y facilitando el desarrollo de soluciones de movilidad que mejoren la experiencia de los viajeros en todo el país.

2.3.4.2 Implementación del punto de acceso nacional español para información de tráfico en tiempo real (acción prioritaria b)

En cumplimiento del acto delegado 2015/962, la Dirección General de Tráfico ha desarrollado un **Punto de Acceso Común para la Información de Tráfico**, el **Punto de Acceso Nacional de Tráfico de España (NAP)** [46], que proporciona información de tráfico en tiempo real de alta calidad a nivel europeo (ilustración 12).

El NAP es una herramienta telemática diseñada para que las administraciones públicas, la Guardia Civil, las policías autonómicas, los conductores, las grúas de asistencia en carretera, las empresas de conservación y explotación, los vehículos especiales y el público en general que desarrolla su actividad en las carreteras puedan acceder e intercambiar información de interés relacionada con el tráfico y la seguridad vial en tiempo real.



Ilustración 12: NAP español SRTI y RTTI. Fuente: [46]

Además de los enlaces a los archivos de datos, hay dos aplicaciones web vinculadas en el portal del NAP: el Mapa de Movilidad y el Mapa de Tráfico.

2.3.4.2.1 Mapa de movilidad

El Mapa de Movilidad [51] es una aplicación web que permite a los usuarios finales obtener información sobre carreteras, puntos kilométricos, niveles de concentración de accidentes estatales y pasos a nivel de las comunidades autónomas, restricciones en rutas seguras para ciclistas y tramos de especial vigilancia, utilizando diferentes métodos de búsqueda. La ilustración 13 muestra una vista del mapa de movilidad de la DGT.

La información mostrada en esta aplicación es meramente informativa y no sustituye en ningún caso la señalización de la ruta gestionada por su propietario.

El Mapa de Movilidad ofrece a los usuarios finales un mapa interactivo donde pueden visualizar la siguiente información:

- Tramos de Concentración de Accidentes (TCA)
- Restricciones
- Zonas de especial vigilancia
- Carreteras
- Información relacionada con condiciones meteorológicas adversas:

- Altitud
 - Áreas de estacionamiento de emergencia
- Otras capas de interés:
 - Pasos a nivel
 - Red de Itinerarios de Mercancías Peligrosas (NIDG) 2017
 - Rutas seguras para ciclistas
 - Rutas protegidas para ciclistas
 - Red Transeuropea de Transporte
 - Corredor Mediterráneo
 - Corredor Atlántico
 - Red Central
 - Red Global



Ilustración 13: Mapa de movilidad. Fuente: [51]

2.3.4.2.2 Mapa de tráfico: Infocar/eTraffic

El servicio llamado "Infocar" [52] es una aplicación que integra la información proporcionada por el NAP en un mapa de tráfico, donde es posible visualizar la siguiente información:

- Incidentes actualizados en tiempo real en carreteras nacionales, según los datos registrados en el NAP.
- Obras programadas en carreteras y restricciones (altura y peso).
- Datos de tráfico.
- Servicios personalizados:
 - Almacenamiento de las rutas más frecuentes.
 - Personalización de los servicios más relevantes para el usuario (cámaras, paneles, etc.).

La ilustración 14 y 15 muestra una vista general de la aplicación infocar y el detalle de un evento de tráfico.



Ilustración 14: Aplicación Infocar. Fuente: [52]

La ilustración 15 muestra el detalle de un evento en la aplicación infocar.



Ilustración 15: Evento Infocar. Fuente: [52]

Aunque "Infocar" ofrece una plataforma para visualizar incidentes relacionados con la seguridad vial (SRTI, por sus siglas en inglés), presenta una carencia fundamental: no permite vincular estos incidentes con información meteorológica en tiempo real procedente de fuentes oficiales, como AEMET.

En la actualidad, los incidentes meteorológicos adversos se clasifican manualmente por operadores o agentes de la Guardia Civil en el momento de su observación. Este enfoque implica que no se dispone de un monitoreo continuo y en tiempo real de las variables meteorológicas. Además, para los incidentes que no están directamente relacionados con las condiciones meteorológicas, tampoco existe la posibilidad de acceder a datos en tiempo real de las estaciones más cercanas, lo que limita significativamente el contexto disponible para los responsables de gestionar el tráfico.

La incorporación de datos meteorológicos en tiempo real, vinculados a los incidentes de tráfico registrados, representa un valor añadido crucial y constituye uno de los avances clave propuestos en esta tesis. Las siguientes secciones y capítulos detallan cómo esta integración permite enriquecer los datos SRTI, ofreciendo una visión más completa y precisa de las

condiciones ambientales en las que ocurren los incidentes. Este enfoque no solo mejora la calidad de la información disponible, sino que también amplía significativamente la utilidad y el alcance de los sistemas de información de tráfico, contribuyendo a una gestión más eficaz y a una seguridad vial mejorada.

2.3.4.3 Implementación del punto de acceso nacional español para información de seguridad vial (SRTI) (acción prioritaria c)

El punto de acceso nacional español para información de tráfico relacionada con la seguridad vial es el mismo NAP utilizado para la información de tráfico en tiempo real [46].

Dado lo establecido en el **Reglamento delegado (UE) Nº 886/2013 de la Comisión**, que define diferentes categorías de eventos, es importante analizar cómo se publica esta información a través del portal. En los siguientes segmentos de código que se muestran a continuación, se puede observar cómo se distribuye y organiza la información según dichas categorías, proporcionando una visión detallada de los datos que se ponen a disposición de los usuarios.

Animal, people, obstacles, debris on the road

Los siguientes mensajes pertenecen a la categoría "animales/personas/obstáculos/escombros en la carretera":

- Objetos en la carretera
- Obstáculos en la carretera
- Cargas caídas
- Árboles caídos
- Avalanchas
- **Desprendimientos de rocas**
- Deslizamientos de tierra
- Animales en la carretera
- Personas en la calzada
- Niños en la calzada
- Ciclistas en la calzada
- Animales grandes en la calzada
- Rebaños de animales en la calzada
- Personas lanzando objetos a la carretera
- Vehículos averiados

En el listado listado 1 se muestra un ejemplo de segmento XML DATEX II del evento obstrucción del entorno desprendimiento de rocas.

```
<_0:administrativeArea>
  <_0:value>ASTURIAS</_0:value>
</_0:administrativeArea>
<_0:roadNumber>AS-237</_0:roadNumber>
<_0:directionRelative>negative</_0:directionRelative>
<_0:referencePointDistance>19500.0</_0:referencePointDistance>
</_0:referencePoint>
</_0:referencePointPrimaryLocation>
<_0:referencePointSecondaryLocation>
  <_0:referencePoint>
    <_0:referencePointIdentifier>41157893</_0:referencePointIdentifier>
    <_0:administrativeArea>
      <_0:value>ASTURIAS</_0:value>
    </_0:administrativeArea>
    <_0:roadNumber>AS-237</_0:roadNumber>
    <_0:directionRelative>negative</_0:directionRelative>
```

```
<_0:referencePointDistance>19400.0</_0:referencePointDistance>
</_0:referencePoint>
</_0:referencePointSecondaryLocation>
</_0:referencePointLinear>
</_0:locationContainedInGroup>
</_0:groupOfLocations>
<_0:mobilityOfObstruction>
  <_0:mobilityType>stationary</_0:mobilityType>
</_0:mobilityOfObstruction>
<_0:environmentalObstructionType>rockfalls</_0:environmentalObstructionType>
</_0:situationRecord>
```

Listado 1: Ejemplo segmento XML DATEX II evento obstrucción del entorno desprendimiento de rocas. Fuente: [46]

Zona de accidente no protegida

Esta información está disponible en el NAP de la DGT en formato DATEX II.

Obras en la carretera

Esta información está disponible en el NAP de la DGT en formato DATEX II.

Visibilidad reducida

En el listado 2 se muestra un ejemplo de segmento XML DATEX II del evento visibilidad reducida.

```
<_0:administrativeArea>
  <_0:value>LUGO</_0:value>
</_0:administrativeArea>
<_0:roadNumber>A-8</_0:roadNumber>
<_0:directionRelative>both</_0:directionRelative>
<_0:referencePointDistance>536000.0</_0:referencePointDistance>
</_0:referencePoint>
</_0:referencePointPrimaryLocation>
<_0:referencePointSecondaryLocation>
  <_0:referencePoint>
    <_0:referencePointIdentifier>66620431</_0:referencePointIdentifier>
    <_0:administrativeArea>
      <_0:value>LUGO</_0:value>
    </_0:administrativeArea>
    <_0:roadNumber>A-8</_0:roadNumber>
    <_0:directionRelative>both</_0:directionRelative>
    <_0:referencePointDistance>552000.0</_0:referencePointDistance>
  </_0:referencePoint>
</_0:referencePointSecondaryLocation>
</_0:referencePointLinear>
</_0:locationContainedInGroup>
</_0:groupOfLocations>
<_0:poorEnvironmentType>visibilityReduced</_0:poorEnvironmentType>
</_0:situationRecord>
```

Listado 2: Ejemplo segmento XML DATEX II evento visibilidad reducida. Fuente: [46]

La Dirección General de Tráfico (DGT) y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) han estado trabajando en la integración de datos meteorológicos en el Mapa de Movilidad, con un enfoque particular en previsiones relacionadas con visibilidad reducida debido a fenómenos como niebla, precipitaciones intensas, vientos y otras condiciones adversas.

Aunque se han realizado esfuerzos para establecer vínculos y canales de colaboración entre ambas entidades, esta integración no se ha materializado hasta el momento. La falta de esta funcionalidad limita la capacidad del sistema actual para proporcionar información en tiempo real sobre condiciones meteorológicas que podrían impactar la seguridad vial, reduciendo así su potencial para ofrecer un análisis integral de las incidencias de tráfico.

Esta carencia subraya la necesidad de avanzar en soluciones que permitan la vinculación entre datos meteorológicos y de tráfico. Precisamente, uno de los desarrollos clave de esta tesis se centra en superar esta limitación mediante la integración efectiva de información meteorológica en tiempo real con datos de tráfico, lo que se presentará y detallará en siguientes capítulos.

Nevadas

En el listado listado 3 se muestra un ejemplo de segmento XML DATEX II del evento nevadas.

```
<_0:administrativeArea>
  <_0:value>ASTURIAS</_0:value>
</_0:administrativeArea>
<_0:roadNumber>AS-117</_0:roadNumber>
<_0:directionRelative>both</_0:directionRelative>
<_0:referencePointDistance>56000.0</_0:referencePointDistance>
</_0:referencePoint>
</_0:referencePointPrimaryLocation>
<_0:referencePointSecondaryLocation>
  <_0:referencePoint>
    <_0:referencePointIdentifier>66484568</_0:referencePointIdentifier>
    <_0:administrativeArea>
      <_0:value>ASTURIAS</_0:value>
    </_0:administrativeArea>
    <_0:roadNumber>AS-117</_0:roadNumber>
    <_0:directionRelative>both</_0:directionRelative>
    <_0:referencePointDistance>65000.0</_0:referencePointDistance>
  </_0:referencePoint>
</_0:referencePointSecondaryLocation>
</_0:referencePointLinear>
</_0:locationContainedInGroup>
</_0:groupOfLocations>
<_0:poorEnvironmentType>snowfall</_0:poorEnvironmentType>
<_0:visibility>
  <_0:visibilityValue>50</_0:visibilityValue>
</_0:visibility>
</_0:situationRecord>
```

Listado 3: Ejemplo segmento XML DATEX II evento nevadas. Fuente: [46]

2.3.4.4 Implementación del punto de acceso nacional español para información sobre áreas de aparcamiento seguro (acción prioritaria e)

Además de las instalaciones que cumplen con la normativa establecida en el Reglamento Delegado (UE) 2022/2012 de la Comisión, del 7 de abril de 2022, que complementa el Reglamento (CE) nº 561/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo respecto a las normas sobre el nivel de servicio y seguridad en áreas de estacionamiento seguras y protegidas, así como los procedimientos de certificación, este visor también incluye, con carácter meramente informativo, aquellas instalaciones que han comunicado el inicio del proceso de certificación contemplado en dicho Reglamento delegado [53].

La ilustración 16 muestra una vista general de la aplicación de aparcamientos seguros donde constan los diferentes aparcamientos ubicados en el territorio nacional.

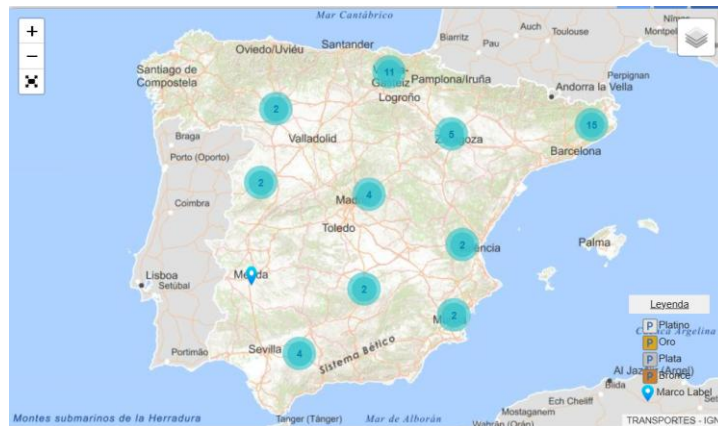


Ilustración 16: Aplicación aparcamientos seguros. Fuente: [53]

La tabla 6 muestra el detalle en texto de los diferentes aparcamientos incluyendo el descriptivo del aparcamiento, el municipio en el que se encuentra y su nivel de seguridad.

Aparcamiento	Municipio	Nivel Seguridad
APARKABISA 1	Valle de Trápaga-Trapagaran	4 y 2
APARKABISA 2	Valle de Trápaga-Trapagaran	4 y 2
APARKABISA 6	Zierbena	4 y 2
APARKABISA 7	Zierbena	4 y 2
Area de Servicios Can Calderón	Sant Boi de Llobregat	3 y 3
Area de Servicios Can Nadal	Lliçà de Vall	3 y 3
AVINSA	Madrid	5 y 5
CALSINA CARRÉ SERVICES	Pont de Molins	Oro
Centro Benaventano de Transportes, S.A.	Benavente	4.3 y 4.8
Centro de Transportes de León	Chozas de Abajo	4 Y 3
Centro Transportes de Mercancías de Salamanca	Salamanca	4 Y 3
Ciudad del transporte de Molina de Segura	Molina de Segura	5 y 5
Ciudad del Transporte de Pamplona	Noáin (Valle de Elorz)/Noain (Elortzibar)	2 y 3
Complejo LEO	Monesterio	2 y 4
CTVI	Vitoria-Gasteiz	2 y 2
DYNEFF ARASUR	Rivabellosa	Bronce
DYNEFF ARASUR	Rivabellosa	2 y 3
DYNEFF LA JONQUERA	La Jonquera	Bronce
DYNEFF LA JONQUERA	La Jonquera	3 y 4
Estación de servicio El Cisne 1	Zaragoza	2 y 2
Estación de Servicio Las Ventas I	Utebo	2 y 2
Estación de Servicio Pirineo Aragonés	Villanueva de Gállego	2 y 2
Hotel El Villa Castejón	Castejón	1 y 3
La Tortuga	La Jonquera	Oro
Mancha centro	Argamasilla de Alba	2 y 1
Mowiz Truck Astigarraga	Astigarraga	Oro
Mowiz Truck Montseny	Llinars del Vallès	Oro
Mowiz Truck Oiartzun	Oiartzun	Oro
Mowiz Truck Porta Barcelona	Castellbisbal	Oro
Parking Alsa La Garena	Alcalá de Henares	4 y 3
Parking BRIN	Peligros	3 y 2
Parking Camiones 24H Vilamalla Globaltank	Vilamalla	5 y 5
Parking Exit 3 AP-7	Llers	5 y 3
PASSAC MECO MADRID SECURITY AREA	Meco	5 y 5
Repsol Security Parking Albatera	San Isidro	4 y 4
Repsol Security Parking Fontioso	Fontioso	4 y 4
Repsol Security Parking Guarroman	Guarromán	4 y 4
Repsol Security Parking La Jonquera	La Jonquera	4 y 4

Repsol Security Parking Mirabueno	Mirabueno	4 y 4
Repsol Security Parking Mérida	Mérida	4 y 4
Repsol Security Parking Valdecarpinteros	Ciudad Rodrigo	4 y 4
Repsol Security Parking Venta del Moro	Caudete de las Fuentes	4 y 4
Repsol Security Parking Zaragoza Plaza	Zaragoza	4 y 4
Truck Park Montseny	Llinars del Vallès	4
Truck Park Porta Barcelona	Castellbisbal	4
YUBICK	Barcelona	5 y 3
Área de servicio La Tortuga	La Jonquera	4
Área Logística de Málaga	Málaga	3 y 3
Área Logística de Sevilla - La Negrilla	Sevilla	3 y 3
Área Mauros	El Puig de Santa Maria	2 y 3

Tabla 6: Relación aparcamientos seguros.

La información mostrada sobre estos aparcamientos incluye:

- Nombre de la instalación.
- Ubicación.
- Vía de acceso.
- Coordenadas de longitud/latitud.
- Número de plazas de estacionamiento.
- Tarifa de estacionamiento.
- Niveles de seguridad y servicio según la ETIQUETA.
- Equipamiento de seguridad disponible.
- Equipamiento de servicio disponible.
- Número de teléfono.
- Sitio web de la instalación.

2.3.5 Resumen de las características de los Puntos de Acceso Nacional (NAP)

Desde 2016 hasta 2021, la Plataforma Europea de ITS (EU EIP)[54] ha liderado el monitoreo y la armonización de los Puntos de Acceso Nacionales (NAP) en Europa. Durante este período, se publicaron informes anuales que detallaban el estado de despliegue de los NAP en los distintos países europeos, así como los avances en la adopción de estándares comunes, metadatos armonizados y características interoperables. El último informe de la EU EIP, correspondiente a 2020, sintetiza los progresos alcanzados hasta esa fecha, especialmente en relación con los Reglamentos delegados de la Directiva ITS, como el 885/2013, 886/2013, 962/2015 y 1926/2017.

En 2021, este esfuerzo fue continuado por el lanzamiento del proyecto NAPCORE (National Access Point Coordination Organisation for Europe) [55], que amplió el alcance de las iniciativas anteriores para mejorar la interoperabilidad de los datos de movilidad en toda Europa. NAPCORE se centra en la armonización de estándares y en la creación de un marco de trabajo colaborativo entre los Estados miembros, con el objetivo de aumentar la accesibilidad, disponibilidad y calidad de los datos en los NAP.

El proyecto NAPCORE ha consolidado los avances previos realizados por la EU EIP y ha establecido nuevas metas, como la coordinación de los estándares de datos en tiempo real, el impulso a la integración de formatos LOD y la mejora de la infraestructura digital de los NAP.

Con la transición de EU EIP a NAPCORE, se refuerzan los esfuerzos por consolidar una red interoperable de Puntos de Acceso Nacionales que promueva una movilidad conectada, segura y sostenible en toda la Unión Europea.

NAPCORE ha publicado varios informes que analizan la disponibilidad de datos en los Puntos de Acceso Nacionales (NAP) en Europa. El último de ellos, informe número 4 [56], fue publicado el 30 de enero 2024, este informe ofrece una visión comprensiva del desarrollo de una herramienta de monitoreo de los NAP, sirviendo como guía de usuario y proporcionando estadísticas sobre el estado de los NAP en los Estados Europeos. Estos informes son recursos valiosos para comprender el estado actual y la evolución de los NAP en Europa, así como los esfuerzos de NAPCORE para mejorar la interoperabilidad y armonización de los datos de movilidad en el continente.

España, según el cuarto Informe sobre la Disponibilidad de Datos en los NAP [56], presenta avances significativos, pero también desafíos importantes. En relación con los datos SRTI, el país no alcanza una homogeneidad perfecta en todo su territorio, situación compartida con Grecia, debido a la cobertura desigual de la red de autopistas y a limitaciones en la infraestructura de monitoreo vial. En cuanto a los datos RTTI, se observa una falta de uniformidad en la información dinámica sobre el estado de las carreteras y el tráfico, mientras que los datos estáticos de la red vial muestran una mayor consistencia. Sin embargo, España destaca por reportar una cobertura del 100% en las áreas de aparcamiento para camiones, situándose entre los países líderes en este aspecto.

En la presente tesis, este documento y las referencias incluidas en él, se ha tomado como referencia para evaluar la madurez de las implementaciones de los NAP en España e identificar sus deficiencias.

El análisis se ha realizado a través de las tareas de investigación de los sitios web.

La tabla 7 muestra los diferentes tipos de NAPs en España así como la URL donde se encuentran.

Tipo de NAP	URL
NAP para SRTI and RTTI	http://nap.dgt.es
NAP para Truck Parking	https://portalweb.mitma.es/aplicaciones/portalweb/VisorMapaDGC/AparcamientosSeguros
NAP para Multimodal Transport Information	https://nap.transportes.gob.es/

Tabla 7: NAPS en el territorio español

La tabla número 8 que se muestra a continuación detalla la evolución de la madurez de los NAPs españoles.

Categoría	Seguridad	Tiempo Real	Aparcamiento para Camiones	Multimodal
Acceso				
1. El NAP está disponible en internet	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
2. El NAP es fácil de navegar y cumple con los estándares de diseño web/accesibilidad	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
3. El NAP está disponible en el idioma nacional y en idiomas comúnmente utilizados en el Estado Miembro	PARCIAL	PARCIAL	PARCIAL	PARCIAL
4. El NAP requiere que los editores de datos se registren para añadir datos/metadatos	PARCIAL	PARCIAL	SÍ	SÍ
5. El NAP requiere que los consumidores de datos se registren para acceso completo	NO	NO	NO	SÍ
Comunicación				
6. El NAP ofrece ayuda a los editores de datos para registrarse o añadir datos/metadatos	NO	NO	SÍ	SÍ
7. El NAP proporciona términos y condiciones	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

8. El NAP ofrece medios para que los consumidores de datos contacten con el proveedor del NAP o propietario del conjunto de datos para recibir asistencia	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Búsqueda de conjuntos de datos				
9. El NAP proporciona servicios adecuados de descubrimiento	NO	NO	NO	NO
10. Los conjuntos de datos pueden buscarse mediante un catálogo de metadatos	NO	NO	NO	NO
11. El NAP proporciona metadatos legibles por máquina	NO	NO	NO	SÍ
12. El NAP permite búsquedas basadas en mapas	NO	NO	SÍ	SÍ
Actualización y mantenimiento				
13. El servicio NAP se mantiene operativo	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
14. El contenido y los metadatos del NAP se mantienen actualizados y se hacen esfuerzos para mantenerlos al día	SÍ	SÍ	NO	NO DISPONIBLE
Información de conjuntos de datos				
15. El NAP proporciona descripciones claras de cada conjunto de datos	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
16. El NAP ofrece documentación de los conjuntos de datos (o enlaces) cuando es necesario	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
17. Los conjuntos de datos del NAP están clasificados según estándares o vocabularios controlados	SÍ	SÍ	NO	SÍ

Tabla 8: Evolución de la madurez de los Naps españoles.

Por otro lado, el NAP español de la DGT previo a la elaboración de esta tesis utilizaba el Catálogo de Metadatos Coordinado del EIP desde 2015. Todos los elementos específicos obligatorios se utilizan para la descripción de los conjuntos de datos en los idiomas español e inglés. Sin embargo, previo a la presente investigación los metadatos en el NAP de la DGT sólo estaban diseñados para el consumo humano, tal como se especifica en la tabla 8 (ítems 10 y 11).

La ilustración 17 muestra un ejemplo de los metadatos de una publicación en el NAP de la DGT.

Campo	Valor
Fuente	DGT
Autor	DGT
Versión	1.0
Fecha de metadatos	09.03.2016 CET 09:00
Idioma de metadatos	spa; eng;
Información de contacto de metadatos	Dirección General de Tráfico C/ Josefa Valcárcel 44, Madrid nap@dgt.es http://nap.dgt.es
Nombre de publicación	Incidencias DGT
Descripción de publicación	Incidencias de tráfico en la red estatal de carreteras españolas, excepto País Vasco y Cataluña.
Categoría de los datos	Static road data; Dynamic road data; Real-time traffic information; Adverse weather conditions; Safety Related Traffic Information;
Idioma de los datos	spa
Cobertura	ES1; ES22; ES23; ES24; ES3; ES4; ES52; ES53; ES6; ES7; ES2;
Categoría de las carreteras	Motorways; arterial_road_network; Regional roads; Urban and local roads;
Información de contacto del publicador de los datos	DGT Dirección General de Tráfico C/ Josefa Valcárcel 44, Madrid nap@dgt.es http://nap.dgt.es
Información de contacto del propietario de los datos	Dirección General de Tráfico C/ Josefa Valcárcel 44, Madrid nap@dgt.es http://nap.dgt.es
Tipo de Licencia	Licence and Free of charge
Términos de Uso	http://www.dgt.es/es/aviso-legal.shtml
Formato	DATEX2;
Interfaz de acceso	HTTP;
Método de comunicación	pull;
URL de acceso	http://infocar.dgt.es/datex2/dgt/SituationPublication/al
Frecuencia de actualización	2min
Indicador de calidad	Información validada por Centros de Gestión de la Dirección General de Tráfico y por la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil.

Ilustración 17: Metadata usado en el NAP español de la DGT. Fuente: [46]

2.3.6 Conclusiones

En conclusión, los puntos de mejora identificados en el caso del NAP español son:

- Implementar un sistema adecuado con capacidad de gestión de metadatos que permita servicios de descubrimiento y acceso a través de APIs.
- Difundir los datos en formatos LOD (RDF, OWL, JSON-LD, etc.), ya que previo a este trabajo de investigación solo se utilizaban DATEX XML, XML y KML (Ayuntamiento de Madrid) en la plataforma del NAP español.
- Utilizar metadatos no solo para describir conjuntos de datos, sino también para el catálogo de conjuntos de datos.
- Ampliar la publicación de otros tipos de información, al menos a través del Portal Europeo de Datos (EDP). En particular, lugares de estacionamiento seguros para camiones y vehículos comerciales en todo el territorio español.

Aunque el NAP actual cumplía con la primera versión del Catálogo de Metadatos Coordinado SPA, fue necesario actualizarlo considerando la versión publicada en noviembre de 2019 por el EU EIP, que incluye nuevos metadatos obligatorios como "modos de transporte cubiertos" o redefiniciones para "Estructura de publicación" e "Indicador de calidad". Además, también debía tener en cuenta las nuevas versiones de los estándares W3C DCAT y DCAT-AP. Este tema se analiza en profundidad en la sección 2.4.

Los metadatos permiten una descripción estructurada del contenido de los datos, lo que facilita su descubrimiento y uso. En España, fue necesario trabajar en su mejora en el ámbito de esta investigación. Para este propósito, el uso de plataformas de datos abiertos como CKAN fue una ventaja importante. La tecnología de la plataforma de datos abiertos CKAN cumple en gran medida con los requisitos exigidos para los NAP, establecidos por los diferentes Reglamentos delegados, incluyendo el uso de metadatos.

Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, en el NAP español los conjuntos de datos no podían buscarse mediante un catálogo de metadatos y, en general, el NAP no proporcionaba metadatos legibles por servidores.

Un aspecto que no había sido planteado previamente y que se materializa en esta tesis es la propuesta de utilizar el **Portal Europeo de Datos (EDP)** como una solución centralizada para integrar y unificar la información publicada por los diversos Puntos de Acceso Nacionales en España. Esta iniciativa adquiere especial relevancia dada la compleja distribución de competencias en el país, donde múltiples entidades gestionan datos relacionados con la movilidad y el tráfico. La implementación de esta idea permite mejorar la interoperabilidad, facilitar el acceso consolidado a la información y promover una gestión más eficiente y coordinada a nivel nacional e internacional.

2.4 Análisis español de los enfoques de metadatos en los contextos de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS) y Datos Abiertos.

2.4.1 Estándar Técnico para la Interoperabilidad de recursos técnicos

El Estándar Técnico de Interoperabilidad (NTI-RISP) [38], tiene como objetivo establecer las condiciones comunes para la selección, identificación, descripción, formato, condiciones de uso y provisión de documentos y recursos de información elaborados o gestionados por el sector público. Este estándar abarca diversas áreas de interés, como información social, económica, jurídica, turística, empresarial, educativa, entre otras. El NTI-RISP forma parte del Esquema Nacional de Interoperabilidad (ENI).

El NTI-RISP fue publicado en 2013 y es más restrictivo que los estándares internacionales. Este estándar exige que el sector público cumpla con los siguientes requisitos:

- Publicar una interfaz donde se hagan disponibles los metadatos de sus documentos y recursos de información reutilizables.
- Disponer de una interfaz de consulta que pueda ser utilizada por aplicaciones de terceros.
- Incluir al menos los metadatos obligatorios.
- Ofrecer acceso al catálogo HTML para las personas y al catálogo en un formato automatizado (normalmente como RDF según las especificaciones de DCAT).

Las principales directrices del NTI-RISP se pueden observar en la ilustración 18.



Figure 3. Main directions from NTI-RISP

Ilustración 18: Principales directrices del NTI-RISP. Fuente: [57]

El NTI-RISP utiliza como base los metadatos definidos en DCAT, y por lo tanto, comparte en gran medida los metadatos con DCAT-AP.

En el Anexo II del NTI se publicó el esquema de URIs, mientras que el Anexo III incluye los metadatos mínimos que deben especificarse para la descripción de los conjuntos de datos expuestos para su reutilización. Estos metadatos están basados en estándares y pueden ampliarse según las necesidades específicas de las organizaciones, recomendándose que cualquier extensión realizada sea documentada y explicada. Siempre que sea posible, se deberán utilizar vocabularios estándar o ampliamente aceptados para garantizar la interoperabilidad semántica.

Los vocabularios utilizados para describir la información reutilizable deben publicarse y gestionarse desde el Centro de Interoperabilidad Semántica de la Administración, tal como se establece en el artículo 10, sección 3 del Real Decreto 4/2010. Los formatos de estos vocabularios deben cumplir con las condiciones especificadas en la normativa (Sección VI del NTI).

Además, el NTI establece metadatos específicos (obligatorios o no) dependiendo de si se trata de un catálogo, un conjunto de datos o un elemento de distribución. Para ello, se emplean los vocabularios base que constan en la ilustración 19.

VOCAB.	ABR. URI
XML Schema	xsd: http://www.w3.org/2001/XMLSchema#
Simple Knowledge Organization System (SKOS)	skos: http://www.w3.org/2004/02/skos/core#
Dataset Catalog (dcat)	dcat: http://www.w3.org/ns/dcat#
Dublin Core Terms	dct: http://purl.org/dc/terms/
Dublin Core Elements	dc: http://purl.org/dc/elements/1.1/
W3C Time Ontology	time: http://www.w3.org/2006/time#
Friend Of A Friend (FOAF)	foaf: http://xmlns.com/foaf/0.1/

Ilustración 19: Vocabularios usados en NTI-RISP. Fuente: [57]

Por ejemplo, el NTI utiliza la Ontología del Tiempo del W3C para especificar los valores de propiedades relacionadas con el tiempo, como: `dct:temporal` / `dct:PeriodOfTime` (para la clase `dcat:Dataset`) (ilustración 20). Además, algunos valores de los metadatos están basados en estándares como: **ISO-8601** (fecha y hora), **RFC4646** (etiquetas para la identificación de idiomas) o **ISO 4217** (códigos de moneda).

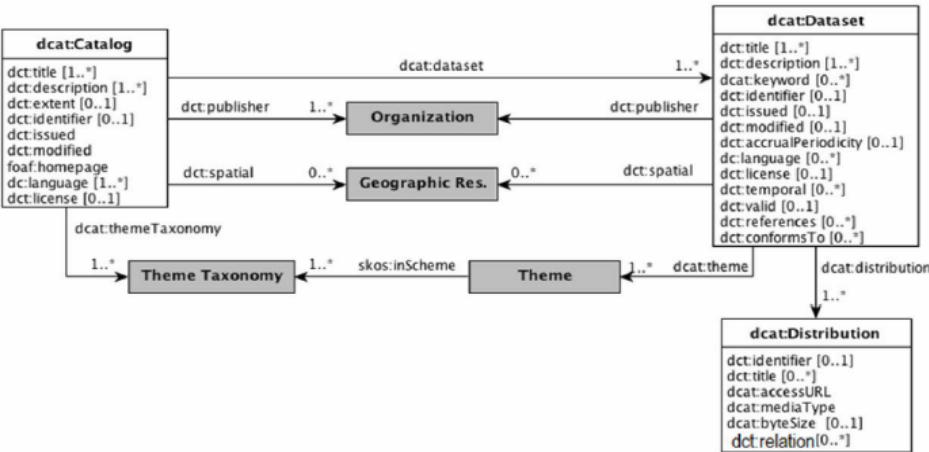


Ilustración 20: Diagrama de clases y conceptos para la definición de los metadata en NTI-RISP. Fuente: [57]

Además, como se puede observar en la siguientes ilustraciones, se determinan varias taxonomías para metadata específicos. Por ejemplo, los posibles valores asignados a la propiedad "Cobertura geográfica" (dct:spatial, aplicada a los dominios de las clases dcat:Catalogue y dcat:Dataset) se describen en el Anexo V del reglamento (Identificadores relacionados con los recursos geográficos del territorio español a nivel de comunidades autónomas o ciudades y provincias)[58] . Ver ilustraciones 21,22,23

PAÍS	URI
España	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Pais/España

Ilustración 21: URI del país España. Fuente: [57]

COMUNIDAD/CIUDAD AUTÓNOMA	IDENTIFICADOR
Andalucía	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Autonomia/Andalucia
Aragón	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Autonomia/Aragon
Principado de Asturias	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Autonomia/Principado-Asturias
Illes Balears	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Autonomia/Illes-Balears
Canarias	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Autonomia/Canarias
Cantabria	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Autonomia/Cantabria
Castilla y León	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Autonomia/Castilla-Leon

Ilustración 22: Vista parcial comunidades autónomas NTI-RISP. Fuente: [57]

AUTONOMÍA	PROVINCIA	IDENTIFICADOR
Andalucía	Almería	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/Almeria
	Cádiz	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/Cadiz
	Córdoba	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/Cordoba
	Granada	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/Granada
	Huelva	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/Huelva
	Jaén	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/Jaen
	Málaga	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/Malaga
	Sevilla	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/Sevilla
Aragón	Huesca	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/Huesca
	Teruel	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/Teruel
	Zaragoza	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/Zaragoza
Principado de Asturias	Asturias	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/Asturias
Illes Balears	Illes Balears	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/Illes-Balears

Ilustración 23: Vista parcial de las provincias NTI-RISP. Fuente: [57]

Para `dct:publisher` (clases `dcat:Catalogue` y `dcat:Dataset`): Organismos. Se utiliza para especificar el gestor del catálogo o el publicador de los conjuntos de datos. Esta taxonomía se basa en los listados definidos en el Directorio Común de Unidades Orgánicas y Oficinas, gestionado por el Ministerio de Hacienda y Función Pública [59]. Ver ilustración 24.

DENOMINACIÓN UNIDAD ORG.	IDENTIFICADOR
MINISTERIO DE HACIENDA Y ADMINISTRACIONES PUBLICAS	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/org/Organismo/E00004401
OFICINA DEL CENSO ELECTORAL	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/org/Organismo/E02963104
S.G. DE INSTITUCIONES FINANCIERAS MULTILATERALES	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/org/Organismo/E02983303
ABOGACÍA GENERAL DEL ESTADO - DIRECCIÓN DEL SERVICIO JURÍDICO DEL ESTADO	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/org/Organismo/E00130903
COMISARIA GENERAL DE POLICIA JUDICIAL	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/org/Organismo/E03116004
PRESIDENCIA DEL GOVERN DE LES ILLES BALEARS	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/org/Organismo/A04003003
INSTITUTO MADRILEÑO DEL DEPORTE	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/org/Organismo/A13003087
CONSELLERÍA DO MEDIO RURAL E DO MAR (Xunta de Galicia)	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/org/Organismo/A12003002
AYUNTAMIENTO DE SARROCA DE LLEIDA	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/org/Organismo/L01252000
ENTIDAD LOCAL MENOR FRESNELINO DEL MONTE	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/org/Organismo/L04240336
MANCOMUNIDAD INTEGRAL DE LA COMARCA DE OLIVENZA	http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/org/Organismo/L05060020

Ilustración 24: Ejemplo de URIS de organismos en NTI-RISP. Fuente: [57]

Para `dcat:themeTaxonomy` (clase `dcat:Catalogue`) y `dcat:theme` (clase `dcat:Dataset`): Sectores Primarios. Incluye 22 sectores primarios (Anexo IV del reglamento) [60]. Ver ilustración 25 y 26.

SECTOR	IDENTIFICADOR
Sociedad y bienestar <i>Incluye: Participación ciudadana, Marginación, Envejecimiento Activo, Autonomía personal y Dependencia, Invalidez, Jubilación, Seguros y Pensiones, Prestaciones y Subvenciones.</i>	http://datos.gob.es/kos/sector-publico/sector/sociedad-bienestar
Transporte <i>Incluye: Comunicaciones y Tráfico.</i>	http://datos.gob.es/kos/sector-publico/sector/transporte
Turismo <i>Incluye: Alojamientos, Hostelería, Gastronomía.</i>	http://datos.gob.es/kos/sector-publico/sector/turismo
Urbanismo e infraestructuras <i>Incluye: Saneamiento público, Construcción (infraestructuras, equipamientos públicos).</i>	http://datos.gob.es/kos/sector-publico/sector/urbanismo-infraestructuras
Vivienda <i>Incluye: Mercado inmobiliario, Construcción (viviendas).</i>	http://datos.gob.es/kos/sector-publico/sector/vivienda

Ilustración 25: Vista parcial de sectores primarios NTI-RISP. Fuente: [57]

sector: Transporte		
http://datos.gob.es/kos/sector-publico/sector/transporte		
	skos:inScheme	http://datos.gob.es/kos/sector-publico/sector/
	skos:prefLabel	Transporte
	rdfs:type	skos:Concept

Used prefixes

- skos: <http://www.w3.org/2004/02/skos/core#>
- rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
- rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
- owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
- esadm: <http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#>

Ilustración 26: Sector transporte en NTI-RISP. Fuente: [57]

Teniendo en cuenta las fechas de publicación de las primeras versiones finales de DCAT y DCAT-AP, cabe señalar que el estándar NTI-RISP es anterior tanto a la primera versión de DCAT como a la primera versión de DCAT-AP, lo que ha generado algunas divergencias.

Por ejemplo, NTI-RISP utiliza `dc:language` con rango `rdfs:Literal` y valores posibles según los códigos de dos letras definidos en RFC 4646 (es decir, "es", "fr", "pt", "en", etc.). En el caso de DCAT-AP, estos valores son las URIs definidas en la lista de nombres de lenguajes de la autoridad de nombres de la "Oficina de Publicaciones de la UE". Además, los formatos SPA CMC de "área cubierta por la publicación" utilizan los niveles NUTS 0-3 (Nomenclatura de Unidades Territoriales para Estadísticas), mientras que NTI-RISP emplea su propio vocabulario controlado.

2.4.2 Casos de estudio

2.4.2.1 Open Data Castilla y León

El portal de Datos Abiertos [61] forma parte del proyecto de Gobierno Abierto de la Junta de Castilla y León, aprobado mediante el Acuerdo 17/2012 del 8 de marzo, que dio inicio al modelo de Gobierno Abierto junto con la información sobre transparencia, el espacio para la participación ciudadana y la presencia en redes sociales, entre otras acciones.

Este portal tiene como objetivo incrementar la transparencia proporcionando más información sobre la actividad de la Junta de Castilla y León, así como fomentar la participación y colaboración de los ciudadanos y las empresas a través del diálogo con ellos, de manera que el intercambio de conocimiento y experiencias permita el avance conjunto de las iniciativas públicas y privadas.

La información en el catálogo está disponible en diferentes formatos, siendo los más comunes CSV, XLSX y SHP. Por lo tanto, se puede considerar que el portal se encuentra en un nivel de 3 estrellas según el esquema de clasificación de datos abiertos.

El portal de Datos Abiertos recibió el premio Asedie 2019.

El portal también utiliza DCAT como vocabulario de descripción de metadatos.

2.4.2.2 Barcelona council

El portal de Datos Abiertos del Ayuntamiento de Barcelona ha sido desarrollado con una instalación mixta de Drupal y CKAN (DKAN) sobre Ubuntu. La versión instalada de Drupal es la 7.63 (con PHP 5.6) y la de CKAN es la 2.6.0, que en el momento de su creación eran las versiones estables más recientes disponibles como software de código abierto.

El portal utiliza la extensión **federagobes** (extensión de CKAN) [62] para generar archivos RDF del catálogo de Datos Abiertos BCN de acuerdo con la Norma Técnica de Interoperabilidad de Recursos Técnicos (NTI-RISP). Esta extensión permite federar los conjuntos de datos tanto en el portal datos.gob.es como en el Portal Europeo de Datos.

El portal de Datos Abiertos BCN también ofrece un catálogo de APIs para acceder a todo el catálogo de datos. Además, utiliza DCAT como vocabulario de descripción.

2.4.2.3 Ayuntamiento de Madrid

El Portal de Datos Abiertos del Ayuntamiento de Madrid está dedicado a promover el acceso a los datos del gobierno municipal y fomentar el desarrollo de herramientas creativas que atraigan y sirvan a los ciudadanos de Madrid.

El portal ofrece una lista con el catálogo completo de conjuntos de datos que el Ayuntamiento de Madrid pone a disposición del público. Esta lista se puede descargar en formato RDF (DCAT) [63] o en formato CSV.

El portal cuenta con 466 conjuntos de datos disponibles provenientes de diferentes sectores. Los datos se publican en diversos formatos, como CSV, XLS, JSON, API, RDF, GEO, XML, TXT, SHP, KML y ZIP. El formato más común en el portal es CSV.

Para cada conjunto de datos, se presenta información sobre el sector al que pertenece, la fecha en que se incorporó al catálogo, su periodicidad, el número total de descargas y los formatos en los que está disponible.

2.4.2.4 Regional Transport Consortium of Madrid

El Consorcio Regional de Transportes de Madrid (CRTM) [64] es un organismo público encargado de las competencias relacionadas con el transporte regular de viajeros en la Comunidad de Madrid. Su misión es la gestión coordinada de todos los modos de transporte y las empresas operadoras, proporcionando un sistema multimodal de servicios de transporte público respaldado por importantes infraestructuras, en el cual se realizan más de 5 millones de viajes diarios.

Los datos se ofrecen para su descarga en varios formatos: GTFS, SHP o KML para aplicaciones GIS, y CSV para tablas y hojas de cálculo. Además, a través del enlace API, los datos pueden integrarse en otras aplicaciones mediante GeoService o GeoJSON.

El portal de datos abiertos del CRTM cuenta con un servidor Virtuoso disponible como endpoint SPARQL.

En cuanto a los metadatos, el CRTM utiliza **TransportDCAT-AP**, cuyo catálogo está disponible en su portal.

2.4.2.5 Ayuntamiento de Cáceres

El portal de datos abiertos Opendata Cáceres [65], es una iniciativa del Ayuntamiento de Cáceres desarrollada a través del Proyecto RED NOVA SUSTAINABLE, cofinanciado por el FEDER dentro del Programa de Cooperación Transfronteriza España-Portugal (POCTEP) 2007-2013, con el objetivo de publicar datos y documentos de interés para la ciudadanía.

Este portal se caracteriza por ofrecer conjuntos de datos en formato de datos enlazados abiertos, alcanzando el nivel más alto de 5 estrellas de reutilización recomendado por el W3C.

El catálogo actual de datos consta de 45 conjuntos de datos distribuidos en diferentes temáticas, entre las cuales se encuentran:

- Cultura y ocio (21),
- Sector público (29),
- Turismo (6),
- Transporte (8),
- Autobuses (1),
- Salud (4),
- Medio ambiente (6),
- Urbanismo e infraestructuras (14),
- Sociedad y bienestar (1),
- Energía (13),
- Economía (2),
- Deporte (4),
- Demografía (4),
- Educación (2).

El portal utiliza CKAN como catálogo de datos, Virtuoso como servidor SPARQL y Pubby para la visualización de los datos. Además, emplea DCAT como vocabulario de descripción, así como otros vocabularios, incluyendo la ontología "OntoMunicipality", para definir conceptos propios y establecer relaciones internas.

2.4.2.6 Ayuntamiento de Zaragoza

Open Data Zaragoza [66] es una iniciativa del Ayuntamiento de Zaragoza para fomentar la reutilización de la información publicada en su sitio web por parte de ciudadanos, empresas y otras organizaciones. Este proyecto busca aumentar la transparencia de la administración, promover la participación ciudadana y generar oportunidades de crecimiento económico en diversos sectores.

El portal ofrece un catálogo de datos públicos, que incluye conjuntos de datos elaborados por el Ayuntamiento de Zaragoza o por otros organismos de la ciudad, para su reutilización por cualquier agente interesado. Estos datos están disponibles en el portal **Zaragoza Open Data**.

El portal cuenta con un total de 316 conjuntos de datos disponibles en formatos CSV, JSON y XML. Además, dispone de un **endpoint SPARQL** que permite a los usuarios obtener los resultados en formato RDF, facilitando su reutilización en aplicaciones.

Asimismo, el portal utiliza **DCAT** como vocabulario de descripción.

2.4.2.7 Aragón Open Data

Aragón Open Data [67] [68] es el portal de datos abiertos del Gobierno de Aragón. Está gestionado por la Dirección General de Administración Electrónica y Sociedad de la Información, y su misión es servir como catálogo desde el cual ciudadanos y empresas puedan acceder a los conjuntos de datos abiertos publicados tanto por el Gobierno de Aragón como por otras instituciones del territorio aragonés que deseen unirse a la iniciativa.

En el portal, los usuarios finales pueden descargar conjuntos de datos en diversos formatos, incluyendo: XLS, DOC, SHP, DWG, ODF, ODT, ODS, ODB, ODG, ODI, CSV, XML, TMX, JSON y RDF.

El portal cuenta con un **endpoint SPARQL** basado en Virtuoso.

El sitio web de Aragón Open Data está desarrollado sobre **CKAN** y su catálogo utiliza el vocabulario **DCAT** como base.

2.4.2.8 Ayuntamiento de Valencia

El objetivo de **Valencia Datos abiertos** [69] es poner a disposición de todos los ciudadanos, un conjunto de datos, producidos por el propio Ayuntamiento y sin restricciones legales, que puedan dar lugar a nuevas aplicaciones o desarrollos.

Ciudadanos, empresas e instituciones pueden beneficiarse libremente de estos datos para consultarlos o crear nuevos servicios, obteniendo, si se desea, un valor comercial, siempre sujeto a las cláusulas de reutilización establecidas por el Ayuntamiento.

El **Portal de Transparencia y Datos Abiertos del Ayuntamiento de Valencia**, a través de **OGoov**, ofrece varios métodos de API REST para acceder al catálogo de datos, obtener toda la información de un conjunto de datos, sus distribuciones y datos abiertos georreferenciados. Esta API está implementada con **CKAN**.

El catálogo de datos del Ayuntamiento de Valencia está disponible en formato **RDF/XML** basado en el vocabulario **DCAT**, desarrollado por el World Wide Web Consortium (W3C), lo que permite la estandarización en la definición de catálogos de documentos y recursos de información.

2.4.3 Conclusiones

Las versiones publicadas de W3C DCAT y DCAT-AP implicarán cambios en la NTI-RISP que, al momento de redactar esta tesis, aún no se han implementado.

Por otro lado, dado que el dominio de trabajo de esta tesis es el **tráfico vial** y, dentro de este, los servicios **SRTI**, además de cumplir con la normativa española, es necesario considerar los metadatos contemplados en este ámbito en los diferentes estándares. Como se ha mencionado, la normativa española **NTI-RISP** utiliza un vocabulario controlado sobre los tipos de sectores primarios (22 categorías), mientras que **DCAT-AP v2.0.0** hace uso de las “Name Authority Lists” relacionadas con los elementos del tema de datos (*data-theme*).

Del análisis de casos de uso, destaca el del **CRTM** (Consorcio Regional de Transportes de Madrid), ya que utilizan una de las extensiones de **DCAT-AP v1**, **TransportDCAT-AP**, específica para el

transporte público. Por lo tanto, considerando el alcance del trabajo de tesis, se tendrá en cuenta tanto esta extensión como las nuevas versiones de los estándares y el **SPA Coordinated Metadata Catalogue**, ya que algunos metadatos han cambiado o quedado obsoletos en comparación con versiones anteriores.

Otro caso de uso interesante es el de **Cáceres**, que para algunos conjuntos de datos emplea metadatos basados en el vocabulario **DATEX II**. Esto será analizado en las siguientes secciones de la tesis.

Otro aspecto relevante es la consideración de los metadatos para servicios, utilizando las nuevas especificaciones de **DCAT**, **DCAT-AP** y el **SPA Coordinated Metadata Catalogue** que se abordaran en siguientes secciones de la tesis para el caso del NAP de la DGT en España.

Respecto a las herramientas de publicación de datos, **CKAN** es la más utilizada en los portales de datos abiertos en España, junto con **Virtuoso** como endpoint SPARQL.

2.5 Análisis y revisión de los modelos utilizados para el tráfico por carretera en Europa

2.5.1 Análisis de los modelos DATEX II y herramientas

Esta sección de la tesis examina los modelos de DATEX II [19], con un enfoque particular en la información de tráfico relacionada con la seguridad vial. Dado que nuestra investigación está centrada en la información de tráfico relacionada con la seguridad (SRTI), es esencial entender cómo este estándar permite la descripción de eventos, localizaciones y su validez en el tiempo, y cómo podemos identificar los eventos que afectan la seguridad.

Se realiza un análisis general del modelo DATEX II, comparando sus distintas variantes y los eventos que cada una de ellas permite representar. A lo largo de esta revisión, se introduce el concepto de "perfiles" y "extensiones" dentro de DATEX II, que permiten adaptar el modelo a necesidades específicas.

2.5.1.1 DATEX II y el modelo de eventos en SituationPublication

DATEX II utiliza la publicación **SituationPublication** como el mecanismo principal para transmitir información de tráfico relacionada con la seguridad vial. Esto se debe a que es la única publicación que incluye registros detallados de eventos que pueden afectar la seguridad de las vías.

El tipo de evento en DATEX II se puede determinar a partir de varios elementos:

- **Clases especializadas:** En el modelo, una clase especializada de **SituationRecord** describe un tipo específico de evento. Por ejemplo, la clase **RoadSideAssistance** representa eventos de asistencia en carretera.
- **Atributos específicos:** Dentro de una clase, un atributo puede especificar más detalles sobre el tipo de evento. Por ejemplo, **roadsideAssistanceType** (tipo de asistencia en carretera) en la clase **RoadSideAssistance** usa un enumerado para definir tipos específicos de asistencia, como grúas o servicios de emergencia.
- **Información adicional:** Otros atributos pueden proporcionar detalles adicionales, como el impacto del evento en la circulación.

2.5.1.2 SituationRecord en las versiones y variantes del modelo DATEX II

El registro de situaciones (**SituationRecord**) es la pieza central en la publicación de eventos dentro de DATEX II. Este componente ha evolucionado a lo largo de diferentes versiones del modelo, permitiendo cada vez más la representación precisa de eventos complejos. Las dos versiones más recientes y utilizadas son **DATEX II v2.3** y **DATEX II v3.0**, las cuales se describen a continuación junto con la variante simplificada **DATEX Lite**.

2.5.1.3 DATEX II v2.3

En **DATEX II v2.3**, se desarrolló el concepto de **SRTI** (información relacionada con la seguridad vial). Este modelo permitió describir eventos relacionados con incidentes que afectan la seguridad de las carreteras, como accidentes, condiciones climáticas adversas, interrupciones del tráfico, entre otros.

La jerarquía de clases de **SituationRecord** en **DATEX II v2.3** es la siguiente (las clases abstractas están entre paréntesis):

- (SituationRecord)
 - (GenericSituationRecord)
 - (NonRoadEventInformation)
 - CarParks (aparcamientos)
 - RoadOperatorServiceDisruption (interrupciones de servicio de operadores viales)
 - RoadsideServiceDisruption (interrupciones en los servicios de asistencia en carretera)
 - TransitInformation (información de tránsito)
 - OperatorAction (acción del operador)
 - (NetworkManagement) (gestión de la red)
 - GeneralInstructionOrMessageToRoadUsers (instrucción general o mensaje a los usuarios de la carretera)
 - GeneralNetworkManagement (gestión general de la red)
 - ReroutingManagement (gestión de desvíos)
 - RoadOrCarriewayOrLaneManagement (gestión de la carretera o carriles)
 - SpeedManagement (gestión de la velocidad)
 - WinterDrivingManagement (gestión de la conducción en invierno)
 - RoadsideAssistance (asistencia en carretera)
 - (Roadworks) (trabajos en carretera)
 - ConstructionWorks (trabajos de construcción)
 - MaintenanceWorks (trabajos de mantenimiento)
 - SignSetting (configuración de señales)
 - (TrafficElement) (elemento de tráfico)
 - AbnormalTraffic (tráfico anormal)
 - Accident (accidente)
 - (Activity) (actividad)
 - AuthorityOperation (operación de la autoridad)
 - DisturbanceActivity (actividad perturbadora)
 - PublicEvent (evento público)
 - (Conditions) (condiciones)
 - PoorEnvironmentConditions (malas condiciones ambientales)
 - RoadConditions (condiciones de la carretera)
 - NonWeatherRelatedRoadConditions (condiciones no relacionadas con el clima)
 - WeatherRelatedRoadConditions (condiciones relacionadas con el clima)
 - (Obstruction) (obstrucción)
 - AnimalPresenceObstruction (obstrucción por presencia de animales)
 - EnvironmentalObstruction (obstrucción por el ambiente)

- GeneralObstruction (obstrucción general)
- InfrastructureDamageObstruction (obstrucción por daños en la infraestructura)
- VehicleObstruction (obstrucción por vehículos)

Esta versión también introduce varios atributos de tipo enumerado que permiten detallar los eventos más específicamente, como los tipos de asistencia en carretera o las interrupciones en el servicio.

2.5.1.4 DATEX II v3.0

DATEX II v3.0 es una versión mejorada de la v2.3, que introduce algunas incompatibilidades con la versión anterior pero mejora la precisión y flexibilidad del modelo. Uno de los cambios clave es la corrección de algunas clases que ahora son abstractas, lo que permite una mejor especialización de eventos. La ilustración 27 muestra los cambios más representativos incorporados en la versión 3.0.

En esta versión, algunas clases fueron renombradas o eliminadas. Por ejemplo:

- NonRoadEventInformation fue renombrada a ServiceInformation.
- RoadsideServiceDisruption pasó a llamarse ServiceDisruption.
- Las clases CarParks y SignSetting fueron eliminadas, ya que sus funciones se manejan ahora en publicaciones especializadas de DATEX II.

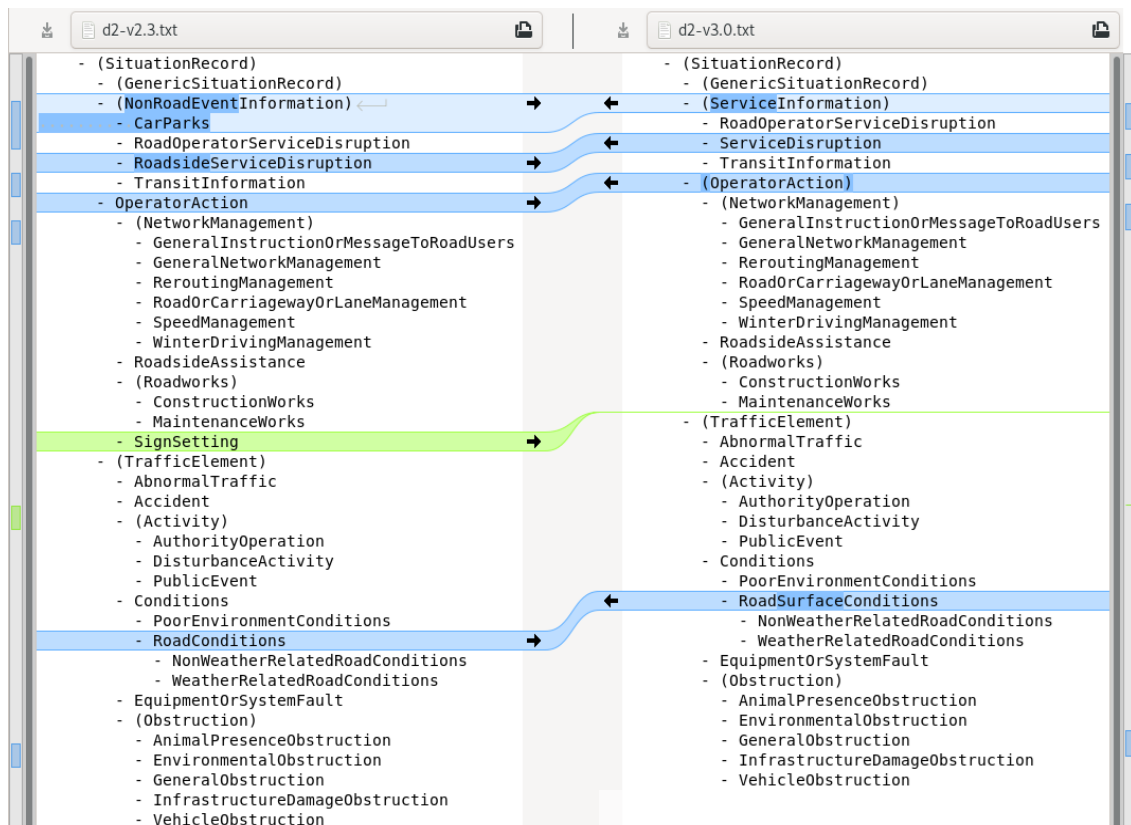


Ilustración 27: Comparativa Datex II v2.3 vs Datex II v 3.0

La jerarquía de clases en la versión 3.0 sigue siendo similar a la de v2.3, pero se ha simplificado para reducir redundancias y mejorar la claridad de los eventos. Las clases de eventos de la jerarquía de la versión son siguientes:

- **(SituationRecord)**
 - **(GenericSituationRecord)**
 - **(ServiceInformation)** (antes NonRoadEventInformation)
 - **RoadOperatorServiceDisruption** (interrupciones de servicio de operadores viales)
 - **ServiceDisruption** (antes RoadsideServiceDisruption)
 - **TransitInformation** (información de tránsito)
 - **(OperatorAction)** (acción del operador)
 - **(NetworkManagement)** (gestión de la red)
 - **GeneralInstructionOrMessageToRoadUsers** (instrucción general o mensaje a los usuarios de la carretera)
 - **GeneralNetworkManagement** (gestión general de la red)
 - **ReroutingManagement** (gestión de desvíos)
 - **RoadOrCarriagewayOrLaneManagement** (gestión de la carretera o carriles)
 - **SpeedManagement** (gestión de la velocidad)
 - **WinterDrivingManagement** (gestión de la conducción en invierno)
 - **RoadsideAssistance** (asistencia en carretera)
 - **(Roadworks)** (trabajos en carretera)
 - **ConstructionWorks** (trabajos de construcción)
 - **MaintenanceWorks** (trabajos de mantenimiento)
 - **(TrafficElement)** (elemento de tráfico)
 - **AbnormalTraffic** (tráfico anormal)
 - **Accident** (accidente)
 - **(Activity)** (actividad)
 - **AuthorityOperation** (operación de la autoridad)
 - **DisturbanceActivity** (actividad perturbadora)
 - **PublicEvent** (evento público)
 - **(Conditions)** (condiciones)
 - **PoorEnvironmentConditions** (malas condiciones ambientales)
 - **RoadSurfaceConditions** (condiciones de la superficie de la carretera)
 - **NonWeatherRelatedRoadConditions** (condiciones no relacionadas con el clima)
 - **WeatherRelatedRoadConditions** (condiciones relacionadas con el clima)
 - **(Obstruction)** (obstrucción)
 - **AnimalPresenceObstruction** (obstrucción por presencia de animales)
 - **EnvironmentalObstruction** (obstrucción por el ambiente)
 - **GeneralObstruction** (obstrucción general)
 - **InfrastructureDamageObstruction** (obstrucción por daños en la infraestructura)
 - **VehicleObstruction** (obstrucción por vehículos)

Esta versión también mejora la gestión de extensiones y permite un uso más eficiente de perfiles específicos para diferentes países o regiones, facilitando la interoperabilidad.

2.5.1.5 Variantes del modelo DATEX II

Además de las versiones completas del modelo (v2.3 y v3.0), también existe una variante simplificada llamada **DATEX Lite**, que está diseñada para implementaciones menos complejas o donde solo se requiere un subconjunto de la información. DATEX Lite reduce la complejidad de las clases y atributos, permitiendo que el modelo se utilice en contextos donde el ancho de banda o la capacidad de procesamiento son limitados, pero aún se mantiene la capacidad de reportar eventos críticos relacionados con la seguridad vial.

2.5.1.6 DATEX II y Referencias de Localización

La referenciación de localización es un tema complejo y crucial. La idea inicial de "dame un par de coordenadas y listo" puede funcionar bien para mostrar ubicaciones puntuales en un mapa. Sin embargo, las cosas se complican con ubicaciones lineales, ya que a menudo no coinciden exactamente con la representación de la carretera en el mapa utilizado. El caso de uso más

importante para la información de tráfico es describir la ubicación de manera que el conductor pueda llegar al lugar indicado y finalmente ubicarse en la carretera y dirección correctas, según lo proporcionado por el emisor de la información.

Considerando la precisión limitada de los mapas y dispositivos de medición de coordenadas, el hecho de que los mapas son proporcionados por múltiples editores, que no siempre están actualizados y que pueden carecer de ubicaciones existentes, se genera un amplio margen para errores y malentendidos.

ALERT-C es uno de los métodos de referenciación de localización más populares en el dominio de DATEX II. Aunque puede fallar al describir algunas ubicaciones secundarias que no están presentes en las tablas de localización existentes, esto podría ser aceptable, ya que el acto delegado 2013/8861 exige cubrir la red vial TENT, que siempre está presente en las tablas de ALERT-C. Sin embargo, pueden surgir problemas en países pequeños (como Eslovenia o Croacia) donde los proveedores de datos cartográficos no actualizan las tablas de localización debido al tamaño limitado del mercado.

OpenLR, como un método dinámico de referenciación de localización, podría ser la solución "universal". Requiere un esfuerzo adicional para codificar y decodificar referencias de localización, pero debería funcionar en cualquier país donde existan datos cartográficos.

2.5.1.7 DATEX II y Validez en el Tiempo

Cuando se trata de eventos de tráfico, asumimos que son válidos durante un período de tiempo determinado. A veces conocemos exactamente la hora de inicio y fin del evento, pero con frecuencia debemos realizar una estimación, teniendo en cuenta que esta puede cambiar con el tiempo (por ejemplo, los trabajos en carretera comienzan un poco más tarde, terminan antes de lo previsto o un accidente bloquea la carretera durante más horas de lo esperado).

Existen también eventos programados de manera más compleja, como la validez recurrente "todos los días laborables de 16:00 a 22:00", que puede ser relevante, por ejemplo, para trabajos en la carretera.

DATEX II proporciona los medios para describir la validez temporal en ambas situaciones: intervalos simples de inicio y fin, así como eventos recurrentes.

2.5.1.8 Perfiles y extensiones

Esta sección explica cómo se utilizan los perfiles y extensiones de DATEX II en relación con la información de tráfico relacionada con la seguridad vial (SRTI). Solo se mencionan los perfiles y extensiones que forman parte del modelo general de DATEX II. Las extensiones y perfiles nacionales se discuten en otras secciones.

DATEX II proporciona los conceptos de perfiles y extensiones:

- **Perfil:** es un modelo simplificado para un propósito específico.
- **Extensión:** es un modelo al que se le añaden partes adicionales (extendidas) que faltaban en el modelo original.

Es posible crear una extensión y luego derivar un perfil a partir de ella.

En **DATEX II v2.3**, una extensión llamada **SituationRecordExtendedApproved** se convirtió en parte del modelo y fue incluida en la categoría de extensiones aprobadas. Esta extensión proporciona una subclase de **SituationRecord** denominada **SituationRecordExtendedApproved**, que añade un atributo opcional llamado **safetyRelatedMessage** de tipo Booleano. Los publicadores pueden utilizar este atributo para indicar que un evento está relacionado con la seguridad. Es importante señalar que esto se realiza a nivel de instancia, por lo que es el publicador quien decide el valor de este atributo. El modelo de clases en sí no proporciona ninguna indicación respecto a SRTI por sí solo.

En **DATEX II v3.0**, el atributo **safetyRelatedMessage** se convirtió en una parte estándar de la clase **SituationRecord**.

2.5.1.9 Perfil de SRTI en DATEX II v3.0

El perfil de **SRTI en DATEX II v3.0** [7] es una simplificación y especialización del modelo general de DATEX II, diseñado específicamente para gestionar la **información relacionada con la seguridad vial**. Aunque este perfil no está definido como un estándar formal por el Comité Europeo de Normalización (CEN), ha sido desarrollado para cumplir con las necesidades operativas de la provisión de **Información Relacionada con la Seguridad en el Tráfico (SRTI)**, tal como se implementa en varios países de Europa.

Este perfil establece un conjunto de reglas que limitan las clases y atributos que se deben usar dentro del modelo DATEX II, asegurando que solo se transmitan los eventos y condiciones más relevantes para la seguridad vial. Al enfocarse en un subconjunto del modelo más amplio de DATEX II, el perfil SRTI ayuda a simplificar el intercambio de información, reducir la complejidad de los mensajes transmitidos y garantizar que los sistemas que consumen estos datos puedan procesarlos rápidamente y sin ambigüedades.

2.5.1.9.1 Características principales del perfil SRTI

1. **Tipos de eventos relevantes para la seguridad vial:** El perfil de SRTI prioriza eventos que tienen un impacto directo en la seguridad de los conductores y usuarios de las vías. Entre estos eventos se incluyen:
 - **Accidentes.**
 - **Obstrucciones en la vía** (ya sea por objetos, vehículos averiados o condiciones del entorno).
 - **Condiciones de la carretera** peligrosas, como **hielo, nieve, o inundaciones.**
 - **Trabajos en la carretera** que puedan representar un riesgo para los conductores.
 - **Condiciones meteorológicas adversas** que impacten la seguridad vial.
2. **Atributos relacionados con la seguridad:** El perfil SRTI aprovecha el atributo **safetyRelatedMessage** en la clase **SituationRecord**, que fue estandarizado en DATEX II v3.0. Este atributo permite a los publicadores señalar si un evento es específicamente relevante para la seguridad vial. Es un atributo booleano, por lo que su valor puede ser "verdadero" (si el evento está relacionado con la seguridad) o "falso" (si no lo está).
3. **Enfoque en la inmediatez y relevancia:** El perfil SRTI está diseñado para facilitar la transmisión de datos que sean críticos para la seguridad en tiempo real. Esto significa que los sistemas que publican información bajo este perfil están optimizados para enviar datos que requieren acciones inmediatas por parte de los conductores, como desvíos, ajustes de velocidad o advertencias de peligro.

4. **Simplicidad para el procesamiento:** Como el perfil SRTI utiliza un subconjunto del modelo completo de DATEX II, los mensajes generados son más compactos y fáciles de procesar por los sistemas de tráfico en tiempo real. Esto asegura que la información crítica llegue a los sistemas de los operadores y usuarios finales con rapidez, minimizando el procesamiento necesario.
5. **Compatibilidad con otros sistemas:** Aunque el perfil de SRTI está diseñado para la seguridad vial, sigue siendo totalmente compatible con el modelo general de DATEX II, lo que permite que los sistemas que ya utilizan DATEX II puedan procesar mensajes SRTI sin necesidad de modificaciones significativas. Esto garantiza una interoperabilidad fluida entre diferentes implementaciones.

2.5.1.9.2 Importancia del perfil SRTI

El perfil de SRTI en DATEX II v3.0 responde a la creciente demanda de **información en tiempo real** relacionada con la seguridad vial. Con el aumento del uso de sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS), vehículos conectados y sistemas de gestión del tráfico inteligente, la disponibilidad de datos precisos y rápidos sobre situaciones peligrosas en la carretera es crucial para mejorar la seguridad de los usuarios.

Este perfil es clave para armonizar el intercambio de datos de seguridad vial entre diferentes jurisdicciones y países, lo que permite a los operadores de carreteras, servicios de emergencias y aplicaciones de navegación proporcionar información crítica a los conductores en tiempo real. Aunque el perfil SRTI aún no es un estándar oficial de CEN, su adopción en varios países europeos lo posiciona como una herramienta fundamental en la mejora de la seguridad vial y la interoperabilidad de los sistemas de tráfico.

En resumen, el perfil de SRTI en DATEX II v3.0 es una solución práctica para transmitir información relacionada con la seguridad vial, optimizando el modelo de DATEX II para que los datos críticos puedan compartirse de manera eficiente y eficaz en tiempo real. Al combinar los beneficios de las extensiones y los perfiles, proporciona una base sólida para el intercambio de información de tráfico esencial para la seguridad, especialmente en entornos de tráfico dinámico y condiciones cambiantes.

2.5.1.10 Implementación en España

Las principales publicaciones de DATEX II en España son gestionadas por la DGT y publicadas en el NAP español. Estas publicaciones se encuentran en diversos tipos y versiones, aunque principalmente utilizan DATEX II versión 3.0 en la actualidad.

Los proveedores de recursos DATEX II en el NAP español incluyen la propia DGT, además del SCT y el DT-GV, que son las autoridades de tráfico de Cataluña y el País Vasco, respectivamente, ambas con competencias transferidas en gestión del tráfico.

Las publicaciones mencionadas no utilizan ningún perfil de DATEX II, aunque se ha identificado como una posible mejora a implementar en el futuro. Entre otras, la SituationPublication utiliza la extensión denominada “SpanishExtensions”, que principalmente añade nuevos campos de localización, como directionNamed (nombre del destino en la dirección del flujo del tráfico), entre otros.

En cuanto a los métodos de referenciación de localización, se destaca que los editores de DATEX en España utilizan AlertC, TPEG, ReferencePoint y PointByCoordinates.

La validez temporal se expresa como un único intervalo continuo, sin estructuras para indicar recurrencia.

Durante la elaboración de la presente tesis y en el marco del proyecto europeo **CEF LOD-RoadTran18** [70], para el caso español, se identificó que podría ser preferible desarrollar la ontología DATEX II sobre la versión 3.0, ya que esta transición permitiría cumplir con normativas europeas como la Directivas PSI, ITS y los principios FAIR. La ontología facilitaría la interoperabilidad de los datos gestionados por la DGT, el SCT y el DT-GV, formalizando extensiones específicas como "SpanishExtensions" en un modelo estandarizado y accesible. Además, habilitaría el uso de consultas avanzadas mediante SPARQL, la integración de datos mediante LOD y la mejora en la representación de la validez temporal y la referenciación de localizaciones, aprovechando las capacidades avanzadas de DATEX II versión 3.0. Este enfoque posicionaría a España como un referente en el uso de tecnologías semánticas para la movilidad, alineándose con los esfuerzos de modernización tecnológica.

En la siguiente sección, se analizan diferentes modelos LOD que podrían aplicarse a DATEX II, explorando su viabilidad y beneficios.

2.5.2 Análisis del uso LOD DATEX II

Esta sección profundiza en el análisis de diversos vocabularios y ontologías relevantes para el tráfico, con un enfoque específico en el ámbito de la Información de Tráfico Relacionada con la Seguridad (SRTI). Para evaluar su efectividad, se emplean métricas basadas en OntoQA[71], extrayendo conocimientos de la investigación de Megan Katsumi y Mark Stephen Fox [72], quienes realizan un análisis de ontologías en el ámbito del transporte. Estas métricas son una herramienta crucial que fomenta la consolidación de soluciones semánticas que aprovechan inteligentemente las ontologías existentes. Al aplicar métricas basadas en OntoQA, se lleva a cabo una evaluación integral y estandarizada de estas ontologías, permitiendo a los investigadores y profesionales comprender a fondo sus fortalezas y limitaciones. Este enfoque evaluativo, particularmente en el transporte, mide objetivamente el desempeño y la relevancia de cada ontología, impulsando soluciones semánticas en el dominio del transporte. Reconocer la importancia de reutilizar y consolidar ontologías mejora el intercambio de conocimientos, la integración y la interoperabilidad en general, contribuyendo de manera significativa al desarrollo del sector.

2.5.2.1 Métricas para criterios de evaluación

A continuación, se describen las diferentes métricas utilizadas para el análisis de los diferentes vocabularios y ontologías.

2.5.2.1.1 Métrica de Esquema: Riqueza de Relaciones

Esta métrica evalúa la diversidad de las relaciones y su disposición dentro de la ontología. Una ontología que incluye numerosas relaciones distintas a las de clase-subclase es considerada más rica que una taxonomía que se limita a este tipo de relaciones. Para calcular esta métrica, se divide el número de relaciones que no son de subclase (P) entre el total de relaciones definidas en el esquema, que se compone de las relaciones de clase-subclase (SC) más las no subclase (P). El resultado se expresa como un porcentaje. Si la riqueza de relaciones (RR) de la ontología es cercana a cero, indica que la mayoría de las relaciones son del tipo clase-subclase. Por otro lado, una ontología con un RR próximo a uno sugiere que la mayoría de las relaciones son de otro tipo distinto a clase-subclase [71].

$$RR = P / P + SC$$

El número de relaciones que no son de subclase se representará mediante el conteo de las propiedades de objeto en el esquema, y el número de relaciones definidas en el esquema se calculará sumando el conteo de las propiedades de objeto a los axiomas de subclase. Ambas métricas, propiedades de objeto y axiomas de subclase, se pueden obtener en el escritorio de Protégé [16].

Riqueza de relaciones:

- $RR > 0,66$ y $RR \leq 1$ se considerará como un nivel ALTO.
- $RR > 0,33$ y $RR \leq 0,66$ se considerará como un nivel MEDIO.
- $RR \geq 0$ y $RR \leq 0,33$ se considerará como un nivel BAJO.

2.5.2.1.2 Métrica de esquema: Calidad de la información de relaciones

La falta de dominio o rango en las propiedades de objeto: Parte de la información necesaria para modelar relaciones de clase no está incluida en la ontología. Object properties sin dominio o rango (o sin ninguno de ellos) están incluidas en la ontología.

Calidad de la información de relaciones:

- Las relaciones que tienen más del 66 % del dominio/rango definido se considerarán como de calidad ALTA en la información de relaciones.
- Las relaciones que tienen más del 33 % y hasta el 66 % del dominio/rango definido se considerarán como de calidad MEDIA en la información de relaciones.
- Las relaciones que tienen entre el 0 % y el 33 % del dominio/rango definido se considerarán como de calidad BAJA en la información de relaciones.

2.5.2.1.3 Métrica de esquema: Riqueza de atributos de OntoQA

El número de atributos (slots) que se definen para cada clase puede indicar tanto la calidad del diseño de la ontología como la cantidad de información relacionada con los datos de instancia. En general, asumimos que cuantos más slots se definan, más conocimiento transmite la ontología [71].

Formalmente, la riqueza de atributos (AR) se define como el número promedio de atributos (slots) por clase. Se calcula dividiendo el número total de atributos para todas las clases (att) entre el número de clases (C).

$$AR = att / C$$

Riqueza de atributos:

- $AR > 3$ se considerará como nivel ALTO
- $AR \geq 1,5$ y $AR \leq 3$ se considerará como nivel MEDIO
- $AR < 1,5$ se considerará como nivel BAJO

2.5.2.1.4 Métrica del esquema: Calidad de la información de atributos

Falta de dominio o rango en las propiedades de datos: Parte de la información necesaria para modelar atributos en el dominio previsto no está incluida en la ontología. Las propiedades de datos sin dominio o rango (o ninguna de ellas) están incluidas en la ontología. Calidad de la información de atributos

- Los atributos que tienen más del 66 % del dominio/rango definido se considerarán como de calidad de información de atributos ALTA.
- Los atributos que tienen más del 33 % y hasta el 66 % del dominio/rango definido se considerarán como de calidad de información de atributos MEDIA.
- Los atributos que tienen entre el 0 % y el 33 % del dominio/rango definido se considerarán como de calidad de información de atributos BAJA.

2.5.2.2 Ontologías y vocabularios

2.5.2.2.1 Ontología para Redes de Transporte

REWERSE es una "Red de Excelencia" (NoE) de investigación sobre "Razonamiento en la Web" que está financiada por la Comisión de la UE y Suiza dentro del "6º Programa Marco" (FP6), Tecnologías de la Sociedad de la Información (IST), Prioridad 2 bajo el número de referencia del proyecto 506779. REWERSE aborda la línea de acción estratégica IST "Sistemas de conocimiento basados en semántica" [73].

La Ontología de Redes de Tráfico (OTN) aborda los aspectos más importantes de las redes de tráfico, el transporte y la locomoción en general. Se basa en el formato de archivo de datos geográficos (GDF), que está disponible como la norma ISO 14825 y actualmente se encuentra en la versión 4.0.

En la tabla 9 se muestra un resumen del análisis de la Ontología para Redes de Transporte.

Métrica	Valor	Categoría
Riqueza de relaciones	0,1074	LOW
Calidad de la información de las relaciones	Adequate	HIGH
Riqueza de atributos (Propiedades de datos)	0,4166	LOW
Calidad de la información de los atributos	Adequate	HIGH
Grado de cobertura con el modelo DATEX II	LOW	LOW
Amplitud de uso de la ontología en España	Not Used	LOW

Tabla 9: Tabla de resumen de análisis Ontología para Redes de Transporte

2.5.2.2.2 Ontology Based Road Traffic Management

OSMonto es una ontología que se basa en las etiquetas de OpenStreetMap, diseñada para facilitar el mantenimiento y la supervisión de las etiquetas existentes, así como para enriquecer su semántica mediante la relación con otras ontologías. Este proyecto fue desarrollado en la Universidad de Bremen y en DFKI Bremen por un equipo de investigadores, incluyendo a Mihai Codescu, Gregor Horsinka, Oliver Kutz, Till Mossakowski y Rafaela Rau [74].

En la estructura de OSMonto, las etiquetas se organizan en una jerarquía según sus claves, donde cada clave actúa como un superconcepto que agrupa sus respectivos valores. Este método se aplica especialmente cuando el valor es una constante de OSM en lugar de un texto o número. Dado que una clave y un valor pueden tener el mismo nombre, y los nombres de los

conceptos deben ser únicos en OWL, se decidió agregar un prefijo 'k_' a todas las claves y 'v_' a todos los valores.

La ontología OSMonto está disponible como un archivo .owl y puede ser visualizada utilizando herramientas como Protégé. El código fuente del proyecto se puede descargar gratuitamente. En este contexto, OSMonto actúa como un intermediario entre la base de datos y las acciones que los usuarios pueden seleccionar, todas ellas organizadas en forma de ontología.

A continuación, en la tabla 10 se muestra un resumen del análisis de OSMonto.

Métrica	Valor	Categoría
Riqueza de relaciones	0,0473	LOW
Calidad de la información de las relaciones	Adequate	HIGH
Riqueza de atributos (Propiedades de datos)	0,0579	LOW
Calidad de la información de los atributos	Adequate	HIGH
Grado de cobertura con el modelo DATEX II	LOW	LOW
Amplitud de uso de la ontología en España	Not Used	LOW

Tabla 10: Tabla de resumen de análisis OSMonto

2.5.2.2.3 Road Accident Ontology

Primer borrador fue elaborado por Daniel Dardailler para ser presentado durante la W3C Geek Week en julio de 2012 [75]. Su propósito es proporcionar un modelo ontológico que represente los accidentes de tráfico, incluyendo los diferentes actores involucrados, la ubicación de los incidentes, así como las causas y efectos asociados. Sin embargo, a pesar de su diseño conceptual, la ontología aún no ha sido implementada en la práctica, lo que plantea interrogantes sobre su utilidad y aplicabilidad en el ámbito real. Hasta la fecha, no se ha encontrado ningún recurso que utilice este vocabulario, lo que sugiere una falta de adopción o difusión en la comunidad de investigación y desarrollo en el campo de la gestión de accidentes viales.

A continuación, en la tabla 11 se muestra un resumen del análisis de Road Accident Ontology.

Métrica	Valor	Categoría
Riqueza de relaciones	0,4473	medium
Calidad de la información de las relaciones	Adequate	HIGH
Riqueza de atributos (Propiedades de datos)	1,875	medium
Calidad de la información de los atributos	Adequate	HIGH
Grado de cobertura con el modelo DATEX II	LOW	LOW
Amplitud de uso de la ontología en España	Not Used	LOW

Tabla 11: Tabla de resumen de Road Accident Ontology

2.5.2.2.4 km4city, the DISIT Knowledge Model for City and Mobility

La plataforma **Km4City** se erige como una herramienta innovadora para el desarrollo de Ciudades Inteligentes, diseñada con el objetivo de implementar una visión integral para el entorno urbano. Su enfoque no solo se centra en el monitoreo de la evolución de la ciudad, sino también en la creación y difusión de nuevos servicios que buscan mejorar la calidad de vida de sus habitantes y fomentar un crecimiento económico sostenible. En este contexto, se reconoce que una ciudad atractiva es aquella que se considera una "ciudad que produce", donde los ciudadanos se sienten felices y orgullosos de su entorno [76].

El modelo de conocimiento de Km4City permite una descripción detallada y multifacética de las ciudades inteligentes, facilitando la interconexión, almacenamiento y análisis de datos provenientes de diversas fuentes. Esto incluye información de diferentes portales de la región de Toscana, como el MIIC (Ministerio de Infraestructuras y Transporte de Italia), Muoversi in Toscana y el Osservatorio dei Trasporti. Además, se incorporan datos abiertos y datos enlazados que son proporcionados por los municipios individuales, siendo Florencia uno de los principales contribuyentes a esta iniciativa.

Esta capacidad para integrar y analizar datos de múltiples fuentes no solo enriquecerá el modelo ontológico, sino que también permitirá a los responsables de la planificación urbana tomar decisiones más informadas y adaptadas a las necesidades de la comunidad. Como resultado, es evidente que la ontología en desarrollo será extensa y compleja, reflejando la riqueza y diversidad de información que puede ofrecer un entorno urbano moderno y dinámico. Esto proporcionará un marco sólido para la innovación y la mejora continua en la gestión de la ciudad, asegurando que todos los usuarios se beneficien de una experiencia urbana más satisfactoria y enriquecedora.

A continuación, en la tabla 12 se muestra un resumen de las diferentes métricas tras el análisis de la ontología km4city.

Métrica	Valor	Categoría
Riqueza de relaciones	0,1306	LOW
Calidad de la información de las relaciones	Adequate	HIGH
Riqueza de atributos (Propiedades de datos)	0,3928	LOW
Calidad de la información de los atributos	medium	medium
Grado de cobertura con el modelo DATEX II	LOW	LOW
Amplitud de uso de la ontología en España	Not Used	LOW

Tabla 12: Tabla de resumen de km4city, the DISIT Knowledge Model for City and Mobility

2.5.2.2.5 Transport Disruption ontology

La ontología de Disrupción del Transporte ofrece una estructura formal para representar eventos que afectan negativamente los planes de viaje de los viajeros. Se centra en los incidentes que interrumpen el transporte y cómo estos afectan a los itinerarios y decisiones de los viajeros [77].

Esta ontología se compone de dos secciones principales. La primera incluye las clases que describen los eventos disruptivos en sí, tales como accidentes, retrasos o cambios en la programación. La segunda sección se centra en la jerarquía de los diferentes tipos de eventos de viaje y transporte, lo que permite una mejor categorización y comprensión de cómo se relacionan estos eventos entre sí y con los planes de viaje de los usuarios.

Un ejemplo notable de la aplicación de esta ontología es el proyecto Social Journeys. Este proyecto investiga el uso de las redes sociales como una herramienta para proporcionar información en tiempo real a los pasajeros del transporte público. A través de la integración de datos de redes sociales y la ontología de disrupción, los investigadores buscan comprender cómo la información sobre interrupciones en el transporte se puede comunicar de manera más efectiva a los viajeros, mejorando así su experiencia y capacidad de respuesta ante situaciones imprevistas.

Al permitir una mejor representación y análisis de los eventos de transporte, esta ontología tiene el potencial de optimizar los sistemas de transporte, facilitar la planificación de viajes y contribuir a un transporte público más eficiente y receptivo.

Además, la ontología de Disrupción del Transporte se utiliza en el contexto de Vocab.datex, que es una iniciativa diseñada para estandarizar el intercambio de información sobre eventos de tráfico de DATEX y situaciones en las carreteras. Al vincular la ontología con Vocab.datex, se permite una mayor interoperabilidad y consistencia en la representación de los datos relacionados con el tráfico. Esto es especialmente relevante en un entorno donde múltiples sistemas y plataformas deben compartir información de manera eficiente para facilitar la movilidad y la seguridad vial.

A continuación, en la tabla 13 se muestra un resumen del análisis de la ontología de Transport Disruption Ontology.

Métrica	Valor	Categoría
Riqueza de relaciones	0,1561	LOW
Calidad de la información de las relaciones	Adequate	HIGH
Riqueza de atributos (Propiedades de datos)	0,1210	LOW
Calidad de la información de los atributos	Adequate	HIGH
Grado de cobertura con el modelo DATEX II	LOW	LOW
Amplitud de uso de la ontología en España	Not Used	LOW

Tabla 13: Tabla de resumen de Transport Disruption Ontology

2.5.2.2.6 Vocab.linkeddata.es. Vocabulario para la representación de datos de las infraestructuras de medios de transporte

Vocab.linkeddata.es es un portal en línea creado y mantenido por el Grupo de Ingeniería de Ontologías (OEG) de la Universidad Politécnica de Madrid, ubicada en España. Este sitio se especializa en proporcionar una extensa recopilación de vocabularios que son esenciales para el trabajo con datos abiertos enlazados LOD. A través de esta plataforma, los usuarios pueden acceder a una variedad de vocabularios, que son conjuntos de términos y definiciones que permiten la descripción y la interconexión de datos en la web semántica [78].

La importancia de vocab.linkeddata.es radica en su función como recurso clave para investigadores, desarrolladores y profesionales que trabajan en el ámbito de la web semántica. Los vocabularios disponibles en el sitio facilitan la interoperabilidad y la reutilización de datos, promoviendo así la colaboración y el intercambio de información entre diferentes sistemas y comunidades. Además, el portal también sirve como un punto de referencia para aquellos interesados en la creación de ontologías y en la implementación de prácticas de Linked Data en sus proyectos.

En resumen, vocab.linkeddata.es no solo ofrece un compendio de vocabularios, sino que también actúa como un recurso educativo y de apoyo para aquellos que buscan profundizar en el campo de los datos abiertos y la ingeniería de ontologías, fomentando un ecosistema más colaborativo y accesible para el uso de datos en la web.

Bajo el dominio Vocab.linkeddata.es, el Grupo de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Madrid ofrece una lista de vocabularios destinada a la publicación homogénea de datos abiertos provenientes de diversas ciudades en España.

A continuación, en la tabla 14 se muestra un resumen del análisis de Vocabulario para la representación de datos de las infraestructuras de medios de transporte.

Métrica	Valor	Categoría
Riqueza de relaciones	0,3461	LOW/medium
Calidad de la información de las relaciones	medium	medium
Riqueza de atributos (Propiedades de datos)	0,3552	LOW
Calidad de la información de los atributos	LOW	LOW
Grado de cobertura con el modelo DATEX II	LOW	LOW
Amplitud de uso de la ontología en España	Zaragoza Council, Alcobendas Council, CRTM Madrid	Zaragoza Council, Alcobendas Council, CRTM Madrid

Tabla 14: Tabla resumen de Vocab.linkeddata.es. Vocabulario para la representación de datos de las infraestructuras de medios de transporte

2.5.2.2.7 Vocabulario para la representación de datos de tráfico

Este vocabulario ha sido diseñado para representar información sobre el estado del tráfico en áreas urbanas, facilitando así una mejor comprensión y análisis de las condiciones viales en una ciudad. Extiende la Ontología de la Red de Sensores Semánticos (SSN) del W3C, una ontología que se encuentra en proceso de estandarización, con el propósito de hacerlo compatible tanto con herramientas de visualización ya existentes como con cualquier sistema que pueda procesar esta ontología [79].

La integración de este vocabulario es especialmente útil al emplearlo junto con vocabularios diseñados para representar el mapa vial de una ciudad, enfocándose específicamente en la descripción de tramos de carretera. Los tramos de carretera suelen ser las unidades básicas de observación cuando se proporciona información sobre el tráfico urbano, pues son estos segmentos los que experimentan cambios en tiempo real debido a variaciones en la intensidad del tráfico, accidentes o trabajos en la vía, entre otros factores.

Actualmente, las clases y propiedades de este vocabulario se centran en representar datos de intensidad de tráfico para estos tramos, como el número de vehículos por unidad de tiempo o el nivel de congestión. Sin embargo, se espera que en el futuro el vocabulario se expanda para incluir otros tipos de observaciones. Por ejemplo, podría incorporar datos sobre la velocidad promedio de los vehículos, la densidad de tráfico, la composición del flujo vehicular (como la proporción de vehículos pesados frente a ligeros), o incluso datos sobre emisiones y la calidad del aire en función del tráfico.

Este enfoque extensible no solo permite un análisis detallado de la situación actual del tráfico en tiempo real, sino que también habilita un marco de trabajo para el monitoreo histórico y la predicción de patrones de tráfico. Al adoptar este vocabulario junto con una representación detallada del mapa urbano y sus tramos viales, es posible crear soluciones avanzadas para la planificación urbana, la gestión del tráfico y la toma de decisiones basada en datos. En última instancia, el objetivo es que este vocabulario sea una herramienta versátil y adaptable a cualquier contexto de observación y análisis del tráfico, en distintas ciudades y regiones, mejorando la interoperabilidad entre sistemas y la utilidad de los datos obtenidos.

En la tabla 15 se muestra un resumen del análisis de Vocabulario para la representación de datos de tráfico.

Métrica	Valor	Categoría
Riqueza de relaciones	0,3758	LOW/medium
Calidad de la información de las relaciones	LOW	LOW
Riqueza de atributos (Propiedades de datos)	0	LOW
Calidad de la información de los atributos	LOW	LOW
Grado de cobertura con el modelo DATEX II	LOW	LOW

Amplitud de uso de la ontología en España	Zaragoza Council, Alcobendas Council	Zaragoza Council, Alcobendas Council

Tabla 15: Tabla resumen de Vocabulario para la representación de datos de tráfico

2.5.2.2.8 Vocabulario para la representación de datos de tráfico generado por vehículos motorizados

El vocabulario desarrollado por Ciudadesabiertas.es para la representación de datos sobre el tráfico de vehículos motorizados proporciona un marco estructurado para entender y analizar la movilidad urbana. Este vocabulario se enfoca en el tráfico de vehículos motorizados, como automóviles y motocicletas, y excluye otros medios de transporte, como bicicletas o peatones, con el objetivo de centrar el análisis en los datos específicos de tráfico vehicular. Su alcance abarca varios aspectos clave:

- **Equipamiento de tráfico:** Este componente incluye dispositivos de medición que monitorean y registran información sobre el flujo y la densidad del tráfico en diferentes zonas de la ciudad. Se especifican los tipos de dispositivos, las métricas que registran, su ubicación exacta y las secciones de las vías que supervisan. Los dispositivos pueden ser sensores de velocidad, cámaras de monitoreo y estaciones meteorológicas que proporcionan datos de contexto, como condiciones climáticas que pueden afectar el tráfico.
- **Incidentes de tráfico:** Se representan datos sobre distintos tipos de incidentes de tráfico en vías públicas, como accidentes, atascos o reparaciones en curso. La tipología de incidentes permite a los organismos de control y a los ciudadanos entender mejor las condiciones del tráfico y adoptar medidas preventivas o alternativas de transporte en tiempo real.
- **Tramos de vía pública:** El vocabulario detalla las secciones específicas donde se encuentran los equipos de medición o donde se registran los incidentes. Esta información ayuda a contextualizar los datos de tráfico, ya que permite asociar incidentes y mediciones con ubicaciones precisas, lo cual es esencial para un análisis detallado y útil para la toma de decisiones en la gestión del tráfico urbano.

Este vocabulario se ha desarrollado en el contexto del proyecto *Plataforma de gobierno abierta, colaborativa e interoperable*, una iniciativa en la que colaboran los ayuntamientos de Madrid, Zaragoza, Santiago de Compostela y A Coruña. Esta plataforma tiene como objetivo no solo mejorar la transparencia y el intercambio de datos entre ciudades, sino también fomentar un gobierno digital más inclusivo y accesible para la ciudadanía. El uso de vocabularios y ontologías comunes facilita la interoperabilidad de los sistemas de datos entre estas ciudades, permitiendo que los datos sobre tráfico sean accesibles y reutilizables para distintos fines, como análisis de políticas de movilidad, planificación urbana y mejor toma de decisiones en tiempo real.

En la tabla 16 se muestra un resumen del análisis de Vocabulario para la representación de datos de tráfico generado por vehículos motorizados

Métrica	Valor	Categoría
Riqueza de relaciones	0,625	medium
Calidad de la información de las relaciones	HIGH	HIGH
Riqueza de atributos (Propiedades de datos)	0,8	medium/LOW
Calidad de la información de los atributos	HIGH	HIGH
Grado de cobertura con el modelo DATEX II	LOW	LOW

Amplitud de uso de la ontología en España	0,625	medium

Tabla 16: Tabla resumen de Vocabulario para la representación de datos de tráfico generado por vehículos motorizados

2.5.2.2.9 Linked GTFS

El Linked General Transit Feed Specification (Linked GTFS) [80] es una adaptación del formato GTFS (General Transit Feed Specification) que convierte la información original en formato CSV a un modelo RDF (Resource Description Framework). Este proceso de mapeo permite que los datos de transporte público, que incluyen horarios, rutas, paradas, y otras características, se integren en el Linked Data de la web semántica. En esta adaptación, se mantiene la estructura del formato CSV original para asegurar la compatibilidad y se realizan algunas adiciones menores que facilitan su uso y aplicación en diversas plataformas.

La transformación de GTFS a RDF facilita la interoperabilidad de datos entre distintos sistemas y permite que la información de transporte se vincule con otros conjuntos de datos abiertos. Este enfoque es especialmente útil para mejorar la accesibilidad y la interoperabilidad en proyectos de Smart Cities, en los que se busca integrar diferentes fuentes de información para mejorar la planificación y gestión urbana. Al estar en RDF, los datos de Linked GTFS pueden ser consultados mediante SPARQL, permitiendo búsquedas avanzadas y análisis enriquecidos que incluyen otros datos vinculados, como demografía, meteorología, y puntos de interés de la ciudad.

Esta adaptación del GTFS, también alinea los datos de tránsito con la web semántica y permite una mayor reutilización y vinculación de datos en proyectos de investigación y aplicaciones orientadas al usuario final, como aplicaciones móviles de planificación de rutas y estudios de movilidad urbana.

En la tabla 17 se muestra un resumen del análisis de LinkedGTFS.

Métrica	Valor	Categoría
Riqueza de relaciones	0,7916	HIGH
Calidad de la información de las relaciones	HIGH	HIGH
Riqueza de atributos (Propiedades de datos)	0,8	medium/LOW
Calidad de la información de los atributos	HIGH	HIGH
Grado de cobertura con el modelo DATEX II	LOW	LOW
Amplitud de uso de la ontología en España	Caceres Council, Open data Aragon	Caceres Council, Open data Aragon

Tabla 17: Tabla resumen de LinkedGTFS

2.5.2.2.10 Vocab.datex

La ontología de vocab.datex, ofrece un vocabulario valioso para mapear DATEX II a una ontología OWL, siendo fundamental en un programa de investigación belga que amplía el alcance estándar de DATEX II. Desarrollado de manera colaborativa por entidades como el proyecto Biotope, el proyecto Open Transport Net, ITS Belgium, iMinds, y Open Transport en Open Knowledge, tuvo su origen en el Open Summer of Code en 2016 [81].

Aunque actualmente el sitio web original está fuera de línea la ontología sigue disponible en <https://lov.linkeddata.es> [82]. Además, la ontología sigue siendo utilizada en portales de datos abiertos españoles, subrayando su relevancia práctica. A pesar de su inaccesibilidad actual, vocab.datex ha dejado un impacto duradero, ejemplificando esfuerzos colaborativos que mejoran el intercambio de datos y la interoperabilidad en el ámbito del transporte.

En la tabla 18 se muestra un resumen del análisis de la ontología vocab.datex.

Métrica	Valor	Categoría
Riqueza de relaciones	0,8266	HIGH
Calidad de la información de las relaciones	LOW	LOW
Riqueza de atributos (Propiedades de datos)	1,6373	medium/LOW
Calidad de la información de los atributos	LOW	LOW
Grado de cobertura con el modelo DATEX II	HIGH	HIGH
Amplitud de uso de la ontología en España	Caceres Council	Caceres Council

Tabla 18: Tabla resumen de Vocab.datex

2.5.2.2.11 MobiVoc

MobiVoc es un vocabulario estándar (también conocido como "esquema", "diccionario de datos" u "ontología") diseñado para datos relacionados con la movilidad. Actualmente, abarca los siguientes temas: puntos de recarga eléctrica, instalaciones de estacionamiento y zonas de obras en carreteras (DATEX II) [83].

Los nuevos conceptos de movilidad y una mejor interconexión de los datos son factores clave para el desarrollo económico global. Para crear conceptos de movilidad innovadores y sostenibles, se requieren nuevos servicios de valor añadido basados en datos.

La versión más reciente del vocabulario fue publicada el 23 de agosto de 2019. Incluye conceptos y propiedades relacionados con las obras en carreteras, lo que permite que **MobiVoc** sea compatible con DATEX II. Un conjunto de datos abierto sobre obras viales contiene información sobre la ubicación, los carriles afectados, la duración de las obras, los límites de velocidad, un breve comentario para difusión pública, una clasificación de las obras y otros detalles. Este tipo de datos se utiliza en el proyecto de investigación **LIMBO** para optimizar el enrutamiento de vehículos eléctricos, facilitando la búsqueda de la ruta óptima hacia el siguiente punto de recarga.

En la tabla 19 se muestra un resumen del análisis de la ontología MobiVoc.

Métrica	Valor	Categoría
Riqueza de relaciones	0,6875	HIGH
Calidad de la información de las relaciones	HIGH	HIGH
Riqueza de atributos (Propiedades de datos)	1,3389	medium/LOW
Calidad de la información de los atributos	HIGH	HIGH
Grado de cobertura con el modelo DATEX II	HIGH in mobility	HIGH in mobility
Amplitud de uso de la ontología en España	Not Used	LOW

Tabla 19: Tabla resumen de MobiVoc

2.5.2.2.12 DATEX II Ontology, University of Valencia

En el modelo estándar de DATEX II se define un amplio conjunto de atributos y relaciones relacionados con la información sobre el tráfico. Por esta razón, la Universidad de Valencia desarrolló una ontología enfocada en representar cualquier situación o evento de tráfico que pudiera ocurrir en un escenario real [84].

DATEX II establece una jerarquía de tipos de situaciones: aquellas derivadas de acciones de los operadores en la carretera, eventos no relacionados con la carretera y elementos de situaciones causadas por el tráfico. Dentro de estas últimas, se incluyen subdivisiones como accidentes y tráfico anómalo, aspectos que están cubiertos por la ontología.

Aunque la Universidad de Valencia ha realizado diversos trabajos y publicaciones relacionados con el tráfico y el estándar DATEX II, la ontología desarrollada no ha sido publicada y actualmente no está en uso.

En la tabla 20 se muestra un resumen del análisis de la ontología University of Valencia.

Métrica	Valor	Categoría
Riqueza de relaciones	0,1567	LOW
Calidad de la información de las relaciones	HIGH	HIGH
Riqueza de atributos (Propiedades de datos)	0,1576	LOW
Calidad de la información de los atributos	HIGH	HIGH
Grado de cobertura con el modelo DATEX II	HIGH	HIGH
Amplitud de uso de la ontología en España	0,1567	LOW

Tabla 20: Tabla resumen de MobiVoc

2.5.2.2.13 Tabla resumen Ontologías y conclusiones

La tabla número 21 que se muestra a continuación un resumen global de todas las ontologías y vocabularios donde constan todas las métricas utilizadas en el análisis.

	Relationship richness	Relationship information Quality	Attribute richness	Attribute information Quality	Degree of coverage with datex ii model	Spread of use of the ontology in Spain
Ontology for Transportation Networks	LOW	HIGH	LOW	HIGH	LOW	LOW
Ontology Based Road Traffic Management	LOW	HIGH	LOW	HIGH	LOW	LOW
Road Accident Ontology	Medium	HIGH	Medium	HIGH	LOW	LOW
km4city, the DISIT Knowledge Model for City and Mobility	LOW	HIGH	LOW	Medium	LOW	LOW
Transport disruption Ontology	LOW	HIGH	LOW	HIGH	LOW	LOW
Vocabulary for data representation of the means of transport infrastructure	LOW/Medium	Medium	LOW	LOW	LOW	Zaragoza Council, AlcobendasCouncil I, CRTM, Madrid
Vocabulary for representing traffic data	LOW/Medium	LOW	LOW	LOW	LOW	Zaragoza Council, AlcobendasCouncil I
Vocabulary for the representation of data on traffic made by motor vehicles. Vocab.ciudadesabiertas	Medium	HIGH	LOW/Medium	HIGH	LOW	Madrid, Zaragoza, Santiago de Compostela and A Coruña participate.
Linked GTFS	HIGH	HIGH	LOW/Medium	HIGH	LOW	Caceres Council, Open data Aragon
Vocab.datex	HIGH	LOW	LOW/Medium	LOW	HIGH	Caceres Council
MobiVoc	HIGH	HIGH	LOW/Medium	HIGH	HIGH in mobility	LOW
DATEX II ONTOLOGY, University ofValencia	LOW	HIGH	LOW	HIGH	HIGH	LOW

Tabla 21: Tabla resumen Ontologías

2.5.2.2.14 Conclusiones

Como se puede observar en la tabla resumen, tres ontologías presentan un alto grado de cobertura con el modelo DATEX II. Moviboc muestra un alto nivel de compatibilidad con DATEX II en movilidad, mientras que Vocab.datex tiene un alto grado de cobertura en el DATEX II, que es el tema de nuestro estudio.

Aunque Vocab.datex tiene una alta cobertura en DATEX II STRI y se utiliza en algunos ayuntamientos en España, es importante tener en cuenta que su diseño no parece estar completamente terminado y presenta algunas deficiencias en la calidad de modelado, especialmente en lo que respecta a las relaciones y atributos.

En cuanto a la ontología de la Universidad de Valencia, esta también muestra un alto grado de cobertura en DATEX II STRI, con puntuaciones elevadas en la calidad de las relaciones y atributos. Sin embargo, tiene calificaciones bajas en riqueza de relaciones y atributos, y actualmente no está en uso.

Por lo tanto, parece necesario que la ontología para migrar de DATEX II a un modelo semántico de Linked Data sea completa y contemple toda la información necesaria sobre las relaciones y atributos de las clases de la ontología. Esto garantizaría una representación más precisa y utilizable de los datos en el contexto de sistemas de información de transporte.

Un análisis ampliado de estas ontologías, que incluyó la ontología SRTI desarrollada en esta investigación, fue presentado en el artículo "*A Comprehensive Analysis of Ontologies Related to Safety-Related Traffic Information for Road Traffic*", publicado en **EATIS 2024** [85]. Dicho análisis destacó las fortalezas de la ontología SRTI en términos de interoperabilidad y cobertura, contribuyendo a consolidarla como una solución robusta para la gestión de información en el contexto de la seguridad vial y los sistemas de transporte inteligentes.

3 TECNOLOGIAS RELACIONADAS CON LA WEB SEMANTICA

3.1 Introducción

En esta sección se presenta un análisis detallado de las principales tecnologías relacionadas con la web semántica que son fundamentales para esta investigación. Estas herramientas desempeñan un papel clave en la gestión, consulta, y publicación de datos LOD, lo que permite un manejo más eficiente y estructurado de grandes volúmenes de datos provenientes de diversas fuentes, como incidentes de tráfico, meteorología, y geolocalización. El propósito es evaluar sus capacidades y limitaciones, destacando cómo cada tecnología contribuye al desarrollo y consolidación de la solución propuesta en esta tesis. Este análisis ofrece una visión crítica que fundamenta la elección e integración de las herramientas en la arquitectura semántica presentada.

3.2 Análisis de tecnologías relacionadas con la web semántica

3.2.1 Virtuoso SPARQL Endpoint

Virtuoso [86] es un sistema de gestión de bases de datos multiuso que incluye funcionalidades de triplestore, soporte para consultas SPARQL y capacidades de almacenamiento y recuperación de datos RDF. Su endpoint SPARQL permite realizar consultas sobre datos RDF almacenados en el sistema utilizando el lenguaje de consulta SPARQL. Además, Virtuoso ofrece soporte para GeoSPARQL, una extensión de SPARQL que permite realizar consultas espaciales, lo cual es esencial para el análisis de datos geográficos.

Pros de Virtuoso SPARQL Endpoint

1. Rendimiento y Escalabilidad:

- Alto rendimiento: Virtuoso es conocido por manejar grandes volúmenes de datos RDF con un alto rendimiento, gracias a sus técnicas avanzadas de optimización de consultas y almacenamiento.
- Escalabilidad: El sistema puede escalar horizontalmente para manejar grandes conjuntos de datos, lo que lo hace adecuado para proyectos a gran escala como sistemas de tráfico o datos meteorológicos.

2. Soporte Completo para SPARQL y GeoSPARQL:

- Compatibilidad Completa con SPARQL: Virtuoso ofrece soporte total para el estándar SPARQL, incluidas todas las versiones del lenguaje, permitiendo realizar consultas complejas y flexibles sobre datos RDF.
- GeoSPARQL: Virtuoso incluye soporte para GeoSPARQL, lo que le permite realizar consultas geoespaciales sobre datos RDF que contengan información geográfica. Esto es particularmente útil para enlazar y analizar datos espaciales, como los incidentes de tráfico y datos meteorológicos. Las funcionalidades de GeoSPARQL permiten realizar consultas sobre relaciones espaciales como "intersecta", "dentro", "cerca de", etc., lo que enriquece significativamente los datos con contexto geoespacial.

3. Integración con Otras Tecnologías:

- Interoperabilidad: Virtuoso se integra fácilmente con otras tecnologías y herramientas de datos, como APIs RESTful, sistemas de visualización y otras bases de datos. Esta interoperabilidad facilita la construcción de sistemas complejos basados en datos enlazados y LOD.
- Soporte para Linked Data: Ofrece soporte nativo para la publicación de datos como LOD, contribuyendo a la interoperabilidad y reutilización de datos en la web semántica.

4. Características de Administración y Seguridad:

- Interfaces de Administración: Proporciona herramientas intuitivas de administración y monitoreo, lo que facilita la configuración y el mantenimiento del sistema.
- Seguridad: Incluye mecanismos de seguridad avanzados, como autenticación y autorización basada en roles, que garantizan un acceso controlado y seguro a los datos almacenados.

Contras de Virtuoso SPARQL Endpoint

1. Complejidad de Configuración y Gestión:

- Curva de Aprendizaje: La configuración y administración de Virtuoso, especialmente cuando se trata de sus funcionalidades avanzadas (como GeoSPARQL), puede ser compleja y requerir experiencia técnica. La curva de aprendizaje para los nuevos usuarios puede ser pronunciada.
- Configuración de GeoSPARQL: Aunque ofrece soporte para GeoSPARQL, configurar y optimizar las consultas geoespaciales puede requerir ajustes técnicos adicionales, lo que puede ser desafiante sin conocimientos especializados en bases de datos geoespaciales.

2. Consumo de Recursos:

- Uso de Recursos: Virtuoso, especialmente cuando maneja consultas complejas o grandes volúmenes de datos RDF y geoespaciales, puede consumir una cantidad significativa de memoria y CPU. Esto puede requerir un hardware robusto y la optimización del rendimiento.

3. Costos y Licenciamiento:

- Licenciamiento: Aunque Virtuoso ofrece una versión comunitaria gratuita, las versiones comerciales con soporte pueden tener costos elevados, dependiendo de las características y el soporte técnico requerido. Los usuarios deben evaluar sus necesidades antes de optar por una licencia comercial.

4. Mantenimiento y Actualizaciones:

- Mantenimiento Requerido: El sistema requiere actualizaciones y mantenimiento regulares para garantizar la estabilidad, seguridad y rendimiento óptimos. El mantenimiento de bases de datos que incluyen consultas geoespaciales como GeoSPARQL puede ser aún más demandante.

Virtuoso SPARQL Endpoint es una herramienta potente y versátil para la gestión y consulta de datos RDF, con un rendimiento y escalabilidad excepcionales. Su soporte para SPARQL y GeoSPARQL lo convierte en una solución ideal para proyectos que involucren datos geoespaciales, como la integración de datos de tráfico y meteorológicos en sistemas de transporte inteligente. No obstante, la complejidad de su configuración y gestión, así como el consumo de recursos, son factores a tener en cuenta, especialmente en implementaciones a gran escala. Para aquellos que necesiten un triplestore robusto con capacidades geoespaciales, Virtuoso es una opción valiosa, aunque puede requerir una inversión considerable en términos de tiempo y recursos para su correcta configuración y mantenimiento.

3.2.2 Fuseki

Apache Jena Fuseki [87] es un servidor SPARQL que forma parte del ecosistema de Apache Jena, una plataforma de código abierto para la construcción de aplicaciones de la web semántica y Linked Data. Fuseki permite ejecutar consultas SPARQL y actualizar bases de datos RDF a través de una interfaz HTTP. Es una opción popular para desarrolladores e investigadores que buscan una solución ligera y flexible para manejar datos RDF y SPARQL.

Pros de Apache Jena Fuseki

1. Ligero y Flexible:

- **Facilidad de Configuración:** Fuseki es relativamente fácil de instalar y configurar, lo que lo convierte en una opción ideal para proyectos de pequeña y mediana escala. Ofrece una interfaz de administración web intuitiva para cargar datos RDF y realizar consultas SPARQL.
- **Flexibilidad:** Es altamente configurable, permitiendo el almacenamiento en múltiples formatos, incluyendo TDB (Triplestore Database), y puede integrarse fácilmente con otras herramientas del ecosistema Jena.

2. Soporte para SPARQL:

- **Consultas SPARQL Completa:** Fuseki soporta completamente el lenguaje SPARQL 1.1, permitiendo realizar consultas SELECT, ASK, CONSTRUCT y DESCRIBE sobre los datos RDF. También admite las actualizaciones de datos SPARQL, lo que permite modificar los datos RDF almacenados mediante operaciones de INSERT y DELETE.
- **Manejo Eficiente de Datos:** A pesar de ser un triplestore ligero, Fuseki maneja de manera eficiente consultas y actualizaciones sobre conjuntos de datos RDF moderadamente grandes.

3. Soporte para GeoSPARQL:

- **GeoSPARQL con Jena Spatial:** Aunque Fuseki no incluye soporte nativo para GeoSPARQL, puede integrarse con Jena Spatial, una extensión de Jena para manejar datos geoespaciales. Jena Spatial utiliza Lucene y Apache Solr para indexar datos espaciales y ejecutar consultas geoespaciales como "intersecta", "dentro de", "cerca de", etc., lo que permite añadir capacidades geoespaciales al sistema.
- **Consultas Geoespaciales:** Con esta integración, es posible realizar consultas sobre relaciones espaciales entre entidades geográficas, como en sistemas de información

geográfica (GIS) y análisis de datos basados en ubicaciones, como incidentes de tráfico vinculados a datos meteorológicos.

4. Código Abierto y Comunidad Activa:

- **Open Source:** Como parte de Apache Jena, Fuseki es completamente de código abierto y tiene una comunidad activa de usuarios y desarrolladores que contribuyen regularmente al proyecto. Esto asegura que Fuseki se mantenga actualizado y cuente con mejoras continuas.
- **Personalización:** Los usuarios pueden modificar Fuseki para ajustarlo a sus necesidades, ya que todo el código está disponible para su personalización.

5. Bajo Consumo de Recursos:

- **Eficiencia en Recursos:** En comparación con otras soluciones más robustas como Virtuoso, Fuseki tiene un consumo de recursos moderado, lo que lo hace adecuado para entornos con limitaciones de hardware o para proyectos más pequeños.

Contras de Apache Jena Fuseki

1. Escalabilidad Limitada:

- **No Ideal para Grandes Conjuntos de Datos:** Fuseki está diseñado principalmente para proyectos de pequeña a mediana escala. Si bien puede manejar datos moderadamente grandes, no tiene el mismo nivel de rendimiento y escalabilidad que otros triplestores como Virtuoso cuando se trata de grandes volúmenes de datos RDF o consultas muy complejas.
- **Limitaciones de Rendimiento en GeoSPARQL:** Aunque Jena Spatial permite consultas geoespaciales, el rendimiento en consultas GeoSPARQL sobre grandes volúmenes de datos puede ser limitado en comparación con sistemas optimizados específicamente para datos espaciales.

2. Soporte GeoSPARQL No Nativo:

- **Dependencia de Jena Spatial:** A diferencia de sistemas como Virtuoso, que tienen soporte nativo para GeoSPARQL, Fuseki requiere la integración con Jena Spatial para manejar consultas geoespaciales. Esta integración adicional puede complicar la configuración y el mantenimiento del sistema, y es menos eficiente que tener soporte GeoSPARQL directamente dentro del servidor.
- **Curva de Aprendizaje:** La integración de Jena Spatial y el ajuste de consultas geoespaciales pueden ser complejos, lo que puede aumentar la curva de aprendizaje para aquellos que no estén familiarizados con el manejo de datos geoespaciales en RDF.

3. Falta de Funciones Avanzadas:

- **Menos Características Avanzadas:** En comparación con triplestores más sofisticados como Virtuoso, Fuseki carece de algunas características avanzadas, como optimizaciones automáticas de consultas o gestión avanzada de seguridad y acceso. Los usuarios que requieran estas funcionalidades podrían encontrar Fuseki limitado.

- Manejo de Consultas Complejas: Fuseki puede tener dificultades para manejar consultas SPARQL muy complejas o de larga duración, particularmente cuando los datos incluyen relaciones geoespaciales extensas.

4. Mantenimiento Manual:

- Actualizaciones y Mantenimiento: Aunque Fuseki es fácil de configurar, su mantenimiento requiere una gestión manual. Las actualizaciones del sistema y la configuración de características como GeoSPARQL pueden requerir ajustes adicionales que no están completamente automatizados.

Apache Jena Fuseki es una solución ligera y flexible para ejecutar consultas SPARQL sobre datos RDF, adecuada para proyectos de pequeña y mediana escala. Su integración con Jena Spatial proporciona soporte para consultas geoespaciales, aunque no de manera nativa, lo que permite realizar análisis basados en la ubicación, como la correlación de datos de tráfico e información meteorológica. Sin embargo, sus limitaciones en términos de escalabilidad, rendimiento en grandes volúmenes de datos y la necesidad de configuraciones adicionales para GeoSPARQL lo hacen menos adecuado para implementaciones de gran escala o de misión crítica que requieran alta performance. Para proyectos que requieren una solución de triplestore flexible y fácil de implementar, Fuseki sigue siendo una opción valiosa dentro del ecosistema de Linked Data.

3.2.3 Jena

Apache Jena [88] es un conjunto de herramientas de código abierto desarrollado por la Fundación Apache para la construcción de aplicaciones semánticas que trabajan con tecnologías de la web semántica y Linked Data. Las librerías de Jena permiten a los desarrolladores manejar datos RDF, realizar consultas SPARQL, construir modelos de ontologías y gestionar datos enlazados. Este conjunto de herramientas es ampliamente utilizado en aplicaciones de investigación y desarrollo de sistemas que requieren procesamiento semántico y publicación de datos en formato RDF.

Pros de las Librerías de Apache Jena

1. Amplio Soporte para Estándares de la Web Semántica:

- RDF y SPARQL: Jena ofrece un soporte robusto para RDF (Resource Description Framework) y SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language), permitiendo a los desarrolladores manipular gráficos RDF y ejecutar consultas sobre ellos. Esto incluye todas las operaciones estándar de SPARQL (SELECT, CONSTRUCT, ASK, DESCRIBE) y la capacidad de realizar actualizaciones sobre datos RDF con SPARQL Update.
- OWL y RDFS: Las librerías permiten el modelado y la inferencia sobre datos basados en OWL (Web Ontology Language) y RDFS (RDF Schema), proporcionando capacidades avanzadas para el desarrollo de ontologías y razonamiento semántico.
- R2RML: Jena soporta la transformación de datos relacionales a RDF utilizando R2RML (RDB to RDF Mapping Language), lo que facilita la conversión de bases de datos SQL en triplestores RDF, un proceso que has utilizado para la conversión de datos del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible.

2. Flexibilidad y Modularidad:

- **Modularidad:** Jena está compuesto por varias librerías modulares que permiten a los desarrolladores seleccionar y usar solo las partes que necesitan. Por ejemplo, pueden utilizarse librerías específicas para consultas SPARQL, manipulación de datos RDF, o creación de modelos OWL, según los requisitos del proyecto.
- **Almacenamiento y Persistencia:** Las librerías de Jena permiten trabajar tanto con datos RDF almacenados en memoria como con bases de datos persistentes. Su sistema de almacenamiento TDB facilita la persistencia de grandes conjuntos de datos RDF para su recuperación y consulta eficiente.

3. Herramientas Avanzadas para Consultas Geoespaciales:

- **Jena Spatial y GeoSPARQL:** Aunque Apache Jena no tiene soporte nativo para GeoSPARQL, puede integrar la librería Jena Spatial para realizar consultas espaciales. Jena Spatial, que se basa en Lucene y Solr, permite la indexación y consulta de datos geoespaciales en RDF, lo que lo convierte en una herramienta útil para proyectos que manejan información espacial como incidentes de tráfico y datos meteorológicos.

4. Interoperabilidad y Soporte para la Web Semántica:

- **Linked Data:** Jena facilita la creación y publicación de datos como Linked Data, lo que es crucial para proyectos que buscan compartir y reutilizar datos semánticos a través de la web. Además, soporta mecanismos para la recuperación y consulta de datos RDF a través de HTTP, permitiendo la interoperabilidad con otras plataformas de Linked Data.
- **Integración con Otras Herramientas:** Jena se integra bien con otras tecnologías y frameworks de la web semántica, como Virtuoso, Fuseki (el servidor de consultas SPARQL de Jena), y sistemas de almacenamiento como TDB y SDB. Esto permite a los desarrolladores construir arquitecturas más complejas y robustas.

5. Razonamiento y Reglas:

- **Sistemas de Razonamiento:** Las librerías de Jena incluyen un potente sistema de razonamiento que soporta reglas personalizadas, tanto a nivel de inferencia RDFS como de OWL, y también proporciona soporte para SWRL (Semantic Web Rule Language), lo que permite realizar deducciones automáticas basadas en las ontologías y reglas definidas.
- **Capacidades de Inferencia:** Los desarrolladores pueden definir reglas para deducir nuevos hechos basados en los datos RDF existentes, lo que enriquece la semántica de los datos y añade una capa de inteligencia a las consultas y aplicaciones.

6. Documentación y Comunidad Activa:

- **Documentación Completa:** Apache Jena tiene una documentación extensa que cubre todas sus funcionalidades principales, lo que facilita a los desarrolladores aprender y utilizar la plataforma. Además, hay numerosos ejemplos y tutoriales disponibles para ayudar a los nuevos usuarios a comenzar rápidamente.

- **Comunidad y Soporte:** Jena cuenta con una comunidad activa y en crecimiento, lo que significa que hay un flujo constante de actualizaciones, mejoras y soporte, tanto en foros comunitarios como en la lista de correos de desarrolladores.

Contras de las Librerías de Apache Jena

1. Rendimiento en Grandes Conjuntos de Datos:

- **Problemas de Escalabilidad:** Aunque Jena es adecuado para proyectos de pequeña a mediana escala, puede tener dificultades para manejar grandes volúmenes de datos RDF y consultas extremadamente complejas. Los triplestores más robustos como Virtuoso pueden ofrecer un rendimiento superior en estos escenarios.
- **Consultas Lentas:** Dependiendo de la arquitectura de almacenamiento utilizada, las consultas SPARQL sobre grandes volúmenes de datos pueden ser más lentas en Jena en comparación con soluciones comerciales más optimizadas.

2. GeoSPARQL No Nativo:

- **Configuración Compleja de Jena Spatial:** Aunque Jena puede manejar datos geoespaciales a través de Jena Spatial, la integración y configuración de esta librería adicional pueden ser complicadas para los usuarios no familiarizados con la tecnología. Además, Jena Spatial no es tan eficiente como otras soluciones que incluyen soporte nativo para GeoSPARQL, como Virtuoso.
- **Rendimiento Limitado en Consultas Geoespaciales:** Las consultas GeoSPARQL con Jena Spatial pueden no ser tan rápidas o eficientes como en sistemas diseñados específicamente para manejar datos geoespaciales, lo que puede ser una limitación en aplicaciones que dependen fuertemente de consultas espaciales.

3. Curva de Aprendizaje y Complejidad:

- **Curva de Aprendizaje Pronunciada:** A pesar de la buena documentación, Jena puede ser complicado para desarrolladores nuevos en la web semántica o Linked Data. Manejar conceptos como RDF, OWL, RDFS, y las reglas SWRL puede ser desafiante, especialmente cuando se integran varias tecnologías en un solo proyecto.
- **Falta de Características Avanzadas Integradas:** En comparación con plataformas como Virtuoso, Jena no incluye algunas características avanzadas de gestión de datos o optimización automática de consultas, lo que puede requerir más intervención manual por parte de los desarrolladores.

4. Mantenimiento y Soporte Técnico Limitado:

- **Mantenimiento y Actualizaciones Manuales:** Aunque Jena es altamente personalizable, esto puede aumentar la carga de mantenimiento. Los usuarios deben estar preparados para gestionar manualmente las actualizaciones, la integración de nuevas funcionalidades (como Jena Spatial) y la optimización del rendimiento.
- **Falta de Soporte Comercial:** A diferencia de algunas plataformas comerciales, Jena no ofrece un soporte técnico profesional dedicado, lo que puede ser un

inconveniente para empresas o proyectos que requieren un alto nivel de soporte técnico.

Las librerías de Apache Jena ofrecen una solución poderosa y flexible para construir aplicaciones basadas en la web semántica y Linked Data. Con un amplio soporte para los estándares RDF, SPARQL, OWL y RDFS, Jena es ideal para proyectos de mediana escala que requieren manipulación de datos semánticos. Sin embargo, su capacidad de escalabilidad y la complejidad de la configuración para funcionalidades avanzadas, como GeoSPARQL mediante Jena Spatial, pueden ser limitaciones en proyectos más grandes o más especializados. Para desarrolladores que buscan una solución modular y de código abierto con un enfoque en la interoperabilidad y la personalización, Jena sigue siendo una de las opciones más versátiles del mercado.

3.2.4 Eclipse RDF4J

Eclipse RDF4J [89] (anteriormente conocido como Sesame) es un framework de código abierto para trabajar con datos RDF y Linked Data, diseñado para el procesamiento, almacenamiento y consulta de datos RDF. RDF4J facilita la integración de datos semánticos en aplicaciones y servicios web, proporcionando una amplia gama de herramientas para la manipulación y consulta de datos RDF. Es una opción popular en la comunidad de Linked Data debido a su flexibilidad y compatibilidad con diversos estándares de la web semántica.

Pros de RDF4J

1. Compatibilidad con Estándares de la Web Semántica:

- **RDF y SPARQL:** RDF4J ofrece soporte completo para el manejo de datos RDF, incluyendo el almacenamiento, la consulta y la actualización de datos mediante SPARQL. Permite realizar todas las operaciones estándar de SPARQL (SELECT, CONSTRUCT, ASK, DESCRIBE) y manejar actualizaciones con SPARQL Update.
- **RDFS y OWL:** Al igual que Apache Jena, RDF4J soporta inferencia semántica a través de RDFS y OWL, permitiendo a los usuarios enriquecer y relacionar los datos con modelos de conocimiento más complejos. Este soporte es clave para quienes necesitan realizar razonamiento en sus datos.
- **ShEx y SHACL:** RDF4J proporciona soporte para la validación de datos RDF usando estándares como SHACL (Shapes Constraint Language), lo que permite verificar que los datos cumplen con ciertas restricciones o estructuras. Esto es esencial en proyectos que necesitan asegurar la calidad y consistencia de los datos RDF.

2. Almacenamiento RDF Optimizado:

- **Repositorios nativos y externos:** RDF4J ofrece un sistema de almacenamiento nativo para gráficos RDF, lo que permite una gestión eficiente de grandes volúmenes de datos. Además, es compatible con diversos triplestores externos como GraphDB y Blazegraph, proporcionando flexibilidad para proyectos que necesiten escalabilidad adicional.
- **Manejo de transacciones:** El soporte para transacciones permite asegurar la integridad de los datos en escenarios de concurrencia, lo que lo convierte en una opción robusta para aplicaciones que requieren un acceso simultáneo a los datos RDF.

3. API Flexible y Extensible:

- **API modular:** La API de RDF4J está diseñada para ser modular y extensible, lo que permite a los desarrolladores personalizar y adaptar las funcionalidades a sus necesidades específicas. Esto facilita la integración en proyectos existentes o la creación de soluciones a medida.
- **Soporte para REST y WebSockets:** RDF4J ofrece interfaces de servicio web para consultas SPARQL a través de REST APIs y WebSockets, lo que permite una integración fluida en aplicaciones distribuidas y sistemas web. Estas interfaces permiten consultas remotas y actualizaciones de datos RDF con facilidad.

4. Rendimiento Optimizado para Consultas Complejas:

- **Eficiencia en el procesamiento de SPARQL:** RDF4J es reconocido por su capacidad para procesar consultas SPARQL de manera eficiente, especialmente en configuraciones de almacenamiento nativo. La optimización de sus algoritmos de consulta hace que las consultas complejas se ejecuten rápidamente, incluso en grandes conjuntos de datos.
- **Índices y almacenamiento de datos:** Su sistema de almacenamiento nativo utiliza índices para mejorar el rendimiento en la recuperación de datos, lo que facilita una respuesta rápida en operaciones de consulta y actualización de datos RDF.

5. Capacidades de Consultas Geoespaciales:

- **GeoSPARQL:** Aunque RDF4J no tiene soporte nativo para GeoSPARQL, se puede extender mediante bibliotecas adicionales para manejar datos geoespaciales. Al integrar estas bibliotecas, es posible realizar consultas espaciales, aunque esto puede requerir configuraciones avanzadas.

6. Soporte para Datos Versionados:

- **Control de versiones de datos RDF:** Una de las características clave de RDF4J es su soporte para datos versionados, lo que permite rastrear los cambios en los gráficos RDF a lo largo del tiempo. Esto es útil para aplicaciones que requieren un historial de datos, como la gestión de datos de tráfico o incidentes, donde los cambios son relevantes para análisis históricos.
- **Comunidad Activa y Documentación Extensa:** Desarrollo activo: RDF4J tiene una comunidad activa de desarrolladores y usuarios, lo que asegura la continua evolución del proyecto. Además, es parte del ecosistema Eclipse, lo que garantiza un soporte robusto y una base de usuarios significativa.
- **Documentación clara:** La documentación de RDF4J es completa y detallada, cubriendo desde los conceptos básicos hasta las funcionalidades avanzadas, como la validación de datos con SHACL. Esta documentación facilita el aprendizaje y uso de la plataforma, especialmente para desarrolladores nuevos en el campo de Linked Data.

Contras de RDF4J

1. Escalabilidad Limitada en Grandes Conjuntos de Datos:

- Rendimiento en almacenamiento nativo: Aunque RDF4J maneja bien conjuntos de datos pequeños y medianos, su triplestore nativo puede enfrentar limitaciones de rendimiento cuando se trata de grandes volúmenes de datos RDF. Esto es especialmente evidente en proyectos que manejan millones de triples o consultas altamente complejas.
- Uso de triplestores externos: Para proyectos que requieren escalabilidad masiva, a menudo se necesita integrar RDF4J con triplestores externos como GraphDB o Blazegraph, lo que puede aumentar la complejidad de la implementación.

2. Falta de soporte nativo para reglas y razonamiento avanzado:

- Inferencia limitada: Aunque RDF4J soporta inferencia básica con RDFS y OWL, no incluye un motor de razonamiento avanzado como el que se encuentra en plataformas como Apache Jena, que permite manejar reglas personalizadas o razonamiento más complejo. Para quienes necesitan aplicar reglas avanzadas o razonamiento con SWRL, esto puede representar una limitación significativa.
- Falta de soporte para reglas: A diferencia de otras plataformas, RDF4J no incluye soporte nativo para reglas. Esto significa que, si se requieren mecanismos avanzados de inferencia basados en reglas, será necesario implementar soluciones externas o complementarias, lo que añade complejidad al desarrollo de aplicaciones.

3. Funcionalidades Geoespaciales No Nativas:

- Limitaciones en GeoSPARQL: A diferencia de plataformas como Virtuoso, RDF4J no soporta GeoSPARQL de forma nativa. Aunque se pueden agregar capacidades geoespaciales mediante bibliotecas adicionales, esto requiere configuraciones personalizadas y puede no ser tan eficiente como una solución integrada.
- Complejidad en la configuración de datos espaciales: La configuración de consultas geoespaciales puede ser más compleja en RDF4J que en otras plataformas, lo que representa un obstáculo para aplicaciones que dependen mucho de datos espaciales, como en el caso de incidentes de tráfico y condiciones meteorológicas.

4. Curva de Aprendizaje en Funcionalidades Avanzadas:

- SHACL y razonamiento: Aunque RDF4J soporta SHACL para la validación de datos y proporciona inferencia básica mediante RDFS y OWL, su uso avanzado puede tener una curva de aprendizaje pronunciada. Los desarrolladores necesitan familiarizarse con conceptos más complejos para aprovechar al máximo estas funcionalidades.
- Configuración personalizada: La flexibilidad y modularidad de RDF4J, aunque una ventaja, también puede ser una desventaja, ya que requiere una configuración más manual y conocimiento técnico para implementar características avanzadas como el control de versiones o la validación SHACL.

5. Interfaz de Usuario Básica:

- **Consola limitada:** La interfaz de usuario de RDF4J, a través de su consola web, es bastante básica en comparación con otras soluciones como GraphDB o Virtuoso. Aunque permite la ejecución de consultas y la administración de gráficos RDF, carece de funcionalidades más avanzadas que faciliten la exploración y gestión de grandes cantidades de datos.
- **Falta de herramientas visuales avanzadas:** La plataforma no incluye herramientas visuales avanzadas para la representación de datos RDF o para la visualización de gráficos, lo que puede ser una limitación para usuarios que necesitan analizar o explorar los datos visualmente.

6. Falta de Soporte Comercial Directo:

- **Menos soporte comercial que otras plataformas:** Aunque RDF4J es de código abierto y tiene una comunidad activa, carece del mismo nivel de soporte comercial que otras soluciones como Virtuoso o GraphDB, lo que puede ser una desventaja para proyectos empresariales que necesitan garantías de soporte técnico.

Eclipse RDF4J es una herramienta versátil y bien diseñada para gestionar datos RDF y ejecutar consultas SPARQL, ideal para proyectos de mediana escala y para desarrolladores que buscan una solución flexible y modular. Su soporte para estándares clave de la web semántica, incluyendo RDFS, OWL y SHACL, junto con capacidades para la gestión de datos versionados, lo hacen una opción robusta en muchos casos. Sin embargo, para proyectos que requieren escalabilidad masiva, consultas geoespaciales avanzadas, razonamiento complejo o un soporte comercial más completo, otras plataformas como Jena.

3.2.5 RDFLib

RDFLib [90] es una biblioteca de Python diseñada para trabajar con datos RDF (Resource Description Framework). Permite a los desarrolladores crear, manipular y almacenar grafos RDF, así como realizar consultas SPARQL sobre ellos. Esta biblioteca es especialmente valorada en la comunidad de la web semántica y Linked Data, debido a su facilidad de uso y su integración con el ecosistema de Python.

Pros de RDFLib

1. Facilidad de Uso y Accesibilidad:

- **Interfaz Intuitiva:** RDFLib ofrece una API simple y amigable que permite a los desarrolladores trabajar con RDF sin necesidad de profundizar en complejidades técnicas. Su sintaxis es accesible para aquellos que están familiarizados con Python, lo que facilita la adopción por parte de nuevos usuarios.
- **Documentación Completa:** La biblioteca cuenta con una documentación detallada que incluye ejemplos claros y tutoriales, ayudando a los desarrolladores a comenzar rápidamente y a comprender sus características.

2. Soporte para Estándares de la Web Semántica:

- **RDF y SPARQL:** RDFLib proporciona un sólido soporte para la creación y manipulación de datos RDF, así como para la ejecución de consultas SPARQL. Los

desarrolladores pueden realizar operaciones estándar de SPARQL (SELECT, CONSTRUCT, ASK, DESCRIBE) de manera eficiente.

- Integración con OWL y RDFS: Aunque el enfoque principal de RDFLib es RDF y SPARQL, también permite trabajar con conceptos de OWL y RDFS, lo que proporciona capacidades básicas de modelado semántico.

3. Almacenamiento y Persistencia:

- Compatibilidad con Diferentes Almacenes de Datos: RDFLib permite trabajar con datos en memoria, pero también ofrece la posibilidad de utilizar diferentes triplestores, como SQLite y otros backends de almacenamiento, lo que facilita la persistencia de grandes conjuntos de datos RDF.

4. Flexibilidad y Extensibilidad:

- Extensible a través de Plugins: La arquitectura de RDFLib permite la creación de extensiones y plugins, lo que significa que los desarrolladores pueden personalizar la funcionalidad según sus necesidades específicas.
- Integración con Herramientas de Análisis y Visualización: RDFLib se puede combinar con otras bibliotecas de Python, como Pandas o Matplotlib, para realizar análisis de datos y visualizaciones a partir de grafos RDF.

5. Comunidad Activa y Soporte:

- Comunidad Creciente: RDFLib tiene una comunidad activa que contribuye al desarrollo continuo de la biblioteca. Esto se traduce en actualizaciones frecuentes y un flujo constante de mejoras.
- Recursos y Soporte en Línea: Hay numerosos foros, blogs y recursos en línea donde los desarrolladores pueden obtener ayuda y compartir experiencias relacionadas con RDFLib.

Contras de RDFLib

1. Rendimiento en Grandes Volúmenes de Datos:

- Limitaciones de Escalabilidad: Aunque RDFLib es adecuada para proyectos de pequeña a mediana escala, puede experimentar problemas de rendimiento cuando se trabaja con grandes conjuntos de datos RDF, especialmente en operaciones de consulta complejas.
- Consultas Lentas en Comparación con Triplestores Especializados: Para proyectos que requieren consultas intensivas sobre grandes volúmenes de datos, otros triplestores como Virtuoso pueden ofrecer un rendimiento superior.

2. Funciones Avanzadas Limitadas:

- Falta de Soporte Nativo para GeoSPARQL: RDFLib no tiene soporte nativo para GeoSPARQL, lo que limita su capacidad para manejar datos geoespaciales de manera eficiente. Esto puede ser un inconveniente para proyectos que dependen fuertemente de la geolocalización.

- **Funciones de Razonamiento Limitadas:** A diferencia de otras herramientas como Apache Jena, RDFLib no incluye un razonador potente de manera predeterminada, lo que significa que las capacidades de inferencia y deducción pueden ser limitadas.

3. Curva de Aprendizaje y Complejidad:

- **Conceptos de la Web Semántica:** Aunque la biblioteca es relativamente fácil de usar, los desarrolladores nuevos en la web semántica pueden encontrar desafíos al comprender conceptos fundamentales como RDF, SPARQL y OWL, especialmente en proyectos más complejos.
- **Limitaciones en la Configuración de Consultas:** Para consultas más avanzadas, los desarrolladores pueden tener que lidiar con la complejidad de estructurar adecuadamente sus peticiones SPARQL, lo que podría resultar complicado en algunos casos.

4. Dependencias de Entorno:

- **Configuración de Entorno y Dependencias:** Si bien RDFLib es fácil de instalar, la configuración del entorno de Python y las dependencias requeridas para su uso en diferentes sistemas pueden ser una barrera para algunos usuarios, especialmente aquellos que no están familiarizados con la gestión de paquetes en Python.

RDFLib es una poderosa y accesible biblioteca para trabajar con datos RDF en Python, ideal para proyectos que requieren manipulación semántica y consultas SPARQL. Con su enfoque en la facilidad de uso y la integración con otras herramientas de Python, RDFLib es una excelente opción para desarrolladores que buscan construir aplicaciones semánticas sin complicarse con tecnologías más complejas. Sin embargo, su rendimiento en grandes volúmenes de datos y la falta de características avanzadas pueden limitar su utilidad en proyectos más grandes o especializados. Para aquellos que buscan una solución flexible y extensible en el ecosistema de Python, RDFLib sigue siendo una opción destacada en el ámbito de la web semántica.

3.2.6 D2RQ: Herramienta de Mapeo Relacional a RDF

D2RQ [91] es una plataforma que permite mapear bases de datos relacionales a grafos RDF sin necesidad de duplicar o migrar los datos a un triplestore. Proporciona una solución flexible para acceder a datos relacionales desde aplicaciones que requieren datos en formato RDF, utilizando consultas SPARQL para interactuar con ellos.

Pros de D2RQ

1. Acceso Directo a Bases de Datos Relacionales:

- **Sin Necesidad de Migración:** D2RQ permite exponer datos relacionales como RDF sin transferirlos a un triplestore, lo que ahorra tiempo y recursos.
- **Soporte para Múltiples Bases de Datos:** Es compatible con una variedad de sistemas de bases de datos relacionales, como MySQL, PostgreSQL, y Oracle, facilitando la integración en entornos heterogéneos.

2. Configuración Flexible:

- **Mapeo Personalizable:** A través de archivos de configuración en el lenguaje D2RQ, los usuarios pueden definir cómo se deben mapear las tablas y columnas de la base de datos a clases y propiedades RDF.
- **Compatibilidad con Esquemas Complejos:** D2RQ puede manejar esquemas de bases de datos complejos y mapearlos a estructuras RDF con facilidad.

3. Interoperabilidad con Estándares de la Web Semántica:

- **SPARQL:** Permite consultas SPARQL directamente sobre los datos relacionales, proporcionando un puente entre las bases de datos tradicionales y las tecnologías de la web semántica.
- **Compatibilidad con RDF y OWL:** Los datos mapeados se generan en formatos estándar como RDF/XML y Turtle, lo que facilita su interoperabilidad.

4. Despliegue Eficiente:

- **Ligero y Rápido:** D2RQ no requiere una infraestructura compleja para funcionar, lo que lo hace ideal para proyectos que buscan una solución de bajo costo y rápida implementación.
- **Integración Fácil en Aplicaciones Existentes:** Puede integrarse con otras herramientas semánticas como Jena, Virtuoso o frameworks personalizados para enriquecer el análisis de datos.

Contras de D2RQ

1. Limitaciones de Escalabilidad:

- **Rendimiento en Grandes Bases de Datos:** Cuando se realizan consultas complejas o sobre bases de datos grandes, el rendimiento puede degradarse debido a la dependencia de la base de datos relacional subyacente.
- **Carga en la Base de Datos Relacional:** Las consultas SPARQL intensivas pueden sobrecargar la base de datos relacional, especialmente si esta no está optimizada para manejar un alto volumen de solicitudes.

2. Curva de Aprendizaje:

- **Complejidad del Lenguaje de Mapeo:** El lenguaje de configuración de D2RQ puede ser complicado para los usuarios sin experiencia previa en RDF o bases de datos relacionales.
- **Falta de Interfaz Gráfica:** A diferencia de otras herramientas, D2RQ no ofrece una interfaz gráfica para facilitar la configuración, lo que puede dificultar su uso inicial.

3. Limitaciones en Características Avanzadas:

- **Soporte Geoespacial Limitado:** D2RQ no incluye funcionalidades avanzadas como GeoSPARQL, lo que puede ser un problema en aplicaciones que requieren datos geoespaciales.
- **Sin Razonador Integrado:** A diferencia de otros frameworks semánticos, D2RQ no tiene capacidades de razonamiento para enriquecer los datos con inferencias.

4. Dependencia del Esquema Relacional:

- Mapeo Dependiente del Diseño de la Base de Datos: La calidad y la utilidad de los datos RDF generados dependen en gran medida de un esquema relacional bien diseñado.
- Rigidez en la Estructura: Cambios en la base de datos relacional pueden requerir actualizaciones manuales en los archivos de configuración de D2RQ.

D2RQ es una herramienta interesante para exponer datos relacionales como RDF, proporcionando una solución rápida y flexible para integrar sistemas tradicionales en entornos semánticos. Sin embargo, su rendimiento y capacidades están limitados por la infraestructura relacional subyacente y la ausencia de características avanzadas como el razonamiento y el soporte geoespacial. Es especialmente útil en proyectos donde la migración completa a un triplestore no es viable o cuando se busca una solución ligera para interactuar con datos relacionales mediante estándares de la web semántica.

3.2.7 Protégé: Herramienta de Modelado Ontológico

Protégé [16] es una plataforma de software de código abierto ampliamente utilizada para crear, editar y gestionar ontologías en formatos estándar como OWL (Web Ontology Language), RDF y RDFS. Desarrollada por la Universidad de Stanford, esta herramienta se ha convertido en un estándar de facto en el ámbito de la web semántica y la ingeniería del conocimiento.

Pros de Protégé

1. Facilidad de Uso:

- Interfaz Intuitiva: Protégé cuenta con una interfaz gráfica de usuario que facilita la creación y gestión de ontologías incluso para usuarios sin experiencia previa en programación.
- Soporte Multiplataforma: Está disponible para Windows, macOS y Linux, asegurando su accesibilidad en diversos entornos.

2. Compatibilidad con Estándares de la Web Semántica:

- Soporte para OWL y RDF: Protégé es compatible con los principales estándares de la web semántica, lo que garantiza que las ontologías creadas puedan integrarse fácilmente con otros sistemas.
- Compatibilidad con GeoSPARQL: Admite extensiones que permiten trabajar con datos geoespaciales, lo cual es crucial para aplicaciones que manejan información de localización.

3. Extensibilidad:

- Plugins Personalizables: Protégé permite añadir funcionalidades mediante una amplia gama de plugins, como razonadores semánticos (HermiT, Pellet) o validadores de ontologías (OOPS!).
- API de Desarrollo: Ofrece una API que facilita la integración de Protégé con otras herramientas y sistemas personalizados.

4. Razonamiento y Validación:

- **Razonadores Integrados:** Protégé permite integrar razonadores semánticos que ayudan a validar las ontologías, detectar inconsistencias y realizar inferencias automáticas.
- **Validación Semántica:** Herramientas como HermiT y Pellet aseguran que las ontologías sean lógicamente consistentes y cumplan con los estándares establecidos.

5. Comunidad Activa y Recursos:

- **Amplia Base de Usuarios:** Protégé cuenta con una comunidad activa que ofrece soporte, comparte plugins y publica tutoriales.
- **Documentación Completa:** Su documentación incluye guías paso a paso y ejemplos prácticos para comenzar rápidamente.

6. Visualización de Ontologías:

- **Herramientas de Visualización:** Protégé incluye funcionalidades como OntoGraf y VOWL, que permiten visualizar las clases, relaciones y propiedades de una ontología de manera gráfica.

Contras de Protégé

1. Curva de Aprendizaje:

- **Complejidad Inicial:** Aunque es intuitivo, los usuarios nuevos en la web semántica pueden encontrar complicado comprender conceptos como axiomas, razonamiento y modelado en OWL.
- **Falta de Automatización en Tareas Avanzadas:** Algunas tareas, como la generación automática de axiomas complejos, requieren conocimientos técnicos adicionales.

2. Limitaciones en el Rendimiento:

- **Ontologías de Gran Tamaño:** Protégé puede experimentar problemas de rendimiento cuando se trabaja con ontologías muy grandes y complejas, especialmente si se ejecutan razonadores intensivos en recursos.
- **Dependencia de Recursos Locales:** Al ejecutarse localmente, el rendimiento de Protégé está limitado por la capacidad del hardware del usuario.

3. Integración Limitada:

- **Falta de Integración Nativa con Bases de Datos Relacionales:** Aunque puede trabajar con datos RDF, no incluye soporte directo para interactuar con bases de datos relacionales sin herramientas externas como D2RQ.
- **Dependencia de Plugins:** Algunas funcionalidades clave, como GeoSPARQL o validación avanzada, requieren la instalación de plugins adicionales que pueden ser complicados de configurar.

Protégé es una herramienta esencial para el modelado y gestión de ontologías, proporcionando una plataforma robusta y extensible para proyectos de la web semántica. Aunque presenta desafíos en términos de rendimiento y curva de aprendizaje, su flexibilidad y compatibilidad con estándares lo convierten en una opción indispensable para investigadores, desarrolladores y

estudiantes que trabajan en la creación de sistemas semánticos. Con una comunidad activa y una rica variedad de plugins, Protégé sigue siendo una de las herramientas más completas y confiables en su campo.

3.2.8 Pentaho Data Integration (PDI): Herramienta ETL para Integración de Datos

Pentaho Data Integration (PDI) [92], también conocido como Kettle, es una completa herramienta ETL (Extract, Transform, Load) que permite diseñar, ejecutar y gestionar procesos de integración de datos. Parte del ecosistema de soluciones de Pentaho, PDI se ha consolidado como una de las opciones más versátiles para mover y transformar datos entre sistemas heterogéneos.

Pros de Pentaho Data Integration

1. Interfaz Gráfica Intuitiva:

- **Diseño Visual de Procesos ETL:** PDI ofrece un editor gráfico que permite arrastrar y soltar pasos para construir flujos de datos sin necesidad de escribir código.
- **Fácil de Aprender:** Gracias a su enfoque visual, los nuevos usuarios pueden comenzar rápidamente con la creación de transformaciones y jobs.

2. Versatilidad en la Integración de Datos:

- **Soporte para Diversas Fuentes de Datos:** PDI puede conectarse a una amplia variedad de fuentes de datos, incluyendo bases de datos relacionales, archivos planos, servicios web, JSON, XML, y APIs RESTful.
- **Compatibilidad Multiplataforma:** Funciona en Windows, macOS y Linux, garantizando flexibilidad en entornos de desarrollo y producción.

3. Funciones Avanzadas de Transformación de Datos:

- **Amplia Biblioteca de Componentes:** Incluye pasos preconfigurados para tareas comunes, como limpieza de datos, agregaciones, uniones, y validaciones.
- **Manejo de Transformaciones Complejas:** Permite realizar transformaciones avanzadas con scripts personalizados en lenguajes como JavaScript, Python o Groovy.
- **Soporte para Big Data:** Es compatible con tecnologías como Hadoop, Spark y bases de datos NoSQL como MongoDB.

4. Automatización y Programación:

- **Orquestación de Procesos:** A través de jobs, PDI permite coordinar múltiples transformaciones y gestionar dependencias.
- **Automatización Basada en Eventos:** Los procesos ETL pueden ser programados para ejecutarse según horarios o activarse mediante eventos específicos.

5. Extensibilidad y Comunidad Activa:

- **Soporte para Plugins:** Los usuarios pueden ampliar la funcionalidad de PDI mediante plugins personalizados para satisfacer necesidades específicas.
- **Comunidad y Ecosistema Activo:** Hay una comunidad vibrante que ofrece soporte, tutoriales y ejemplos para resolver problemas comunes.

6. Monitoreo y Trazabilidad:

- Registro Detallado de Ejecuciones: PDI permite realizar un seguimiento detallado de los procesos ETL mediante logs que capturan errores, advertencias y estadísticas de rendimiento.
- Visualización del Flujo de Datos: Incluye herramientas de monitoreo que permiten identificar cuellos de botella y optimizar procesos.

Contras de Pentaho Data Integration

1. Curva de Aprendizaje Inicial:

- Complejidad para Nuevos Usuarios: Aunque su interfaz gráfica facilita la entrada, los usuarios pueden encontrar desafiante aprender a configurar procesos más avanzados.
- Documentación Incompleta: Aunque existe una buena cantidad de recursos, algunos casos específicos carecen de una documentación clara y ejemplos detallados.

2. Requerimientos de Rendimiento:

- Consumo de Recursos: Al procesar grandes volúmenes de datos, PDI puede consumir recursos significativos, lo que requiere hardware adecuado para un rendimiento óptimo.
- Limitaciones en Escenarios de Altísimo Volumen: Si bien PDI es eficiente en la mayoría de los casos, herramientas especializadas para Big Data, como Apache Nifi, pueden manejar mejor volúmenes extremadamente grandes.

3. Dependencia de Complementos:

- Falta de Funcionalidades Nativas Avanzadas: Algunas tareas específicas, como integración con sistemas geoespaciales o validación semántica, requieren plugins adicionales o soluciones personalizadas.
- Problemas de Compatibilidad: La compatibilidad de plugins puede variar según la versión de PDI, lo que complica las actualizaciones.

4. Limitaciones de la Versión Open Source:

- Características Limitadas en la Comunidad: Algunas funcionalidades avanzadas, como el soporte completo para clústeres o integración nativa con ciertos servicios, están disponibles únicamente en la versión empresarial.

5. Interfaz Gráfica Saturada:

- Complejidad en Grandes Proyectos: En procesos ETL complejos, la interfaz gráfica puede volverse desordenada y difícil de manejar sin un diseño estructurado.

Pentaho Data Integration es una herramienta robusta y versátil para la integración y transformación de datos, adecuada para organizaciones de todos los tamaños. Con su interfaz gráfica intuitiva y soporte para múltiples fuentes de datos, PDI simplifica la implementación de procesos ETL complejos. Sin embargo, su rendimiento en escenarios de gran escala y la dependencia de plugins para funcionalidades avanzadas pueden ser limitantes en ciertos casos.

En general, PDI es una solución confiable para gestionar flujos de datos en entornos empresariales y analíticos.

3.2.9 Python FastAPI

FastAPI [93] es un framework moderno y de alto rendimiento para construir APIs web con Python, que se destaca por su facilidad de uso, eficiencia y velocidad. Al integrarse con un Virtuoso SPARQL Endpoint, FastAPI puede ser utilizado para exponer datos RDF almacenados en Virtuoso a través de APIs REST, permitiendo la consulta de incidentes de tráfico y otros datos semánticos de forma accesible y estructurada.

Pros de FastAPI para Consultas SPARQL desde Virtuoso

1. Alto Rendimiento y Eficiencia:

- **Framework Asíncrono:** FastAPI está diseñado para ser altamente eficiente, utilizando programación asíncrona, lo que le permite manejar múltiples solicitudes simultáneas con una sobrecarga mínima de recursos. Esto es ideal para consultas SPARQL que pueden tener tiempos de respuesta variables dependiendo del tamaño del dataset y la complejidad de las consultas.
- **Rendimiento Comparable a Node.js:** FastAPI es uno de los frameworks de Python más rápidos, con un rendimiento que se aproxima al de frameworks escritos en lenguajes como Node.js y Go, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de alta demanda que necesitan exponer datos RDF a través de APIs REST.

2. Integración Fluida con SPARQL Endpoints:

- **Interoperabilidad con Virtuoso:** FastAPI se puede integrar fácilmente con Virtuoso utilizando bibliotecas como SPARQLWrapper para ejecutar consultas SPARQL directamente desde un endpoint Virtuoso. Esto permite exponer los resultados de las consultas SPARQL en un formato JSON que puede ser consumido por aplicaciones o sistemas externos a través de una API REST.
- **Consultas Personalizadas:** Con FastAPI, puedes crear rutas dinámicas que permitan a los usuarios realizar consultas personalizadas al endpoint SPARQL en Virtuoso, lo que facilita el acceso flexible a los datos RDF según las necesidades de cada usuario o sistema.

3. Documentación Automática de APIs:

- **Swagger y OpenAPI:** Uno de los grandes beneficios de FastAPI es que genera automáticamente documentación en formato OpenAPI y Swagger para todas las rutas y métodos de la API. Esto es muy útil para proporcionar documentación clara a los desarrolladores que quieran interactuar con los datos de tráfico expuestos a través de la API.
- **Interfaz Interactiva:** FastAPI incluye una interfaz interactiva para probar las consultas a la API, lo que facilita el testeado y la verificación de los endpoints, tanto para desarrolladores como para usuarios no técnicos.

4. Facilidad de Uso y Desarrollo Rápido:

- **Simplicidad en la Definición de Endpoints:** FastAPI permite crear APIs REST de manera rápida y sencilla, con código mínimo y de fácil mantenimiento. La creación de rutas para consultas SPARQL es directa y se puede lograr en pocas líneas de código, lo que reduce la complejidad en la exposición de datos RDF como servicios REST.
- **Desarrollo Basado en Tipos:** FastAPI utiliza anotaciones de tipos de Python para validar y documentar automáticamente las entradas y salidas de la API, lo que reduce errores en tiempo de desarrollo y asegura la coherencia en las respuestas de la API.

5. Escalabilidad y Mantenimiento:

- **Capacidad para Escalar:** FastAPI es altamente escalable, lo que permite ampliar la aplicación de manera eficiente a medida que el volumen de consultas a Virtuoso crece o si la demanda de tráfico aumenta. Además, es compatible con servidores como Uvicorn y Gunicorn, que proporcionan un entorno de alto rendimiento para aplicaciones en producción.
- **Ecosistema Python:** FastAPI aprovecha todo el ecosistema de Python, lo que facilita la integración con otras bibliotecas de manejo de datos y el desarrollo de nuevas funcionalidades para la API, como autenticación, gestión de usuarios o análisis de datos.

6. Despliegue Sencillo:

- **Compatible con Contenedores:** FastAPI se puede desplegar fácilmente utilizando contenedores Docker, lo que permite una configuración y escalabilidad sencilla. Además, la naturaleza liviana de FastAPI lo convierte en una opción ideal para implementaciones en entornos de nube o microservicios.
- **Despliegue en Nube:** FastAPI es compatible con servicios de nube populares como AWS, Google Cloud y Azure, lo que facilita su despliegue en arquitecturas distribuidas.

Contras de FastAPI para Consultas SPARQL desde Virtuoso

1. Curva de Aprendizaje Asíncrona:

- **Complejidad de la Programación Asíncrona:** Aunque FastAPI ofrece grandes beneficios en términos de rendimiento, su programación asíncrona puede ser un desafío para los desarrolladores que no estén familiarizados con este paradigma. Gestionar consultas SPARQL de forma asíncrona puede requerir un conocimiento adicional sobre el manejo de `async` y `await` en Python.
- **Manejo de Errores en Consultas SPARQL:** Las consultas a Virtuoso pueden fallar por diferentes motivos (consultas malformadas, problemas de conectividad, etc.), y gestionar estos errores en un entorno asíncrono puede requerir un manejo de excepciones más sofisticado.

2. Dependencia de SPARQLWrapper u Otras Bibliotecas:

- Configuración Inicial: Aunque FastAPI se integra fácilmente con Virtuoso, la gestión de consultas SPARQL depende de bibliotecas como SPARQLWrapper, que puede requerir una configuración inicial adicional para asegurar una conexión fluida con el endpoint de Virtuoso.
- Limitaciones en el Soporte de SPARQL Complejo: El rendimiento de las consultas SPARQL a través de FastAPI puede depender de la complejidad de las consultas y la capacidad del endpoint SPARQL para manejar consultas pesadas. Esto puede requerir optimización en la configuración de Virtuoso para garantizar que las consultas complejas sean rápidas y eficientes.

3. Rendimiento y Escalabilidad de Virtuoso:

- Sobrecarga en Virtuoso: Si se ejecutan muchas consultas concurrentes a través de la API, es posible que el endpoint Virtuoso se vea sobrecargado, especialmente si las consultas SPARQL son complejas o involucran grandes volúmenes de datos. Es importante optimizar tanto FastAPI como Virtuoso para manejar adecuadamente este tipo de carga.
- Ajustes de Desempeño Necesarios: En escenarios de alto tráfico, es posible que se necesiten ajustes adicionales tanto en FastAPI como en Virtuoso para evitar cuellos de botella o tiempos de respuesta lentos.

4. Seguridad y Control de Acceso:

- Implementación de Seguridad Adicional: Si bien FastAPI permite agregar autenticación y autorización, estas funcionalidades no vienen integradas por defecto. Es necesario configurar mecanismos de seguridad adicionales, como OAuth2, autenticación basada en tokens JWT o control de acceso por roles, lo que añade complejidad al desarrollo de la API.
- Protección contra Abuso de la API: Exponer datos de tráfico o cualquier otro dato sensible a través de una API pública puede abrir la puerta a abusos (como ataques de denegación de servicio o solicitudes masivas). Es necesario implementar medidas de seguridad para proteger el endpoint Virtuoso y evitar consultas abusivas a través de la API.

FastAPI es una herramienta extremadamente potente para exponer datos de tráfico almacenados en un Virtuoso SPARQL Endpoint mediante una API REST de alto rendimiento. Su simplicidad, velocidad y facilidad de integración con SPARQL lo convierten en una opción ideal para proyectos que buscan ofrecer datos RDF a través de una API accesible y escalable. FastAPI facilita el desarrollo rápido de APIs mientras asegura un alto rendimiento gracias a su arquitectura asíncrona.

No obstante, su uso requiere estar familiarizado con la programación asíncrona y las particularidades de las consultas SPARQL, y es importante tener en cuenta que el rendimiento del sistema dependerá tanto de la configuración de FastAPI como de Virtuoso. Para aquellos desarrollos en los que se busca una solución flexible, rápida y eficiente para exponer datos semánticos a través de APIs REST, FastAPI es una opción excelente que ofrece una experiencia moderna y optimizada para desarrolladores y usuarios.

3.2.10 JAXB (Java Architecture for XML Binding): Conversión de Datos XML a Objetos Java

JAXB (Java Architecture for XML Binding) [94] es una tecnología estándar de Java que permite convertir datos en formato XML a objetos Java y viceversa, lo que facilita el trabajo con datos estructurados en XML dentro de aplicaciones Java. Al utilizar JAXB en combinación con Jena, es posible transformar los datos XML de tráfico en objetos Java, lo que simplifica su semantización posterior, convirtiéndolos en tripletas RDF que pueden ser gestionadas y consultadas en sistemas basados en la web semántica.

Pros de JAXB para el Manejo de Datos XML en Java

1. Conversión Directa de XML a Objetos Java:

- **Facilita el Procesamiento de XML:** JAXB simplifica el manejo de archivos XML al permitir convertir automáticamente elementos XML en instancias de clases Java a través de anotaciones. Esto elimina la necesidad de procesar manualmente el XML, lo que reduce la complejidad del código y mejora la mantenibilidad.
- **Deserialización Simplificada:** Mediante la deserialización de XML, los datos de tráfico almacenados en XML se pueden mapear directamente en objetos Java, lo que facilita su manipulación y análisis en el entorno de Java. Esto es crucial cuando se trabaja con grandes volúmenes de datos XML de tráfico que necesitan ser procesados antes de su semantización.

2. Generación Automática de Clases a Partir de XML:

- **Esquema XML a Clases Java:** JAXB permite generar automáticamente clases Java a partir de un esquema XML (XSD), lo que garantiza que las clases generadas respeten la estructura del XML de entrada. Esta capacidad es especialmente útil cuando se trabaja con datos de tráfico en XML, ya que garantiza que la estructura de los datos se preserve y se gestione correctamente en el código Java.
- **Compatibilidad con Datos Estructurados:** Al trabajar con esquemas XML predefinidos (como los utilizados en los sistemas de tráfico), JAXB puede generar clases Java que sigan fielmente la estructura del XML, lo que asegura una representación coherente de los datos en el sistema.

3. Anotaciones Simples y Flexibles:

- **Uso de Anotaciones:** JAXB utiliza anotaciones en las clases Java para definir cómo los elementos XML deben mapearse a campos y atributos Java. Esta capacidad proporciona un control preciso sobre cómo se transforman los datos, permitiendo personalizar la conversión de XML a objetos Java y viceversa.
- **Personalización de la Conversión:** Gracias a las anotaciones, es posible personalizar fácilmente cómo se manejan las relaciones entre elementos XML y objetos Java, lo que es particularmente útil cuando los datos XML de tráfico contienen estructuras complejas o relaciones entre elementos.

4. Integración Fluida con Jena para Semantización:

- **Conversión Previa a RDF:** Al convertir datos XML de tráfico a objetos Java mediante JAXB, los datos se pueden procesar y manipular más fácilmente antes de ser transformados en tripletas RDF con Jena. Una vez convertidos en objetos Java, se

puede usar Jena para semantizarlos y exponerlos como datos RDF, integrándolos en un entorno semántico.

- Interoperabilidad con Jena: JAXB y Jena trabajan bien en conjunto, ya que la transformación de objetos Java a RDF en Jena es directa una vez que los datos XML han sido deserializados. Esto permite una cadena de procesamiento eficiente desde el XML de tráfico hasta la semantización y publicación en RDF.

5. Interoperabilidad con Otros Sistemas:

- Compatibilidad con APIs Basadas en XML: Al ser una tecnología estándar en Java, JAXB es compatible con cualquier sistema o API que utilice XML para la transmisión de datos. Esto es especialmente útil cuando los datos de tráfico se obtienen de servicios externos que transmiten información en XML.
- Facilita la Comunicación con Fuentes de Datos: Al utilizar JAXB, los desarrolladores pueden integrar fácilmente datos de tráfico provenientes de diversas fuentes de datos que utilizan XML como formato de intercambio, garantizando que los datos se mapeen correctamente a objetos Java y luego se semanticen.

6. Desarrollo Basado en Estándares:

- Parte del Estándar de Java: JAXB es parte del estándar Java EE (y ahora está disponible como un módulo en Jakarta EE), lo que significa que no es necesario instalar bibliotecas adicionales en entornos Java modernos. Esto facilita su uso en aplicaciones que ya están basadas en el ecosistema Java.
- Simplicidad en la Integración: Dado que JAXB es nativo de Java, su integración en aplicaciones Java existentes es sencilla y no requiere configuraciones o bibliotecas externas complejas, lo que reduce la sobrecarga de mantenimiento.

Contras de JAXB para el Manejo de Datos XML en Java

1. Limitaciones en el Manejo de XML Muy Complejo:

- Dificultad con Estructuras XML Complejas: Aunque JAXB es adecuado para la mayoría de las estructuras XML, puede tener dificultades al manejar XML altamente anidado o con estructuras muy complejas. Esto puede requerir configuraciones avanzadas o personalizaciones adicionales para asegurar que el XML se transforme correctamente en objetos Java.
- Configuración Adicional para Esquemas Dinámicos: En caso de que los esquemas XML cambien frecuentemente o los datos de tráfico contengan variaciones, la adaptación de JAXB puede ser más compleja y requerir ajustes continuos.

2. Curva de Aprendizaje para Personalizaciones Complejas:

- Necesidad de Aprender las Anotaciones: Aunque las anotaciones de JAXB son sencillas, comprender completamente cómo funcionan las anotaciones más avanzadas (como `@XmlAdapter` o `@XmlAccessorType`) puede requerir tiempo, especialmente si los datos de tráfico tienen requisitos complejos de conversión.
- Dependencia de Anotaciones para Mapeos Personalizados: Si el XML de tráfico no sigue un esquema fijo, o si hay variaciones frecuentes en la estructura de los datos,

los desarrolladores pueden necesitar personalizar manualmente el mapeo mediante anotaciones avanzadas, lo que añade complejidad.

3. Rendimiento en Grandes Volúmenes de Datos XML:

- Limitaciones de Rendimiento: JAXB está diseñado para manejar XML de manera eficiente en la mayoría de los casos, pero puede presentar problemas de rendimiento si se trabaja con grandes volúmenes de datos XML o si los archivos son extremadamente grandes. En tales casos, el procesamiento de grandes cantidades de datos XML puede requerir optimizaciones o el uso de técnicas como la deserialización por streaming.
- Memoria en Archivos XML Extensos: Al convertir grandes archivos XML de tráfico a objetos Java, JAXB puede consumir una cantidad considerable de memoria. Esto puede ser una limitación en escenarios con restricciones de recursos o grandes datasets XML que necesitan ser procesados en tiempo real.

4. Compatibilidad en el Futuro con Jakarta EE:

- Migración a Jakarta EE: Aunque JAXB ha sido parte del estándar Java EE, desde la migración de algunos componentes a Jakarta EE, es posible que sea necesario ajustar algunas dependencias o configuraciones en entornos Java modernos. Esto puede requerir actualizaciones adicionales en proyectos de largo plazo que evolucionen hacia Jakarta EE.

JAXB es una herramienta poderosa y eficiente para transformar datos XML de tráfico en objetos Java, lo que facilita su procesamiento y posterior semantización utilizando Jena. Sus pros incluyen la simplicidad para trabajar con XML en Java, la posibilidad de generar clases automáticamente a partir de esquemas XML y su integración fluida con Jena para la creación de tripletas RDF. Para proyectos que implican datos de tráfico en XML, JAXB proporciona una solución clara y basada en estándares para el procesamiento de datos.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que, en escenarios con XML muy complejo o grandes volúmenes de datos, pueden surgir limitaciones en términos de rendimiento y configuraciones avanzadas. A pesar de esto, JAXB sigue siendo una opción excelente para manejar datos XML estructurados en aplicaciones Java, asegurando que los datos se puedan procesar eficientemente antes de su semantización en un entorno semántico como Jena.

3.2.11 CKAN

CKAN (Comprehensive Knowledge Archive Network) [31] es una plataforma de código abierto diseñada para la gestión y publicación de datos abiertos. Es ampliamente utilizada por gobiernos, instituciones y organizaciones para gestionar, almacenar y compartir grandes volúmenes de datos de manera eficiente. CKAN proporciona herramientas para organizar, publicar y buscar conjuntos de datos, permitiendo que las comunidades accedan y reutilicen datos públicos de forma sencilla.

Pros de CKAN

1. Gestión Eficiente de Datos Abiertos:

- Plataforma Centralizada: CKAN permite gestionar grandes cantidades de datos en un único portal, lo que facilita la organización, publicación y actualización de

conjuntos de datos. Los administradores pueden crear, editar y gestionar recursos de datos de manera eficiente, permitiendo que los usuarios accedan fácilmente a la información.

- **Metadatos Ricos:** Los conjuntos de datos en CKAN están enriquecidos con metadatos, lo que facilita su descubrimiento y comprensión. Los metadatos pueden incluir descripciones detalladas, formatos de archivo, autores, fechas de publicación y licencias, mejorando la capacidad de los usuarios para buscar y reutilizar los datos.

2. Interfaz Intuitiva y Accesible:

- **Fácil de Usar:** CKAN ofrece una interfaz de usuario web que es intuitiva y accesible, permitiendo a los usuarios no técnicos navegar por los conjuntos de datos y descargar archivos sin dificultad. Los formularios de carga de datos y la organización de los recursos son sencillos de utilizar.
- **Búsqueda Avanzada:** CKAN incluye potentes capacidades de búsqueda, permitiendo a los usuarios encontrar rápidamente los conjuntos de datos relevantes a través de palabras clave, categorías, etiquetas y filtros basados en metadatos.

3. Funcionalidades Extensibles:

- **Integración con APIs:** CKAN ofrece un conjunto completo de APIs RESTful que permiten a los desarrolladores acceder, modificar y buscar datos programáticamente. Esto facilita la integración de CKAN con otros sistemas y aplicaciones, permitiendo la creación de soluciones personalizadas.
- **Extensibilidad mediante Plugins:** CKAN es altamente extensible a través de un sistema de plugins, que permite añadir nuevas funcionalidades a la plataforma, como visualización de datos, autenticación personalizada, almacenamiento en la nube, y más. Esto lo hace flexible y adaptable a diferentes necesidades.

4. Publicación de Datos Abiertos:

- **Soporte para Datos LOD:** CKAN tiene soporte para la publicación de datos como LOD, permitiendo que los datos sean reutilizados fácilmente en la web semántica. Con plugins específicos, es posible publicar y enlazar datos RDF, facilitando la interoperabilidad con otras plataformas de datos abiertos.
- **Opciones de Licencias:** CKAN facilita la asignación de licencias de uso a los datos publicados, lo que asegura que los usuarios comprendan las restricciones y derechos asociados con la reutilización de los datos.

5. Comunidad Activa y Soporte:

- **Soporte Activo y Documentación:** CKAN cuenta con una comunidad activa que proporciona soporte a través de foros, listas de correo y una amplia documentación. Además, al ser una plataforma de código abierto, los usuarios pueden contribuir con mejoras o adaptaciones personalizadas.

6. Seguridad y Control de Acceso:

- **Autenticación y Autorización:** CKAN ofrece mecanismos avanzados de autenticación y autorización, lo que permite controlar el acceso a los conjuntos de datos y

recursos. Los administradores pueden configurar permisos para que ciertos datos sean públicos o privados, y gestionar usuarios con diferentes roles y permisos.

Contras de CKAN

1. Requisitos Técnicos para la Implementación:

- **Instalación y Configuración Complejas:** Aunque CKAN es una plataforma poderosa, su instalación y configuración iniciales pueden ser complejas, especialmente para usuarios sin experiencia técnica. Requiere configurar varios componentes, como bases de datos, servidores web y almacenamiento de archivos, lo que puede ser desafiante sin soporte técnico adecuado.
- **Curva de Aprendizaje:** La administración completa de CKAN, incluyendo la personalización y el mantenimiento a largo plazo, puede tener una curva de aprendizaje pronunciada para administradores novatos. Esto incluye la instalación de plugins, ajustes de seguridad y optimización de rendimiento.

2. Rendimiento en Grandes Implementaciones:

- **Escalabilidad:** Aunque CKAN puede manejar grandes volúmenes de datos, su escalabilidad puede convertirse en un desafío en implementaciones muy grandes o en sistemas con un alto tráfico de usuarios. Sin optimización, el rendimiento puede verse afectado, lo que puede requerir servidores robustos y configuración avanzada.
- **Rendimiento de Búsqueda:** A medida que el número de conjuntos de datos aumenta, la capacidad de búsqueda de CKAN puede volverse lenta sin un ajuste adecuado. La integración de soluciones avanzadas de búsqueda o sistemas de caché puede ser necesaria en implementaciones a gran escala.

3. Limitaciones en la Visualización de Datos:

- **Herramientas de Visualización Básicas:** Si bien CKAN ofrece algunas opciones básicas para la visualización de datos, como gráficos y mapas sencillos, estas capacidades son limitadas en comparación con otras plataformas especializadas en visualización de datos (por ejemplo, Tableau o Grafana). La creación de visualizaciones avanzadas generalmente requiere la integración con herramientas de terceros.
- **Plugins Adicionales Requeridos:** Muchas de las funcionalidades más avanzadas, como la visualización interactiva de datos o el análisis en tiempo real, requieren la instalación de plugins adicionales, lo que puede aumentar la complejidad de la configuración.

4. Mantenimiento y Actualización:

- **Actualizaciones Regulares:** CKAN, al ser una plataforma de código abierto, requiere actualizaciones regulares para mantenerse seguro y optimizado. Esto puede ser un desafío para organizaciones con recursos limitados, ya que la actualización puede romper la compatibilidad con ciertos plugins o personalizaciones.
- **Mantenimiento Técnico:** Dado que CKAN depende de varios componentes (base de datos, servidor, plugins), su mantenimiento puede requerir una dedicación considerable para garantizar que todos los elementos funcionen sin problemas y que las versiones estén actualizadas.

5. Dependencia de Plugins para Funcionalidades Avanzadas:

- **Funcionalidades Limitadas en la Versión Base:** Aunque CKAN es una plataforma poderosa, muchas de las funcionalidades avanzadas, como visualización interactiva de datos, análisis geoespacial o integración con bases de datos externas, requieren la instalación de plugins adicionales. Dependiendo de los requerimientos del proyecto, esto puede aumentar la complejidad del sistema y la necesidad de soporte técnico.

CKAN es una plataforma robusta y flexible para la gestión y publicación de datos abiertos, ideal para organizaciones que desean centralizar grandes volúmenes de datos y hacerlos accesibles al público. Sus pros incluyen una interfaz fácil de usar, extensibilidad mediante APIs y plugins, y un soporte sólido para la gestión de datos abiertos y la interoperabilidad con LOD. Esto lo convierte en una herramienta valiosa para gobiernos, instituciones académicas y organizaciones que buscan fomentar la transparencia y la reutilización de datos.

No obstante, CKAN puede tener algunas desventajas, como la complejidad de su instalación y mantenimiento, así como la necesidad de plugins adicionales para funcionalidades avanzadas. Las organizaciones que planean implementaciones a gran escala deben considerar la necesidad de recursos técnicos y optimización para asegurar un rendimiento adecuado. En general, CKAN es una solución poderosa para la gestión de datos abiertos, pero puede requerir una inversión considerable en términos de tiempo y recursos para su correcta implementación y mantenimiento.

3.2.12 LODView

LODView [95] es una herramienta ligera y fácil de usar que se utiliza principalmente para visualizar y navegar datos RDF expuestos como LOD. Esta herramienta proporciona una interfaz web intuitiva que permite a los usuarios explorar los recursos RDF y las relaciones entre ellos, mostrando gráficamente los nodos y sus conexiones en una forma comprensible. LODView se utiliza a menudo como complemento en sistemas que publican datos RDF y que necesitan una interfaz accesible para explorar la información.

Pros de LODView

1. Interfaz Intuitiva y Navegación Fácil:

- **Visualización Clara de RDF:** LODView presenta los datos RDF en una interfaz web amigable, que permite a los usuarios navegar fácilmente por los recursos y sus relaciones. Cada recurso se muestra de manera comprensible, con enlaces a otras entidades, facilitando la exploración de los datos sin necesidad de conocer SPARQL.
- **Navegación Interactiva:** Los usuarios pueden navegar entre los diferentes nodos RDF mediante hipervínculos, lo que proporciona una manera natural de explorar los datos vinculados, saltando entre las diferentes instancias relacionadas.

2. Compatibilidad con SPARQL:

- **Interoperabilidad con Endpoints SPARQL:** LODView se puede integrar con endpoints SPARQL, lo que permite consultar y visualizar directamente los resultados de consultas SPARQL. Esto proporciona una manera cómoda de combinar la navegación intuitiva con el poder de las consultas SPARQL.

- **Visualización de Datos RDF:** Aunque no es un motor de consulta por sí mismo, LODView facilita la visualización de los datos RDF generados o consultados desde un endpoint SPARQL, lo que enriquece la experiencia de exploración de los datos enlazados.

3. Ligero y Fácil de Configurar:

- **Instalación Sencilla:** Comparado con otras herramientas más robustas, LODView es fácil de instalar y configurar. No requiere configuraciones complejas ni un gran conocimiento técnico, lo que lo hace ideal para proyectos que buscan una solución rápida para la visualización de datos RDF.
- **Requisitos de Recursos Mínimos:** LODView tiene un impacto ligero en los recursos del sistema, siendo adecuado para implementaciones en servidores con capacidades modestas.

4. Soporte para Múltiples Formatos:

- **Diversos Formatos RDF:** LODView soporta la visualización de datos RDF en diferentes formatos, como Turtle, RDF/XML y JSON-LD, lo que aumenta su versatilidad para trabajar con diferentes tipos de representación de datos RDF.

5. Facilidad de Uso para Usuarios No Técnicos:

- **Acceso Directo a Datos LOD:** LODView ofrece una manera sencilla para que usuarios no técnicos accedan y comprendan datos RDF. Esto es particularmente útil en entornos donde los expertos en dominio necesitan consultar la información sin tener que escribir consultas SPARQL complejas.

Contras de LODView

1. Funcionalidades Limitadas:

- **Enfocado Principalmente en la Visualización:** A diferencia de otras herramientas más completas como Virtuoso o Fuseki, LODView está diseñado únicamente para la visualización de datos RDF. No incluye capacidades avanzadas de consulta o manipulación de datos, lo que limita su funcionalidad a mostrar información y navegar por ella.
- **Falta de Soporte para Consultas Complejas:** Aunque LODView puede integrarse con endpoints SPARQL, no permite realizar consultas complejas directamente desde la interfaz. Los usuarios deben recurrir a un motor SPARQL externo para ejecutar consultas personalizadas.

2. Interfaz de Usuario Simple:

- **Poco Personalizable:** LODView proporciona una interfaz predeterminada que es sencilla de usar, pero carece de opciones avanzadas de personalización o modificación para adaptarse a necesidades específicas del proyecto. Esto puede ser una limitación en proyectos que requieren interfaces más especializadas o ajustadas a un diseño gráfico particular.
- **Visualización Gráfica Limitada:** Aunque LODView permite la navegación por los nodos RDF, la visualización gráfica de las relaciones entre entidades es básica en

comparación con herramientas más avanzadas que ofrecen mapas visuales interactivos y diagramas complejos de grafos.

3. Soporte Limitado para Geodatos:

- Sin Soporte GeoSPARQL: A diferencia de Virtuoso, LODView no ofrece soporte para consultas geoespaciales (GeoSPARQL). Esto lo hace inadecuado para proyectos que requieren trabajar con datos geográficos o consultas espaciales avanzadas.
- Capacidades Geoespaciales Básicas: Aunque puede mostrar datos RDF que incluyen coordenadas geográficas, LODView no está optimizado para procesar o visualizar relaciones geográficas complejas, lo que puede ser un inconveniente para ciertos proyectos de datos geoespaciales.

4. Escalabilidad y Rendimiento:

- Desempeño en Grandes Volúmenes de Datos: Si bien LODView es adecuado para proyectos pequeños o medianos, puede experimentar problemas de rendimiento al manejar grandes volúmenes de datos RDF, especialmente si se integra con triplestores de gran tamaño. No está diseñado para ser utilizado como una herramienta de alto rendimiento o escalabilidad.
- Limitaciones en Consultas Concurrentes: LODView no está optimizado para manejar grandes cantidades de usuarios simultáneamente, lo que puede ser una limitación en proyectos que requieran accesos concurrentes a los datos RDF.

5. Falta de Características de Seguridad:

- Opciones de Seguridad Básicas: LODView no incluye mecanismos avanzados de autenticación o autorización. Si bien puede configurarse para integrarse con sistemas que tienen seguridad en el nivel de la red, por sí solo no proporciona herramientas para controlar el acceso a los datos. En proyectos que requieren un acceso controlado a la información, puede no ser suficiente.

LODView es una herramienta útil y eficiente para la visualización de datos RDF, ofreciendo una manera simple y directa para que usuarios no técnicos exploren datos enlazados en un formato visual amigable. Sus pros incluyen una instalación fácil, navegación intuitiva y soporte para diversos formatos RDF, lo que la convierte en una opción ideal para proyectos pequeños o medianos que buscan una solución rápida para visualizar datos RDF sin necesidad de configuraciones complejas.

No obstante, su funcionalidad está limitada principalmente a la visualización, y carece de capacidades avanzadas de consulta, escalabilidad y personalización. Para proyectos que requieren una integración más profunda con bases de datos geoespaciales o que manejan grandes volúmenes de datos RDF, puede ser necesario utilizarlo en conjunto con otras herramientas más robustas. A pesar de sus limitaciones, LODView sigue siendo una opción valiosa cuando se necesita una herramienta ligera para la visualización de datos LOD.

3.2.13 SPARQL Anything

SPARQL Anything [5] es una herramienta que amplía las capacidades de las consultas SPARQL al permitir la consulta de fuentes de datos que no están originalmente en formato RDF. Esta herramienta convierte datos heterogéneos (como archivos JSON, XML, CSV, hojas de cálculo,

etc.) en grafos RDF sobre los que se pueden ejecutar consultas SPARQL, lo que facilita la integración de fuentes de datos no semánticas en la web semántica.

Pros de SPARQL Anything

1. Conversión de Datos No-RDF a RDF:

- **Integración de Datos Heterogéneos:** Uno de los mayores beneficios de SPARQL Anything es su capacidad para convertir datos de fuentes no estructuradas o no semánticas (como JSON, XML, CSV, etc.) en un formato RDF que puede ser consultado usando SPARQL. Esto permite aprovechar fuentes de datos ya existentes sin necesidad de convertir manualmente los datos a RDF.
- **Flexibilidad en la Consulta:** SPARQL Anything permite que los datos no semánticos se integren en un sistema basado en RDF, lo que facilita la consulta y el análisis utilizando un único lenguaje de consulta (SPARQL). Esto es especialmente útil en proyectos donde se deben integrar múltiples fuentes de datos no homogéneas.

2. Soporte para Múltiples Formatos de Datos:

- **Amplia Gama de Formatos de Entrada:** SPARQL Anything soporta una variedad de formatos de datos, incluyendo JSON, XML, CSV, HTML, archivos de texto, entre otros. Esta flexibilidad permite que prácticamente cualquier fuente de datos estructurada pueda ser consultada mediante SPARQL.
- **Consultas Uniformes:** Los datos provenientes de diferentes formatos son transformados a un grafo RDF unificado, lo que permite consultas consistentes y uniformes a través de SPARQL, simplificando la gestión de datos diversos.

3. Consultas Directas sin Preprocesamiento:

- **No es Necesario Preconvertir los Datos:** A diferencia de otras herramientas que requieren convertir datos a RDF antes de consultarlos, SPARQL Anything permite ejecutar consultas directamente sobre fuentes de datos no-RDF. Esto simplifica el proceso de integración de datos y reduce el tiempo de preparación de los datos.
- **Consultas Dinámicas:** Al ejecutar consultas directamente sobre los archivos de origen, SPARQL Anything permite realizar análisis en tiempo real sin necesidad de almacenar permanentemente los datos en formato RDF, lo que mejora la eficiencia en escenarios dinámicos.

4. Ampliación de los Alcances de SPARQL:

- **Ampliación de las Capacidades de SPARQL:** SPARQL Anything permite extender el alcance de SPARQL a fuentes de datos que tradicionalmente no serían compatibles con este lenguaje de consulta. Esto significa que las organizaciones pueden aprovechar las capacidades avanzadas de SPARQL en un rango mucho más amplio de datos.
- **Manejo de Datos Multimodales:** Además de soportar formatos de datos estructurados como JSON y CSV, SPARQL Anything también permite trabajar con datos multimedia, lo que lo hace útil para aplicaciones que involucran información compleja, como imágenes, audio o datos geoespaciales.

5. Facilidad de Uso y Documentación:

- **Sintaxis Familiar:** SPARQL Anything sigue una sintaxis SPARQL estándar, lo que significa que cualquier persona que ya esté familiarizada con SPARQL puede comenzar a utilizarlo sin necesidad de aprender un nuevo lenguaje o sistema.
- **Documentación Completa:** La herramienta cuenta con una buena documentación y ejemplos que permiten a los desarrolladores integrar rápidamente fuentes de datos externas en sistemas RDF, lo que facilita su adopción en proyectos semánticos.

Contras de SPARQL Anything

1. Rendimiento en Grandes Volúmenes de Datos:

- **Consultas sobre Fuentes Grandes Pueden Ser Lentas:** Aunque SPARQL Anything facilita la consulta de datos no-RDF, ejecutar consultas SPARQL directamente sobre archivos grandes puede resultar en un bajo rendimiento. Esto es especialmente problemático en fuentes de datos voluminosas, donde el preprocesamiento de datos podría ser más eficiente.
- **No Optimizado para Big Data:** A pesar de su flexibilidad, SPARQL Anything no está optimizado para trabajar con grandes volúmenes de datos distribuidos o big data. Para aplicaciones que requieren el manejo de grandes datasets, herramientas como Virtuoso u otros triplestores pueden ser más adecuadas.

2. Limitaciones en Consultas Complejas:

- **Procesamiento de Consultas Complejas:** Aunque SPARQL Anything permite realizar consultas SPARQL, algunas consultas muy complejas que involucren operaciones avanzadas o datos multimodales pueden volverse lentas o difíciles de ejecutar debido a las limitaciones del sistema en cuanto al manejo de datos no estructurados.
- **Posibles Limitaciones en la Expresividad de RDF:** Dado que la conversión de datos no-RDF a RDF se realiza de manera automática, las consultas más sofisticadas que dependen de estructuras RDF bien definidas podrían no ser tan eficientes o precisas como lo serían en datos RDF predefinidos.

3. No Sustituye a un Triplestore Completo:

- **Herramienta Especializada:** SPARQL Anything no está diseñado para sustituir un triplestore completo como Virtuoso o Jena. Aunque amplía el alcance de SPARQL, sigue siendo una herramienta complementaria para la conversión y consulta de datos no-RDF, por lo que para la gestión completa de datos RDF, se necesita un sistema triplestore robusto.
- **Almacenamiento Temporal:** Al no realizar un almacenamiento permanente de los datos convertidos a RDF, SPARQL Anything no es adecuado para proyectos que requieren la persistencia de datos RDF a largo plazo.

4. Curva de Aprendizaje para Formatos Complejos:

- **Transformación Manual de Formatos Complejos:** Aunque SPARQL Anything soporta múltiples formatos, convertir estructuras de datos muy complejas (por ejemplo, JSON anidados o XML muy profundos) a un formato RDF adecuado puede requerir configuraciones manuales adicionales, lo que aumenta la curva de aprendizaje para ciertos tipos de datos.

- Dependencia de los Esquemas de Datos: Si los datos de entrada no están bien estructurados o documentados, la calidad de la conversión a RDF puede verse comprometida, lo que afectaría los resultados de las consultas.

5. Compatibilidad y Dependencias:

- Dependencia de Otras Herramientas: SPARQL Anything funciona en conjunto con otros sistemas de consultas RDF y SPARQL, lo que implica que la herramienta por sí sola no es suficiente para implementar un sistema completo. Depende de otras tecnologías para gestionar datos RDF de manera más integral.
- Mantenimiento de Compatibilidad: Al integrarse con varias fuentes y formatos de datos, mantener la compatibilidad y asegurar el correcto funcionamiento en diferentes entornos puede volverse complejo, especialmente cuando los formatos de entrada cambian o evolucionan.

SPARQL Anything es una herramienta innovadora y poderosa que amplía las capacidades del lenguaje SPARQL para consultar fuentes de datos que no están originalmente en formato RDF. Su capacidad para transformar múltiples formatos de datos en grafos RDF facilita la integración de fuentes heterogéneas en sistemas semánticos, lo que es especialmente útil en proyectos que requieren datos de diferentes orígenes sin preprocesamiento.

Sin embargo, sus limitaciones en términos de rendimiento sobre grandes volúmenes de datos y la gestión de consultas complejas hacen que sea más adecuada como una herramienta complementaria en lugar de un reemplazo completo de los triplestores tradicionales. Para proyectos que manejan grandes datasets RDF o que requieren persistencia de datos, SPARQL Anything se utiliza mejor junto con sistemas triplestore robustos como Jena. Aun así, es una opción valiosa para aquellos que buscan flexibilizar y ampliar las consultas SPARQL a un rango más amplio de fuentes de datos.

3.2.14 WIDOCO

WIDOCO (Widely Used Ontology Documentation Tool) [96] es una herramienta que facilita la creación automática de documentación detallada para ontologías, siguiendo las mejores prácticas recomendadas por la comunidad de la web semántica. Su propósito principal es hacer que las ontologías sean comprensibles no solo por los desarrolladores que trabajan con ellas, sino también por otros investigadores y sistemas que podrían reutilizarlas.

Principales Características

- Documentación Estandarizada: WIDOCO genera páginas web que describen de manera exhaustiva la ontología, incluyendo definiciones de clases, propiedades, relaciones y restricciones. Esta documentación se produce en formatos accesibles tanto para humanos (HTML, PDF) como para máquinas.
- Incorporación de Metadatos: Permite añadir información adicional relevante sobre la ontología, como su autor, propósito, versión y conexiones con otros vocabularios o estándares.
- Generación de Diagramas: La herramienta también incluye diagramas visuales que permiten comprender la jerarquía y las relaciones entre las clases y propiedades de la ontología, facilitando su análisis y comprensión.
- Soporte Multiformato: Es compatible con formatos de exportación estándar como OWL y RDF, lo que hace de WIDOCO una herramienta versátil para diferentes tipos de proyectos en la web semántica.

El uso de una herramienta como WIDOCO podría considerarse en la fase de documentación de ontologías para proyectos futuros que requieran un alto grado de interoperabilidad y reutilización. Esta herramienta no solo facilita la generación de documentación técnica detallada, sino que también permite a los usuarios integrar fácilmente metadatos esenciales y diagramas visuales, lo cual es particularmente útil en la publicación y disseminación de ontologías en entornos distribuidos.

WIDOCO se alinea con la tendencia de promover la interoperabilidad en la web semántica, ya que ofrece una solución completa para documentar y publicar ontologías, lo que ayuda a asegurar su entendimiento y reutilización por parte de la comunidad investigadora de la web semántica.

3.3 Conclusiones

El análisis de las tecnologías relacionadas con la web semántica ha permitido identificar herramientas clave que fortalecen el marco conceptual y técnico de esta tesis. Virtuoso, con su robustez y soporte nativo para GeoSPARQL, se posiciona como una de las tecnologías más completas para la gestión de grandes volúmenes de datos geoespaciales [97]. Por su parte, Apache Jena destaca por su flexibilidad y modularidad, adaptándose bien a necesidades de procesamiento semántico personalizado.

Además, herramientas como SPARQL Anything facilitan la integración de datos heterogéneos al ecosistema RDF, mientras que WIDOCO garantiza una documentación clara y accesible de las ontologías desarrolladas. En conjunto, estas tecnologías han sido esenciales para abordar los desafíos de interoperabilidad, escalabilidad y análisis en la implementación de soluciones basadas en la web semántica, cumpliendo con los objetivos planteados en esta tesis.

4 ONTOLOGÍAS RELACIONADAS CON SRTI

4.1 Introducción a las Ontologías Relacionadas con SRTI

En el contexto de la seguridad vial y los incidentes de tráfico, los datos provienen de múltiples fuentes y abarcan información diversa, como aspectos administrativos, características de la infraestructura vial y eventos específicos de tráfico. Integrar y analizar esta información de manera eficiente requiere un enfoque semántico que permita estructurar, enlazar y reutilizar los datos en un entorno interoperable. Para abordar esta necesidad, se han diseñado tres ontologías principales en esta tesis:

1. Ontología de Unidades Administrativas:

- Modela las divisiones administrativas en España (comunidades autónomas, provincias y municipios), proporcionando un marco geográfico clave para situar incidentes de tráfico en un contexto territorial.

2. Ontología de Carreteras:

- Describe la infraestructura vial, incluyendo tramos, tipos de carreteras y conexiones entre vías, con el objetivo de caracterizar las ubicaciones exactas donde ocurren los incidentes.

3. Ontología SRTI (Safety-Related Traffic Information):

- Actúa como el núcleo del modelo semántico, integrando datos de incidentes de tráfico y vinculándolos tanto con las unidades administrativas como con las carreteras. Esta ontología central soporta análisis avanzados al combinar información geográfica, vial y de eventos específicos.

4.2 Justificación de la Creación de Ontologías

La creación de estas ontologías se justifica por las siguientes razones:

• **Interoperabilidad y Datos Abiertos:**

- En el contexto de la web semántica, las ontologías son fundamentales para garantizar que los datos sean reutilizables e interoperables. Las ontologías diseñadas en esta tesis cumplen con los principios FAIR, permitiendo su integración con otras fuentes de datos abiertas.

• **Normalización y Consistencia:**

- Las ontologías aseguran que los datos de diferentes dominios (geográfico, vial y de incidentes) sean estructurados y modelados de manera consistente, eliminando ambigüedades y redundancias.

- **Relación entre Datos Heterogéneos:**

- La combinación de estas tres ontologías permite enlazar datos que, de otro modo, estarían aislados. Por ejemplo, un incidente de tráfico puede vincularse con las condiciones específicas de la carretera y el municipio donde ocurrió, proporcionando un contexto enriquecido para su análisis.

- **Análisis y Enriquecimiento Semántico:**

- Las ontologías no solo modelan los datos existentes, sino que también facilitan la inferencia de nuevo conocimiento mediante el uso de reglas semánticas (por ejemplo, identificando zonas de alta siniestralidad o eventos críticos).

4.3 Relación entre las Ontologías

La ontología SRTI funciona como el puente central que conecta las ontologías de Unidades Administrativas y de Carreteras. Esta conexión es esencial para proporcionar un modelo semántico completo, ya que:

- La Ontología de Unidades Administrativas contextualiza geográficamente los incidentes.
- La Ontología de Carreteras aporta detalles sobre las características y ubicaciones de las vías afectadas.
- La Ontología SRTI combina estas perspectivas para permitir análisis más profundos y toma de decisiones informadas.

4.4 Metodología de diseño

El desarrollo de una ontología es un proceso complejo que implica la representación formal de conocimiento en un dominio específico. Para que una ontología sea útil, reutilizable y consistente, es esencial seguir una metodología bien definida que guíe cada paso del proceso. A continuación, se exponen las principales razones para utilizar una metodología en el diseño y construcción de ontologías:

1. Estructura y Organización:

El uso de una metodología proporciona una estructura clara y organizada para el desarrollo de la ontología. Esto permite un enfoque sistemático que asegura que cada etapa, desde la identificación de los conceptos hasta la implementación formal, se realice de manera ordenada y completa.

2. Alineación con los Requisitos del Proyecto:

Una metodología bien definida asegura que la ontología se desarrolle en base a los requisitos específicos del proyecto. Esto significa que desde el inicio se alinean las necesidades del dominio con el diseño conceptual, asegurando que la ontología satisfaga las expectativas y resuelva los problemas planteados.

3. Facilita la Reutilización y Extensibilidad:

Al seguir una metodología, es más probable que la ontología sea reutilizable en otros contextos. Las metodologías estructuradas también aseguran que las ontologías sean extensibles, es decir, que puedan evolucionar con el tiempo o integrarse con otras ontologías.

4. Coherencia y Consistencia:

Una metodología ofrece herramientas y pasos para garantizar la consistencia interna de la ontología. Esto es crucial para evitar ambigüedades o contradicciones en la representación del conocimiento, lo que puede comprometer su utilidad.

5. Facilita la Evaluación y Validación:

Las metodologías incluyen fases específicas para la evaluación de la ontología, asegurando que se compruebe su validez, coherencia y capacidad para responder a las preguntas para las que fue diseñada. Esto es esencial para garantizar que la ontología sea fiable y adecuada para su propósito.

4.5 Methontology

Dentro de las metodologías disponibles para el diseño de ontologías, **Methontology** [98] destaca por su enfoque riguroso y estructurado, lo que la convierte en una opción ideal para el desarrollo de la ontología en esta tesis. A continuación, se detallan las razones específicas por las que **Methontology** ha sido seleccionada:

1. Enfoque Completo y Sistematizado:

- Methontology cubre todas las fases del ciclo de vida de una ontología, desde la especificación hasta el mantenimiento. Esto asegura que el proceso de desarrollo esté completamente estructurado, abarcando desde la identificación inicial de los conceptos hasta la formalización y evaluación de la ontología.
- Al seguir un enfoque secuencial, la metodología asegura que todas las fases clave del proceso de diseño sean consideradas, sin omitir pasos críticos.

2. Flexibilidad para la Evolución:

- Una de las características distintivas de Methontology es su flexibilidad. Aunque sigue un enfoque estructurado, permite iterar sobre las diferentes fases del desarrollo si surgen nuevas necesidades o se encuentran problemas. Esto es especialmente importante en un proyecto de investigación, donde el conocimiento del dominio puede evolucionar con el tiempo.

3. Documentación Integral:

- Methontology da gran importancia a la documentación durante cada fase del desarrollo. Esto no solo facilita la trazabilidad del proyecto, sino que también asegura que la ontología sea comprensible por otros investigadores o desarrolladores que puedan reutilizarla o extenderla en el futuro. Esta es una ventaja clave en proyectos que necesitan interoperabilidad y colaboración.

4. Adaptación a Diferentes Dominios:

- Methontology es una metodología agnóstica en cuanto al dominio, lo que significa que puede adaptarse fácilmente a diferentes contextos de aplicación. Esta capacidad de adaptabilidad es particularmente valiosa en proyectos donde se trata de representar conocimiento especializado o en evolución.

5. Integración con Herramientas Estándar:

- Methontology está diseñada para ser implementada con herramientas estándar en el desarrollo de ontologías, como Protégé y lenguajes de representación como OWL. Esto asegura que las ontologías desarrolladas sean compatibles con las tecnologías y estándares actuales de la web semántica.

6. Evaluación Rigurosa:

- La metodología Methontology incluye una fase de evaluación rigurosa, lo que asegura que la ontología se valide de acuerdo con los requisitos iniciales y que sea coherente desde un punto de vista lógico. Esta capacidad de evaluación estructurada es fundamental para garantizar que la ontología sea fiable y útil.

7. Mantenimiento y Evolución Continuos:

- Methontology también contempla el mantenimiento de la ontología a lo largo del tiempo. Esta capacidad es crucial en proyectos que pueden requerir ajustes o mejoras a medida que cambia el dominio o se descubren nuevas necesidades. El enfoque modular y bien documentado de la metodología facilita el mantenimiento y la evolución de la ontología sin comprometer su integridad.

4.5.1 Fases de la Metodología Methontology

Methontology propone un conjunto de actividades bien definidas que deben seguirse para construir una ontología:

1. Especificación:

- Definir el propósito de la ontología: En esta fase se establece de manera clara para qué será utilizada la ontología, cuáles son los problemas que resolverá y quiénes serán los usuarios. Se debe identificar el alcance del dominio que cubrirá la ontología.
- Recolección de requisitos: Se definen las preguntas que la ontología debe ser capaz de responder, lo que permite capturar las necesidades funcionales de los usuarios.

2. Conceptualización:

- En esta etapa se organiza y estructura el conocimiento recopilado en la fase de especificación. Esto implica identificar los conceptos principales, las propiedades de esos conceptos y las relaciones entre ellos.
- Se construye un modelo conceptual que representa formalmente el conocimiento del dominio en términos de clases, relaciones, atributos y restricciones. Este modelo conceptual no está todavía implementado en un lenguaje formal, pero es el mapa que guía la construcción.

3. Formalización:

- El siguiente paso es traducir el modelo conceptual en un formato formal, generalmente utilizando un lenguaje de representación de ontologías como OWL. Aquí se añaden restricciones formales y axiomas, lo que permite que los sistemas de razonamiento puedan inferir nuevos conocimientos a partir de los datos.
- Durante esta fase, se asegura que la ontología sea lógicamente consistente y que los axiomas no generen ambigüedades.

4. Implementación:

- En esta fase, la ontología conceptual formalizada se implementa en un sistema de representación de conocimiento, como Protégé o cualquier otra herramienta compatible con OWL o RDF.
- Se crean las clases, propiedades y axiomas en un formato que permita su uso en sistemas computacionales.

5. Evaluación:

- La ontología debe ser evaluada para asegurar que cumple con los requisitos iniciales. La evaluación incluye pruebas de consistencia y validación mediante casos de uso o escenarios definidos en la fase de especificación.
- También se revisa que la ontología pueda responder correctamente las preguntas formuladas en la fase de recolección de requisitos.

6. Mantenimiento:

- Una vez implementada, la ontología requiere mantenimiento y actualización. En esta fase se monitorea la ontología para realizar correcciones o mejoras, así como para extenderla según evolucione el dominio o los requisitos del sistema.
- Este proceso también puede implicar la gestión de versiones y la integración de nuevas clases o relaciones.

4.5.2 Documentación y Revisión en Methontology

Methontology pone un gran énfasis en la **documentación** en cada fase del ciclo de vida de la ontología. La documentación completa asegura que el proceso de desarrollo sea transparente y que otros desarrolladores o investigadores puedan entender, modificar o extender la ontología con facilidad. Esto incluye la descripción detallada de las decisiones tomadas durante la especificación, los modelos conceptuales generados y las restricciones formales añadidas durante la formalización.

El enfoque secuencial y modular de Methontology permite **revisiones iterativas**, lo que significa que es posible volver a fases anteriores si surgen inconsistencias o si los requisitos cambian. Esta flexibilidad es crucial para proyectos que evolucionan en función de nuevas necesidades o descubrimientos.

4.6 Diseño y construcción de una Ontología de Unidades Administrativas

Para organizar de manera eficiente los conceptos relacionados con las unidades administrativas y representar la estructura administrativa de España, se ha desarrollado una ontología satélite denominada "AdministrativeUnit" siguiendo la metodología Methontology. Este enfoque modular facilita la reutilización, la interoperabilidad y la gestión del modelo semántico, permitiendo conectar esta ontología específica con la ontología principal de incidentes de tráfico que se definirá e implementará en las siguientes secciones de la tesis.

La construcción de esta ontología asegura un proceso sistemático desde la especificación de requisitos hasta su implementación en OWL. Se han utilizado vocabularios reconocidos como el Vocabulario de Datos Abiertos del Sector Público y el BTN100 del **Instituto Geográfico Nacional (IGN)** [99]. En lugar de utilizar tipos de datos literales como cadenas de texto (String), la información administrativa fue vinculada directamente a fuentes que contienen información rica y estructurada, asegurando la calidad y la consistencia de los datos.

La ontología se enfoca en modelar entidades administrativas desde el nivel nacional hasta los núcleos de población, facilitando la interoperabilidad y el intercambio de datos administrativos. Este diseño modular también garantiza la alineación con estándares internacionales y la capacidad de expandir o integrar nuevos dominios relacionados con las unidades administrativas.

4.6.1 Fase de Especificación

Propósito

La ontología tiene como propósito proporcionar un modelo semántico que estructure las relaciones administrativas de España, permitiendo una integración y consulta eficiente de los datos relacionados con entidades territoriales. Se garantiza una representación formal, reutilizable y compatible con estándares abiertos.

Conceptos y Propiedades Definidas

1. Conceptos Administrativos:

- **País (Pais):** Representa el territorio soberano de un Estado, con características geográficas y culturales únicas. Se define como una subclase de `UnidadAdministrativa` del BTN100.
- **Comunidad Autónoma (ComunidadAutonoma):** Describe regiones con autonomía política y administrativa, vinculadas al País.
- **Provincia (Provincia):** Entidad subnacional intermedia entre el país y el municipio, que agrupa a uno o más municipios.
- **Municipio (Municipio):** Representa una entidad administrativa local formada por uno o varios núcleos de población.
- **Población (Poblacion):** Define asentamientos de personas dentro de un municipio, siguiendo reglas establecidas por la DGT para localización TPEG.

2. Propiedades:

- **belongToCountry:** Relaciona una `ComunidadAutonoma` con el País al que pertenece.
- **belongToAutonomy:** Asocia una `Provincia` con una `ComunidadAutonoma`.

- **belongToProvince:** Establece que un Municipio pertenece a una Provincia.
- **belongToMunicipality:** Vincula una Poblacion con su Municipio.

Objetivos Específicos

1. Modelado Jerárquico de Entidades Administrativas:

- Representa la estructura administrativa desde el país hasta la población, permitiendo una navegación jerárquica en múltiples niveles.
- Describe relaciones de pertenencia claras entre entidades administrativas a través de propiedades como `belongToCountry`, `belongToAutonomy`, `belongToProvince` y `belongToMunicipality`.

2. Integración y Reutilización de Datos:

- Utiliza vocabularios establecidos como el BTN100 del IGN y el Vocabulario de Datos Abiertos del Sector Público.
- Asegura compatibilidad y reutilización de datos en sistemas interoperables mediante lenguajes como OWL y RDF.

3. Interoperabilidad Semántica:

- Establece una ontología compatible con estándares de datos abiertos, permitiendo el intercambio de información en sistemas gubernamentales y plataformas de datos abiertos.
- Facilita el acceso a datos a través de endpoints SPARQL y servicios web basados en tecnologías semánticas.

4. Consultas y Análisis:

- Permite consultas administrativas complejas, como identificar entidades dentro de una provincia o agrupar municipios por comunidades autónomas.
- Facilita aplicaciones administrativas como planificación territorial, gestión de servicios públicos y visualización de datos.

Impacto y Utilidad

El desarrollo de esta ontología garantiza una representación formal y estandarizada de las unidades administrativas de España, mejorando la interoperabilidad y la consulta eficiente de datos. Gracias a su diseño modular y compatible con vocabularios reconocidos, esta ontología se convierte en una base sólida para sistemas de gestión administrativa y aplicaciones basadas en datos abiertos.

Alcance

La ontología de **Unidades Administrativas** fue desarrollada para representar la estructura territorial de países europeos, incluyendo regiones, provincias, municipios y poblaciones, de acuerdo con estándares europeos como **NUTS (Nomenclature of Territorial Units for Statistics)** y **LAU (Local Administrative Units)**. Se basa en vocabularios bien establecidos como el **Vocabulario de Datos Abiertos del Sector Público de España**, la **Ontología BTN100 de IGN** y la **Ontología Geográfica de Eurostat**.

1. Entidades Administrativas Principales

AdministrativeUnit: concepto genérico que representa cualquier unidad administrativa definida en el modelo, permitiendo la creación de relaciones jerárquicas y la interoperabilidad con otros sistemas de información geográfica.

2. Organización Territorial Jerárquica en España

País (Pais):

Representa una unidad territorial soberana o administrativa nacional.

- **ComposedOfAutonomy:** Define que un país está compuesto por autonomías.
- **ComposedOfRegion:** Para países con subdivisiones en regiones administrativas.

Autonomía (Autonomia):

Define regiones con autonomía legislativa.

- **ComposedOfProvince:** Las provincias pertenecen a una autonomía.
- **BelongToCountry:** Relación directa con el país correspondiente.

Provincia (Provincia):

Unidad intermedia que agrupa municipios.

- **BelongToAutonomy:** Relación con su autonomía.
- **ComposedOfMunicipality:** Define qué municipios están incluidos.

Municipio (Municipio):

Nivel local que agrupa poblaciones específicas.

- **BelongToProvince:** Define la provincia a la que pertenece el municipio.
- **ComposedOfTown:** Agrupa distintas localidades (Poblacion).

Población (Poblacion):

Localidad específica dentro de un municipio.

- **BelongToMunicipality:** Relación directa con el municipio correspondiente.

3. Organización Territorial en la Unión Europea

- **NUTSRegion:** Regiones estadísticas definidas según el sistema NUTS de Eurostat, facilitando comparaciones y análisis estadísticos en la Unión Europea.
- **LAURegion:** Unidades Administrativas Locales definidas para la recopilación y gestión de estadísticas en un contexto europeo.

4. Relaciones Geográficas y de Referencia

- **hasParentRegion:** Define relaciones jerárquicas inversas para representar dependencias administrativas.
- **hasSubRegion:** Establece divisiones administrativas de una región específica.
- **nutsCode:** Propiedad que asocia una unidad administrativa con su código NUTS correspondiente.

5. Códigos y Referencias Administrativas

- **codigoINE**: Código asignado por el Instituto Nacional de Estadística para identificar entidades territoriales españolas.
- **alertcCode**: Código de referencia para sistemas de información geográfica según estándares ALERT-C, utilizado en sistemas de gestión de tráfico.
- **ruianCode**: Código asignado en la República Checa según el sistema de referencia RÚIAN para la gestión de unidades administrativas.

Aspectos Geoespaciales y Representación en Mapas

- **Feature (Objeto Geográfico)**: Concepto fundamental para representar cualquier entidad espacialmente localizada.
- **GeographicalRegion**: Región geográfica definida bajo una autoridad administrativa específica, permitiendo interoperabilidad con ontologías geoespaciales como GeoSPARQL.

Cobertura y Compatibilidad Multinacional

La ontología permite representar la administración territorial de España y la República Checa, asegurando compatibilidad con estándares internacionales como INSPIRE [100], Eurostat [101] y OpenGIS [102], facilitando la interoperabilidad en sistemas de gestión geográfica y administrativa.

Este alcance garantiza una descripción precisa y estructurada de las entidades administrativas, estableciendo relaciones jerárquicas y referencias geoespaciales necesarias para integrar sistemas de información territorial y proporcionar soporte a aplicaciones de gestión pública, análisis estadístico y monitoreo en tiempo real.

La ilustración 28 muestra el diagrama de conceptos para España de la fase de especificación de la ontología de unidades administrativas.

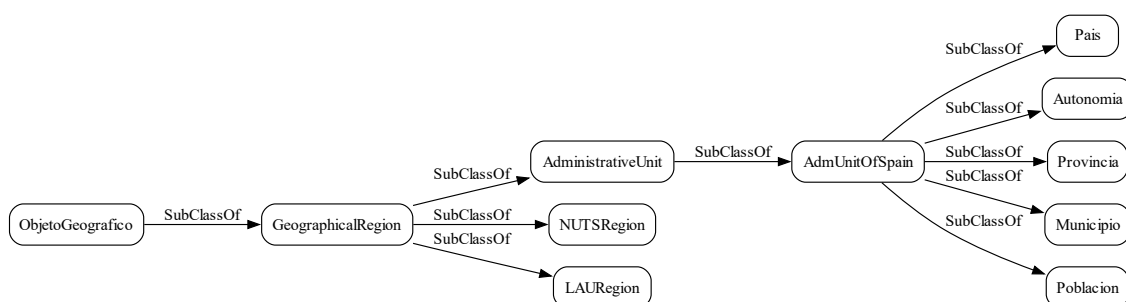


Ilustración 28: Diagrama de conceptos fase de especificación unidades administrativas para España

4.6.2 Fase de Conceptualización: Ontología de Unidades Administrativas

En la fase de conceptualización de la ontología de Unidades Administrativas, se identificaron conceptos clave relacionados con la organización territorial y administrativa en Europa, particularmente en España y la República Checa. Estos conceptos fueron organizados jerárquicamente, utilizando diagramas de clases y relaciones, siguiendo estándares como INSPIRE, Eurostat, LAU y NUTS. A continuación, se describen las principales clases y relaciones identificadas.

4.6.2.1 Identificación de Clases y Conceptos

Clases Principales de Unidades Administrativas

- **AdministrativeUnit:** Clase central que representa cualquier unidad administrativa en el modelo, como países, regiones, provincias o municipios.

Clases y Conceptos de Organización Territorial

- **País (Pais):** Unidad territorial nacional o soberana.
 - **Subclases:**
 - Stát (Estado): País en la República Checa.
 - Country (Eurostat): Definición estándar de país según Eurostat.
- **Autonomía (Autonomia):** Entidad territorial con autogobierno legislativo.
 - **Subclases:**
 - ComunidadAutonoma: Autonomía en España.
 - CiudadAutonoma: Ciudad con régimen especial en España.
- **Provincia (Provincia):** División administrativa intermedia en España.
- **Municipio (Municipio):** División administrativa local.
- **Población (Poblacion):** Localidad dentro de un municipio.

Clases y conceptos de Organización Territorial Europea

- **NUTSRegion:** Región según la nomenclatura NUTS de Eurostat.
- **LAURegion:** Unidad administrativa local definida por Eurostat.

4.6.2.2 Propiedades de Objeto (Object Properties)

1. Relaciones Jerárquicas

Estas propiedades describen la estructura jerárquica de las unidades administrativas.

- belongToAutonomy
Dominio: Provincia
Rango: Autonomía
Descripción: Indica que una provincia pertenece a una autonomía.
- belongToCountry
Dominio: Autonomía
Rango: País
Descripción: Indica que una autonomía pertenece a un país.
- belongToProvince
Dominio: Municipio
Rango: Provincia
Descripción: Indica que un municipio pertenece a una provincia.
- belongToMunicipality
Dominio: Población
Rango: Municipio
Descripción: Indica que una población pertenece a un municipio.

- composedOfAutonomy
Dominio: País
Rango: Autonomía
Descripción: Indica que un país está compuesto por autonomías.
- composedOfProvince
Dominio: Autonomía
Rango: Provincia
Descripción: Indica que una autonomía está compuesta por provincias.
- composedOfMunicipality
Dominio: Provincia
Rango: Municipio
Descripción: Indica que una provincia está compuesta por municipios.
- composedOfTown
Dominio: Municipio
Rango: Población
Descripción: Indica que un municipio está compuesto por poblaciones.

2. Relaciones Geográficas y de Referencia

Estas propiedades establecen vínculos con estándares internacionales y propiedades geográficas.

- nutsCode
Dominio: AdministrativeUnit
Rango: NutsResource
Descripción: Especifica el código NUTS de una unidad administrativa según Eurostat.
- isNutsCodeOf
Dominio: NutsResource
Rango: AdministrativeUnit
Descripción: Relación inversa que indica que un código NUTS pertenece a una unidad administrativa.

3. Relaciones Administrativas de Eurostat

Estas propiedades establecen vínculos entre regiones y subregiones.

- hasParentRegion
Dominio: Región
Rango: Región
Descripción: Relaciona una región con su región superior.
- hasSubRegion
Dominio: Región
Rango: Región
Descripción: Relaciona una región con sus subregiones.

4.6.2.3 Propiedades de Datos (Data Properties)

1. Identificadores y Códigos Administrativos

Identificadores y código administrativos nacionales e internacionales-

- **codigoINE**
Dominio: ObjetoGeográfico
Rango: Literal (String)
Descripción: Código asignado por el INE para identificar una unidad administrativa en España.
- **alertcCode**
Dominio: ObjetoGeográfico
Rango: Literal (String)
Descripción: Código ALERT-C utilizado para identificar zonas administrativas en mapas de tráfico.
- **ruianCode**
Dominio: ObjetoGeográfico
Rango: Literal (String)
Descripción: Código asignado por el sistema RÚIAN en la República Checa.

2. Propiedades de Información General

Propiedades de datos de información general de la ontología.

- **name**
Dominio: Región
Rango: Literal (String)
Descripción: Nombre oficial de la unidad administrativa.
- **level**
Dominio: Región
Rango: Decimal
Descripción: Nivel administrativo según la nomenclatura NUTS/LAU.

En la ilustración número 29 se puede observar el diagrama de propiedades de la ontología de unidades administrativas.

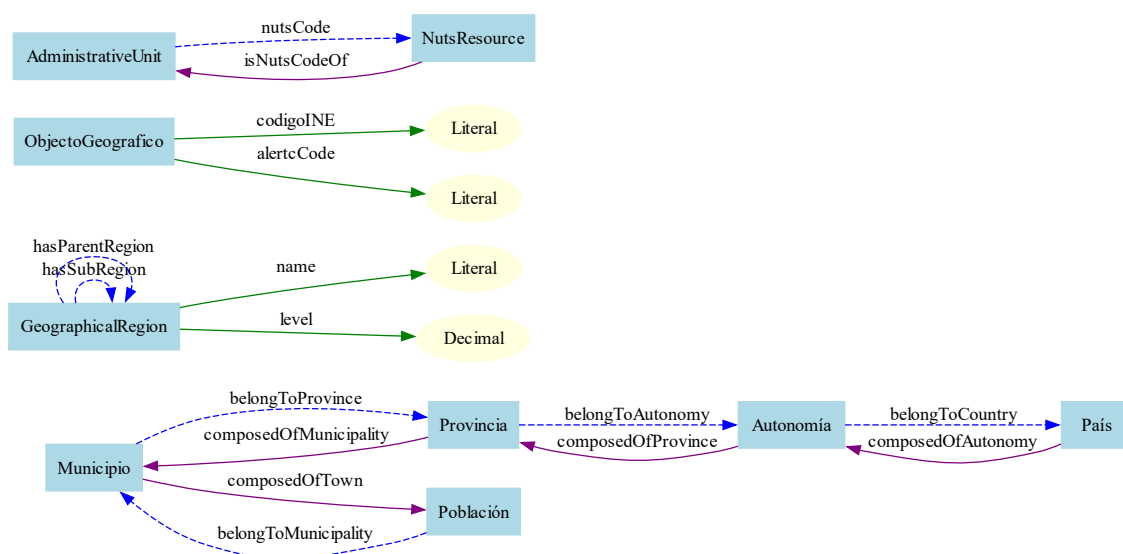


Ilustración 29: Propiedades de objeto fase de conceptualización Unidades Administrativas

4.6.2.4 Diagramas de Clases para la Conceptualización de la Ontología de Unidades Administrativas

Durante la conceptualización de la ontología de Unidades Administrativas, se desarrollaron diagramas de clases en UML para representar la estructura jerárquica y las relaciones entre las distintas entidades territoriales. Estos diagramas fueron esenciales para asegurar una representación precisa y comprensible del dominio administrativo.

Beneficios de los Diagramas de Clases:

- **Estructuración Jerárquica:** Se modelaron relaciones jerárquicas entre País, Autonomía, Provincia, Municipio y Población, asegurando una estructura clara y bien definida.
- **Identificación de Relaciones Clave:** Se incluyeron relaciones como `belongsToProvince`, `belongsToAutonomy`, `belongsToCountry`, `composedOfMunicipality` y `composedOfTown`, permitiendo una comprensión detallada de la estructura administrativa.
- **Validación de la Ontología:** Los diagramas permitieron identificar errores en la estructura, asegurando que todas las relaciones fueran completas y que no existieran redundancias o inconsistencias.
- **Comunicación y Comprensión:** La representación gráfica ayudó a comunicar la ontología a expertos en administración pública, desarrolladores y académicos.
- **Documentación Formal:** Los diagramas proporcionaron una documentación clara y visual del proceso de modelado conceptual, facilitando auditorías, revisiones y futuras actualizaciones.

Estructura Representada:

- **Clases Principales:** País, Autonomía, Provincia, Municipio, Población, `AdministrativeUnit`, `GeographicalRegion`, `ObjetoGeográfico`, y `NutsResource`.
- **Relaciones Jerárquicas:**
 - `belongsToProvince`: Relaciona un Municipio con su Provincia.
 - `belongsToAutonomy`: Conecta una Provincia con una Autonomía.
 - `belongsToCountry`: Relaciona una Autonomía con un País.
 - `composedOfMunicipality`: Asocia una Provincia con sus Municipios.
 - `composedOfTown`: Asocia un Municipio con sus Poblaciones.
- **Propiedades de Datos:** Se incluyeron identificadores y códigos relevantes como `codigoINE`, `alertcCode`, `name`, y `level`, proporcionando atributos clave para cada entidad administrativa.

Estos diagramas de clases aseguraron una representación completa y semánticamente coherente del dominio administrativo, cumpliendo con estándares internacionales como INSPIRE, Eurostat y LAU, y fueron esenciales para implementar la ontología en formatos como OWL.

En la ilustración 30 se muestra el diagrama de clases fase de conceptualización unidades administrativas.

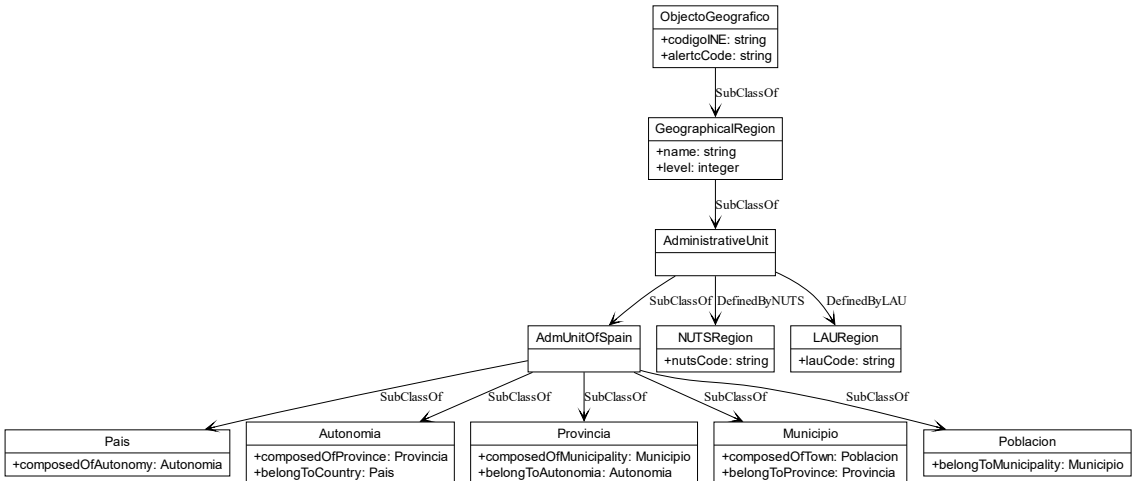


Ilustración 30: Diagrama de clases fase de conceptualización unidades administrativas.

4.6.3 Fase de Formalización: Ontología de Unidades Administrativas

En esta sección se documenta la formalización de la ontología de unidades administrativas siguiendo los principios de OWL, con especial atención a las clases, propiedades, restricciones y axiomas necesarios para capturar las relaciones y características del dominio.

4.6.3.1 Clases Principales y Jerarquía

La ontología incluye una estructura jerárquica que organiza las entidades administrativas en subclases. Cada nivel refleja una granularidad distinta dentro de las unidades administrativas.

4.6.3.2 Clases principales

La jerarquía de clases en la ontología de unidades administrativas se estructura para representar distintos niveles de granularidad en las entidades administrativas. La Tabla 24 detalla las clases principales y su descripción, proporcionando una visión general de cómo se organizan estas entidades en el modelo

Clase	Descripción
AdministrativeUnit	Clase genérica que agrupa las unidades administrativas de España y de otros países europeos.
AdmUnitOfSpain	Subclase que representa unidades administrativas de España, incluyendo provincias y municipios.
AdmUnitOfCzechia	Subclase que representa unidades administrativas de la República Checa, como regiones y distritos.

Tabla 22: Tabla clases principales fase formalización Unidades Administrativas

Subclases de España

La ontología desglosa las unidades administrativas de España en subclases que reflejan la estructura territorial del país. La Tabla 23 presenta las subclases específicas, junto con su descripción y las relaciones jerárquicas dentro del modelo.

Subclase	Superclase	Descripción
Pais	AdmUnitOfSpain	Representa el país (España).
Autonomia	AdmUnitOfSpain	Comunidades Autónomas o Ciudades Autónomas dentro de España.
Provincia	AdmUnitOfSpain	Provincias dentro de las comunidades autónomas de España.
Municipio	AdmUnitOfSpain	Municipios, la división administrativa más granular.
Poblacion	AdmUnitOfSpain	Localidades o poblaciones dentro de un municipio.

Tabla 23: Tabla subclases España fase formalización Unidades Administrativas

Subclases de República Checa

De manera similar a España, las unidades administrativas de la República Checa se representan en subclases adaptadas a su estructura territorial. La Tabla 24 resume estas subclases, incluyendo niveles como regiones, distritos y territorios catastrales.

Subclase	Superclase	Descripción
Stát	AdmUnitOfCzechia	Representa el país (República Checa).
Kraj	AdmUnitOfCzechia	Regiones (nivel NUTS 3).
Okres	AdmUnitOfCzechia	Distritos (nivel LAU 1).
Obec	AdmUnitOfCzechia	Municipios básicos (nivel LAU 2).
KatastrálníÚzemí	AdmUnitOfCzechia	Territorios catastrales dentro de los municipios.

Tabla 24: Tabla subclases Republica Checa fase formalización Unidades Administrativas

4.6.3.3 Propiedades de Objeto

Las propiedades de objeto en la ontología definen las relaciones jerárquicas y de dependencia entre las diferentes clases administrativas. La Tabla 25 describe estas propiedades, especificando los dominios, rangos y la naturaleza de las relaciones.

Propiedad	Dominio	Rango	Descripción
belongToCountry	Autonomia	País	Indica que una autonomía pertenece a un país.
belongToAutonomy	Provincia	Autonomia	Indica que una provincia pertenece a una autonomía.
belongToProvince	Municipio	Provincia	Relación de pertenencia entre municipios y provincias.
belongToMunicipality	Poblacion	Municipio	Define que una población pertenece a un municipio.
composedOfAutonomy	País	Autonomia	Relación inversa: Un país contiene autonomías.
composedOfProvince	Autonomia	Provincia	Relación inversa: Una autonomía contiene provincias.
composedOfMunicipality	Provincia	Municipio	Relación inversa: Una provincia contiene municipios.
composedOfTown	Municipio	Poblacion	Relación inversa: Un municipio contiene poblaciones.

Tabla 25: Tabla propiedades de objeto fase formalización Unidades Administrativas

4.6.3.4 Propiedades de Datos

La Tabla 26 detalla las propiedades de los datos.

Propiedad	Dominio	Rango	Descripción
codigoINE	AdministrativeUnit	xsd:string	Código del INE asignado a unidades administrativas.
name	AdministrativeUnit	xsd:string	Nombre de la unidad administrativa.
regionCode	AdministrativeUnit	xsd:string	Código regional según estándares NUTS o LAU.
level	AdministrativeUnit	xsd:integer	Nivel de la unidad administrativa en la jerarquía.
alertcCode	AdministrativeUnit	xsd:string	Código ALERT-C para identificación geográfica.

Tabla 26: Tabla propiedades de datos fase formalización Unidades Administrativas

4.6.3.5 Restricciones de Cardinalidad

Las restricciones de cardinalidad en las propiedades de objeto garantizan la consistencia semántica dentro del modelo, definiendo cuántas relaciones pueden o deben existir para cada clase. La Tabla 27 especifica estas restricciones, asegurando la coherencia en las relaciones jerárquicas y de dependencia.

Restricciones en Propiedades de Objeto

Propiedad	Dominio	Rango	Descripción	Cardinalidad
belongToAutonomy	Provincia	Autonomía	Indica que una provincia pertenece a una autonomía.	Exactamente 1
belongToCountry	Autonomía	País	Indica que una autonomía pertenece a un país.	Exactamente 1
belongToMunicipality	Población	Municipio	Indica que una población pertenece a un municipio.	Exactamente 1
belongToProvince	Municipio	Provincia	Indica que un municipio pertenece a una provincia.	Exactamente 1
composedOfAutonomy	País	Autonomía	Indica que un país está compuesto por autonomías.	Mínimo 1
composedOfMunicipality	Provincia	Municipio	Indica que una provincia está compuesta por municipios.	Mínimo 1
composedOfProvince	Autonomía	Provincia	Indica que una autonomía está compuesta por provincias.	Mínimo 1
composedOfTown	Municipio	Población	Indica que un municipio está compuesto por poblaciones.	Mínimo 1
nutsCode	AdministrativeUnit	NutsResource	Especifica el código NUTS de una unidad administrativa.	Exactamente 1

Tabla 27: Tabla restricciones de cardinalidad propiedades de objeto de Unidades Administrativas

4.6.3.6 Restricciones en Propiedades de Datos

De manera similar, las restricciones de cardinalidad en las propiedades de datos aseguran que los valores literales asociados a las clases cumplan con los requisitos del modelo. Ver Tabla 28.

Propiedad	Tipo	Dominio	Rango	Cardinalidad
codigoINE	Data Property	AdministrativeUnit	xsd:string	Exactamente 1
name	Data Property	AdministrativeUnit	xsd:string	Exactamente 1
regionCode	Data Property	AdministrativeUnit	xsd:string	Exactamente 1
level	Data Property	AdministrativeUnit	xsd:integer	Exactamente 1

Tabla 28: Tabla restricciones de cardinalidad propiedades de datos de Unidades Administrativas

4.6.3.7 Axiomas Generales

Disjunciones

Las clases relacionadas son disjuntas para evitar inconsistencias.

- Pais, Autonomia, Provincia, Municipio y Población son disjuntas.
- Stát, Kraj, Okres y Obec son disjuntas.

Equivalencias

- La clase AdministrativeUnit es equivalente a UnidadAdministrativa definida en el modelo BTN100.
- Las propiedades codigoINE y identifier son equivalentes para identificación.

Este nivel de formalización permite la representación precisa y semánticamente válida de las unidades administrativas, asegurando su consistencia y utilidad en aplicaciones de datos enlazados.

4.6.4 Fase de Construcción: Ontología de Unidades Administrativas

Durante la fase de construcción, se utilizó **Protégé**, un editor ontológico ampliamente reconocido, para modelar, implementar y validar la ontología. Protégé proporcionó un entorno visual e interactivo que facilitó las siguientes tareas:

- **Definición de Clases y Jerarquías:** Se creó la jerarquía de clases para las unidades administrativas (Municipio, Provincia, ComunidadAutonoma) dentro de Protégé, asegurando una estructura clara y consistente.
- **Especificación de Propiedades:** Se configuraron propiedades de datos (Data Properties) como CodigoINE y propiedades de objeto (Object Properties) como perteneceA, vinculando municipios, provincias y comunidades autónomas.
- **Importación de Vocabularios:** Se integró el vocabulario del BTN100 mediante la funcionalidad de importación de ontologías de Protégé, permitiendo reutilizar conceptos y relaciones predefinidos.

4.6.4.1 Integración con BTN100 del IGN

En España, las áreas administrativas como municipios, provincias y comunidades autónomas están codificadas utilizando el **Código INE** (proporcionado por el Instituto Nacional de Estadística, INE). Este código también es empleado por la Dirección General de Tráfico (DGT) [43] en el modelo DATEX II XML. Dado su amplio uso, se decidió vincular la ontología principal con la ontología definida por IGN (Instituto Geografico Nacional), llamada **BTN100** [103], disponible en formato Linked Data.

La ontología BTN100 ofrece una definición formal de las unidades administrativas en España, incluyendo:

- **Clases:** Definición jerárquica de entidades como Municipio, Provincia, y ComunidadAutonoma.
- **Propiedades:** Además del atributo Nombre, BTN100 utiliza la propiedad CodigoINE para identificar de manera única a cada unidad administrativa.

- **Geometría:** Cada unidad administrativa es una subclase de `geo_core:ObjetoGeografico`, que es equivalente a `geosparql:Feature` del vocabulario GeoSPARQL, permitiendo la referencia a través de la propiedad `geosparql:hasGeometry`.

La integración de BTN100 proporciona una representación geoespacial robusta de las unidades administrativas, como se muestra en las ilustraciones 31 y 32, donde se muestra la relación entre las unidades administrativas y las geometrías asociadas.

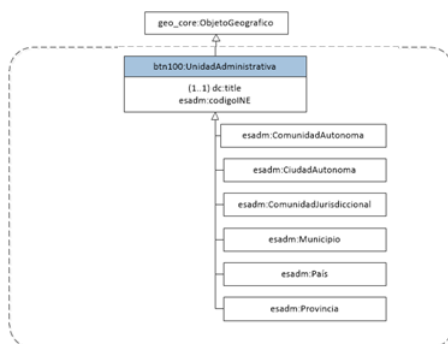


Ilustración 31: Clases jerárquicas y otras relaciones para `btn100:UnidadAdministrativa` (Unidad Administrativa) en BTN100. Fuente: [103]

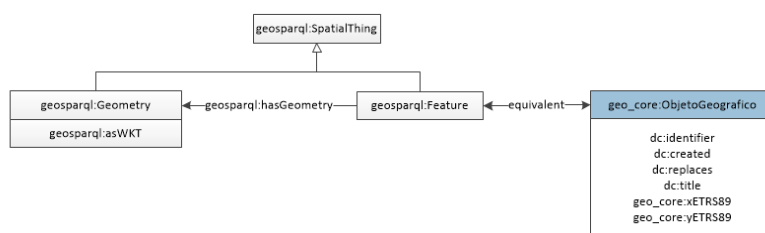


Ilustración 32: Equivalencia entre `geo_core:ObjetoGeografico` y `geosparql:Feature` en la ontología `geo_core`. Fuente: [103]

Por ejemplo, en BTN100, la instancia en Turtle RDF de la comunidad autónoma española llamada "Andalucía", cuyo código INE es "01" (propiedad `codigoINE`) se puede observar en el listado 4.

```

<https://datos.ign.es/data/recurso/btn100/comunidad-autonoma/andalucia>
  rdfs:label "RDF description of andalucia" ;
  foaf:primaryTopic <https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/andalucia> .

<https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/andalucia>
  rdf:type <http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#ComunidadAutonoma> ;
  dcterms:created "2014-06-17"^^xsd:date ;
  dcterms:identifier "andalucia" ;
  dcterms:title "Andalucía" ;
  <http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#codigoINE> "01" ;
  geosparql:hasGeometry <https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/andalucia/geometry> ;
  owl:sameAs <http://es.dbpedia.org/resource/Andalucía> , <http://datos.gob.es/recurso/sector-
publico/territorio/Autonomia/Andalucia> ,
  <https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/andalucia> .
    
```

Listado 4: Ejemplo de instancia en formato Turtle RDF de la comunidad autónoma Andalucía en BTN100. Fuente: [103]

Es interesante destacar que la instancia anterior tiene geometría (`geosparql:hasGeometry`) como se puede observar en la ilustración 33.

geometry at certdatos.ign.es https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/andalucia/geometry	
Property	Value
geosparql:asWKT	MULTIPOLYGON(((−3.0352856201352 35.937668144596,−3.0367145700213 35.938035.939099705216,−3.0368124900044 ... »more» ()
rdf:type	<http://www.opengis.net/ont/s#MultiPolygon>

Ilustración 33: Geometría Comunidad Autónoma Andalucía en BTN100.

En el modelo de la tesis, todos los subconceptos relacionados con la unidad administrativa de España (**AdmUnitOfSpain**) fueron definidos por <http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio> (como en BTN100).

En el listado 5 y 6 se muestran varios ejemplos de recursos relacionados con comunidades autónomas y provincias en BTN100.

```
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/andalucia
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/aragon
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/canarias
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/cantabria
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/castilla-la-mancha
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/castilla-y-leon
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/cataluna-catalunya
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/comunidad-de-madrid
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/comunidad-foral-de-navarra
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/comunitat-valenciana
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/extremadura
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/galicia
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/illes-balears
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/la-rioja
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/pais-vasco-euskadi
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/principado-de-asturias
https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/region-de-murcia
https://datos.ign.es/recurso/btn100/ciudad-autonoma/18 //CEUTA
https://datos.ign.es/recurso/btn100/ciudad-autonoma/19 //MELILLA
```

Listado 5: Ejemplo recursos de comunidades autónomas en BTN100. Fuente: [103]

De manera similar se definen las provincias, se muestran a continuación algunas definiciones de las provincias en España:

```
https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/a-coruna
https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/alacant-alicante
https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/albacete
https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/almeria
https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/araba-alava
https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/asturias
https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/avila
https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/badajoz
https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/barcelona
https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/bizkaia
https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/burgos
https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/caceres
...
```

Listado 6: Ejemplo recursos de comunidades autónomas en BTN100. Fuente: [103]

Y la unidad administrativa correspondiente de España (**AdmUnitOfSpain**) tiene la URI <https://datos.ign.es/def/btn100#UnidadAdministrativa>. Esta ontología, proporcionada por IGN, se ha vinculado directamente con el modelo de la tesis para garantizar la interoperabilidad y aprovechar la información geoespacial y administrativa preexistente.

El vínculo con BTN100 permite enriquecer nuestro modelo al incluir atributos clave como el **codigoINE** y la representación geoespacial a través de la propiedad **geosparql:hasGeometry**, asegurando una alineación semántica con estándares establecidos.

La ilustración 34 muestra la definición de **adu#AdmUnitOfSpain** en Protégé, donde se evidencia cómo el modelo integra y extiende la ontología BTN100 para satisfacer los requisitos específicos de la representación de unidades administrativas.

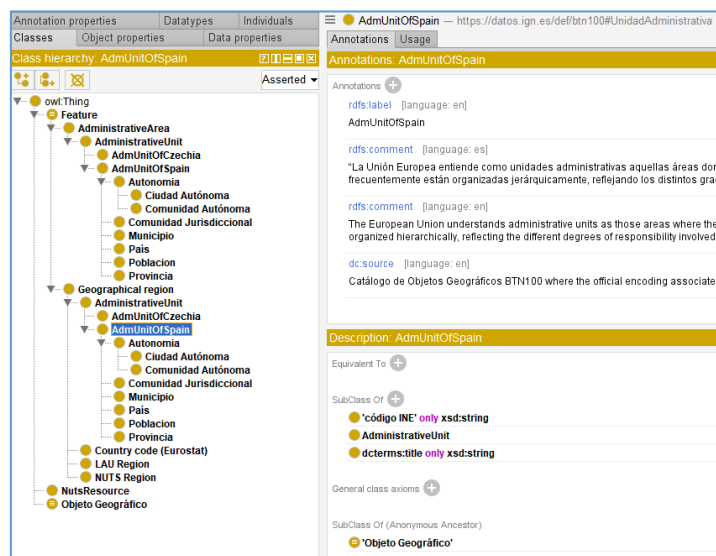


Ilustración 34: La Unidad Administrativa para España se define como btn100:UnidadAdministrativa en BTN100.

Sin embargo, teniendo en cuenta los requisitos de la tesis, se crearon nuevos conceptos y propiedades para complementar la ontología existente. Por ejemplo, se definió la clase "Población" (town) para representar núcleos de población, y se añadieron propiedades específicas que establecen relaciones jerárquicas entre las regiones administrativas. Estas propiedades incluyen "belongTo" (pertenece a), que conecta una entidad administrativa con su unidad superior, y su inversa, "composedOf" (compuesta por), que describe cómo las entidades más grandes están formadas por unidades más pequeñas.

Estas nuevas incorporaciones permiten modelar de manera precisa y detallada las relaciones entre comunidades autónomas, provincias, municipios y poblaciones, ampliando la capacidad del modelo para representar datos administrativos complejos. Además, estas propiedades fueron diseñadas con restricciones semánticas claras, como cardinalidades y dominios, para garantizar la consistencia del modelo y su correcta interoperabilidad con otras ontologías.

Por ejemplo, un municipio pertenece a una única provincia, pero una provincia puede estar compuesta por múltiples municipios, reflejando así la jerarquía administrativa real. Estas relaciones enriquecen el modelo al facilitar consultas complejas, como identificar todas las poblaciones dentro de una región o rastrear jerarquías administrativas desde el nivel local al nacional.

La ilustración 35 muestra las clases y relaciones de la unidad administrativa española en el editor Protege:

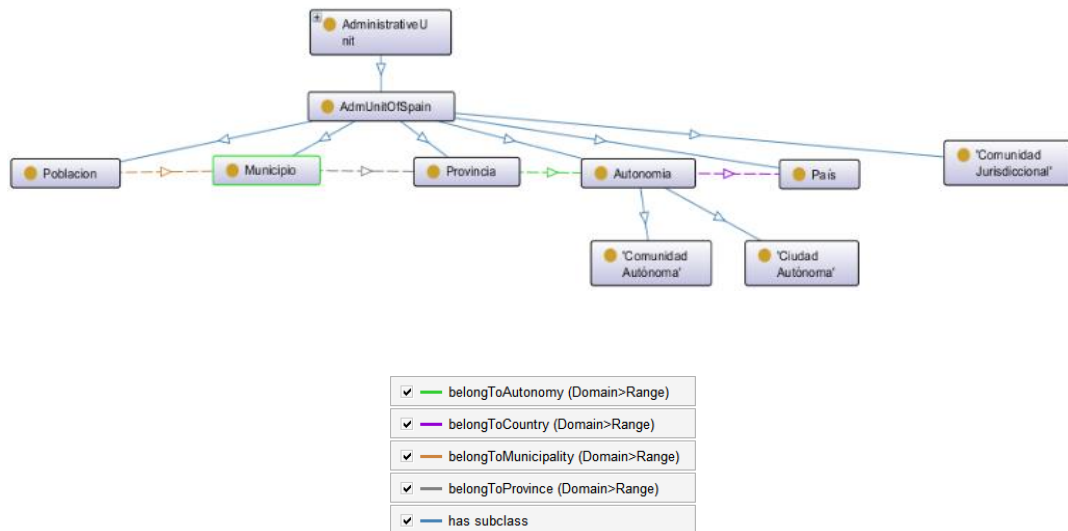


Ilustración 35: Jerarquía de las Unidades Administrativas de España

4.6.4.2 Eurostat Geographic. Reference And Management of Nomenclatures (Ramon)

Por otro lado, también se ha utilizado la ontología geográfica de Eurostat (**RAMON**) disponible en https://akswnc7.informatik.uni-leipzig.de/dstreitmatter/archivo/ec.europa.eu/eurostat--ramon--ontologies--geographic--rdf/2020.06.10-182634/eurostat--ramon--ontologies--geographic--rdf_type=parsed.owl. Esta ontología proporciona una estructura formal para representar entidades geográficas y sus relaciones, basada en el sistema de nomenclatura de Eurostat.

Además, se integró el repositorio de nomenclatura NUTS (Nomenclatura de Unidades Territoriales Estadísticas) accesible en <https://data.europa.eu/euodp/repository/ec/estat/nuts/nuts.rdf>. Este repositorio ofrece una representación estructurada de regiones europeas y subregiones de acuerdo con el estándar NUTS, ampliamente utilizado en análisis estadísticos y estudios geográficos.

Propósito y Usos en el Modelo

- **Interoperabilidad Europea:** La ontología RAMON y el repositorio NUTS permiten la integración de datos administrativos de España con estándares europeos, asegurando compatibilidad semántica y la posibilidad de realizar consultas transfronterizas.
- **Estructura Jerárquica:** RAMON y NUTS facilitan la representación de jerarquías geográficas, desde niveles nacionales hasta subdivisiones locales, lo que complementa el modelo administrativo desarrollado en esta tesis.
- **Vinculación Semántica:** Estas fuentes se vincularon directamente con las entidades administrativas definidas en nuestro modelo, utilizando propiedades como `dcterms:spatial` y `geo:hasGeometry` para garantizar una integración geoespacial precisa.

Las ilustraciones 36, 37 y 38 muestran ejemplos de cómo se representan las clases y propiedades en la ontología geográfica de RAMON. Estas incluyen:

- La definición de regiones y subregiones en Europa.
- Propiedades que establecen relaciones espaciales, como la pertenencia de una región a otra.

- Anotaciones semánticas que enriquecen los datos con metadatos adicionales, como códigos NUTS y descripciones textuales.

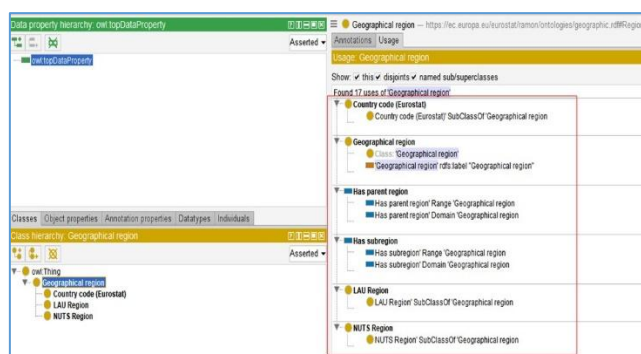


Ilustración 36: Definición geográfica en RAMON

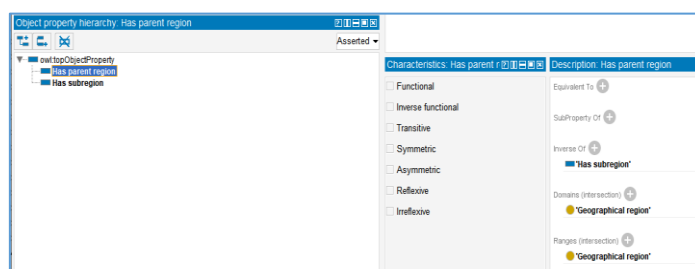


Ilustración 37: Definición de objetos de propiedad en RAMON

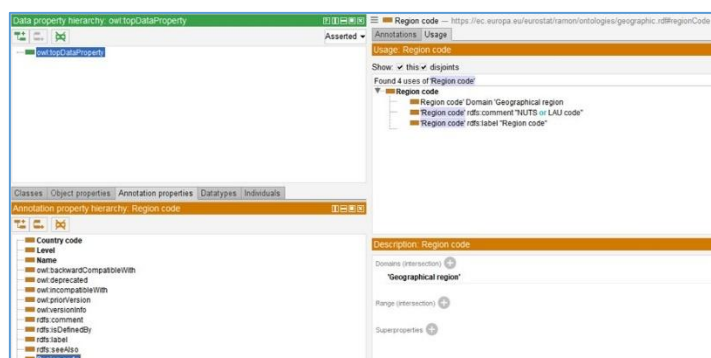


Ilustración 38: Definición de la anotación de Código de Región en RAMON

Las definiciones anteriores fueron incluidas en el modelo de la tesis (ver ilustración 39), donde se integran las relaciones y conceptos de la ontología geográfica de Eurostat (RAMON) y el repositorio NUTS. Esta ilustración muestra cómo las áreas administrativas, como las definidas por las regiones NUTS y las unidades administrativas locales (LAU), se vinculan jerárquica y semánticamente para representar las regiones geográficas.

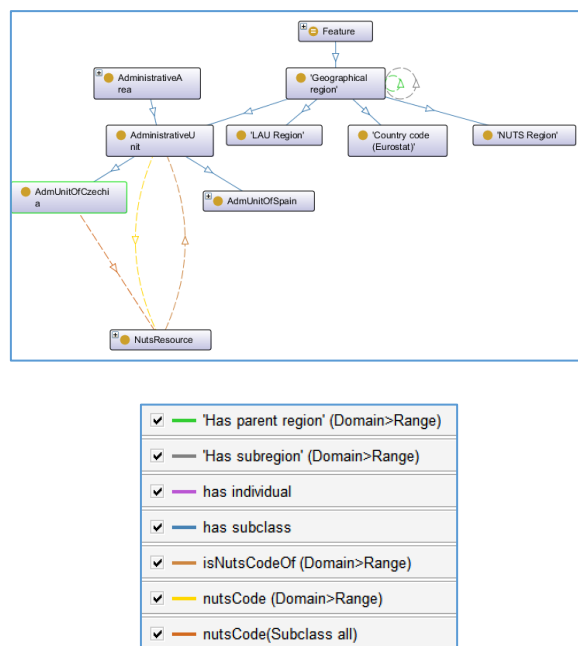


Ilustración 39: Definición de clases en el modelo de Unidades Administrativas incluyendo las definiciones de RAMON

En el modelo, la clase Geographical region actúa como un puente para conectar entidades como las Unidades Administrativas, las Regiones NUTS y los Códigos de País. Unidades administrativas específicas, como AdmUnitOfSpain y AdmUnitOfCzechia, son instancias que muestran cómo la ontología puede representar jerarquías administrativas específicas de cada país, manteniendo la compatibilidad con los estándares europeos.

Además, la entidad NutsResource enlaza estas unidades administrativas con repositorios externos, lo que permite la interoperabilidad y la posibilidad de enriquecer el modelo con metadatos adicionales o conjuntos de datos externos. Las relaciones entre las clases, representadas mediante propiedades dirigidas e inversas, establecen un marco coherente para realizar consultas espaciales y jerárquicas complejas.

Esta integración no solo garantiza la alineación con estándares internacionales, sino que también mejora la capacidad del modelo para proporcionar riqueza semántica y flexibilidad, haciéndolo adecuado para el análisis y la gestión de datos transfronterizos.

Ventajas de la Integración de RAMON y NUTS

1. Estándares Internacionales: Facilitan la interoperabilidad con sistemas europeos, permitiendo consultas y análisis multinivel en entornos heterogéneos.
2. Consistencia Semántica: Al usar vocabularios predefinidos, se asegura la calidad de los datos y se evita la redundancia.
3. Capacidades de Consulta: La combinación de RAMON y NUTS con el modelo desarrollado permite realizar consultas avanzadas, como identificar entidades administrativas dentro de una región NUTS específica.

En resumen, la integración de estas ontologías amplía significativamente el alcance y la utilidad del modelo, alineándolo con estándares internacionales y mejorando su capacidad para representar datos administrativos y geospaciales de manera efectiva.

4.6.4.3 Clases y propiedades OWL de la Ontología

En esta sección se describen las clases y propiedades definidas en la ontología para representar las unidades administrativas de España y sus relaciones jerárquicas. Los fragmentos RDF expuestos a continuación muestran cómo se han modelado las entidades y vínculos clave.

Clases de la Ontología

Clase ComunidadAutonoma:

La clase ComunidadAutonoma representa las comunidades autónomas, que son unidades administrativas principales en España. Su definición incluye:

- Una relación jerárquica como subclase de Autonomia.
- Etiquetas y descripciones en español e inglés para mejorar la interoperabilidad y la comprensión semántica.
- Definición en el vocabulario de datos abiertos del sector público en España.

A continuación, en el listado 7 se muestra la clase owl de comunidades autónomas de la ontología de unidades administrativas.

```
<owl:Class rdf:about="http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#ComunidadAutonoma">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#Autonomia"/>
  <rdfs:comment xml:lang="en">Autonomous Community to which a geographical phenomenon or an administrative entity belongs</rdfs:comment>
  <rdfs:isDefinedBy rdf:resource="http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio"/>
  <rdfs:label xml:lang="en">Autonomous Community</rdfs:label>
  <rdfs:label xml:lang="es">Comunidad Autónoma</rdfs:label>
</owl:Class>
```

Listado 7: Clase owl comunidad autónoma en la ontología de unidades administrativas.

Clase Provincia

La clase Provincia se utiliza para modelar las provincias, que son subdivisiones administrativas de las comunidades autónomas en España. Su definición incluye:

- Una relación jerárquica como subclase de UnidadAdministrativa, definida en el vocabulario BTN100 del IGN.
- Comentarios que explican su uso tanto en español como en inglés.
- Etiquetas en varios idiomas para garantizar la interoperabilidad.

En el listado 8 se muestra la clase owl de comunidades autónomas de la ontología de unidades administrativas.

```
<owl:Class rdf:about="http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#Provincia">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="https://datos.ign.es/def/btn100#UnidadAdministrativa"/>
  <rdfs:comment xml:lang="en">A province is a subnational entity of the State</rdfs:comment>
  <rdfs:comment xml:lang="en">In Spain, &lt; regionName &gt; in Tpeg Location or &lt; administrativeArea &gt; in Location ReferencePoint</rdfs:comment>
  <rdfs:comment xml:lang="es">Una provincia es una entidad subnacional del Estado</rdfs:comment>
  <rdfs:isDefinedBy rdf:resource="http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio"/>
  <rdfs:label xml:lang="en">Province</rdfs:label>
  <rdfs:label xml:lang="es">Provincia</rdfs:label>
</owl:Class>
```

Listado 8: Clase owl provincia en la ontología de unidades administrativas.

Propiedades de la Ontología

Propiedad belongToAutonomy:

Esta propiedad de objeto establece una relación jerárquica entre las provincias y las comunidades autónomas a las que pertenecen. Su definición incluye:

- El dominio Provincia y el rango Autonomia, lo que asegura que esta propiedad solo conecte entidades de estos tipos.
- Una propiedad inversa denominada composedOfProvince, que permite navegar la relación en ambas direcciones.
- Comentarios en inglés que explican su propósito, junto con etiquetas descriptivas.

En el listado 9 se muestra la propiedad owl belongToAutonomy de la ontología de unidades administrativas.

```
<owl:ObjectProperty
rdf:about="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/administrativeUnit#belongsToAutonomy">
  <owl:inverseOf
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/administrativeUnit#composedOfProvince"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-
publico/territorio#Provincia"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-
publico/territorio#Autonomia"/>
  <rdfs:comment xml:lang="en">To specify that a province belong to an autonomy</rdfs:comment>
  <rdfs:label xml:lang="en">belongsToAutonomy</rdfs:label>
</owl:ObjectProperty>
```

Listado 9: Propiedad owl belongToAutonomy en la ontología de unidades administrativas

4.6.4.4 Documentación de la Ontología con WIDOCO

Para garantizar la transparencia, reutilización e interoperabilidad de la ontología desarrollada, se ha generado su documentación utilizando la herramienta **WIDOCO** (Widely Used Ontology Documentation Tool). Esta herramienta, ampliamente utilizada en el ámbito de la Web Semántica, permite crear una documentación clara y estructurada para las ontologías, facilitando su comprensión tanto para humanos como para sistemas computacionales.

El uso de **WIDOCO** proporciona varios beneficios clave:

- **Estandarización:** La documentación generada sigue estándares reconocidos, asegurando que los metadatos y descripciones sean claros y accesibles.
- **Accesibilidad:** La información se presenta en un formato HTML navegable, lo que facilita su consulta por parte de diferentes audiencias.
- **Anotaciones Enriquecidas:** Incluye metadatos importantes, como la descripción de clases, propiedades y axiomas, así como ejemplos de uso.
- **Compatibilidad con Lenguajes y Herramientas:** WIDOCO permite generar documentación en múltiples idiomas, adaptándose a las necesidades del proyecto.

4.6.4.4.1 Acceso a la Documentación

La documentación generada con WIDOCO se encuentra disponible en el siguiente enlace:

https://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/

Esta página HTML incluye:

- Una descripción general de la ontología y su propósito.
- Las clases y propiedades definidas, junto con sus etiquetas y comentarios.

- Las relaciones entre las entidades del modelo.
- Ejemplos de uso práctico y enlaces a otros vocabularios o estándares relevantes.

4.6.4.4.2 Proceso de Generación

La documentación se creó ejecutando WIDOCO sobre la ontología en formato OWL, lo que permitió:

Extraer Anotaciones: Se utilizaron las anotaciones definidas en la ontología, como etiquetas (rdfs:label), comentarios (rdfs:comment) y metadatos (dc:creator, dc:description, etc.).

Generar Archivos HTML: WIDOCO generó automáticamente una página HTML estructurada, organizada en secciones como introducción, descripción de conceptos, axiomas y metadatos.

Publicación en la Web: El archivo HTML resultante se alojó en el dominio público, asegurando su accesibilidad para usuarios y desarrolladores interesados.

4.6.4.4.3 Importancia de la Documentación

La documentación es una parte fundamental del desarrollo de ontologías, ya que:

- **Facilita la Comprensión:** Los usuarios pueden entender fácilmente el alcance, las definiciones y las relaciones de la ontología.
- **Promueve la Reutilización:** Investigadores y desarrolladores pueden integrar la ontología en sus proyectos, reduciendo redundancias.
- **Aumenta la Transparencia:** Al proporcionar documentación accesible, se asegura que la ontología sea comprensible y verificable.

La documentación generada con WIDOCO complementa el trabajo realizado en la creación de la ontología, reforzando su utilidad y promoviendo su adopción en diferentes aplicaciones.

4.7 Diseño y construcción de una Ontología de Carreteras.

Para organizar de manera eficiente los conceptos relacionados con la red de carreteras y su representación en el contexto de datos semánticos, se ha desarrollado una ontología satélite denominada "**Roads**", siguiendo la metodología **Methontology**. Este enfoque modular facilita la reutilización, la interoperabilidad y la gestión del modelo semántico, permitiendo conectar esta ontología específica con otras ontologías relacionadas, como la de unidades administrativas diseñada en anteriores secciones y la de incidentes de tráfico, que será implementada en las siguientes secciones de la tesis.

La construcción de esta ontología se basa en dos fuentes principales: el **Catálogo Oficial de Carreteras de España (RCE)** y la ontología y recursos proporcionados por IGN a través de **BTN100**. Estas fuentes han sido integradas para garantizar una representación precisa y enriquecida de la red de carreteras en España.

Es importante destacar que, al igual que en el modelo XML de DATEX II, donde se emplean tipos de datos genéricos y específicos, en el desarrollo de esta ontología se optó por vincular la información de las carreteras con estas fuentes oficiales, en lugar de utilizar tipos de datos literales como cadenas de texto (String). Este enfoque permite aprovechar la información estructurada y valiosa disponible en el **Catálogo Oficial de Carreteras (RCE)**.

La ontología se centra en modelar entidades relacionadas con las carreteras, como sus características físicas, administrativas y jerárquicas, permitiendo establecer conexiones con otros dominios semánticos, como las unidades administrativas. Este diseño modular garantiza la alineación con estándares internacionales, facilita la interoperabilidad con sistemas externos y ofrece la flexibilidad necesaria para integrar nuevos conceptos o dominios relacionados con la gestión de infraestructuras viales.

4.7.1 Fase de Especificación

Propósito

El objetivo de la ontología de carreteras es modelar y representar la red de carreteras y sus tramos asociados de manera estructurada, interoperable y alineada con estándares de la Web Semántica. A través de esta representación, se busca facilitar el análisis, la interoperabilidad y el enriquecimiento de los datos relacionados con las infraestructuras viarias. La ontología incluye las siguientes clases y relaciones clave:

1. Conceptos principales:

- **CarreterasRCE:** Representa las carreteras incluidas en el Catálogo de Carreteras de la Red de Interés General del Estado Español. Se modela como una subclase de RoadNumber y es equivalente a la clase Carretera del vocabulario del BTN100 del IGN.
- **TramosRCE:** Representa los tramos de las carreteras dentro del mismo catálogo. Es una subclase de SpanishCatalogSections, describiendo segmentos específicos de las carreteras.

2. Propiedades:

- **carretera_COD_Tramos:** Relaciona una carretera específica con los tramos que la componen, estableciendo una conexión directa entre la clase CarreterasRCE y TramosRCE. Tiene una propiedad inversa, tramos_carretera_COD, que permite navegar desde los tramos hacia la carretera correspondiente.

Objetivos específicos de la ontología:

1. Modelar la estructura de la red de carreteras:

- Define una representación estandarizada de las carreteras, con atributos como nombres, códigos y pertenencia a la Red de Interés General del Estado Español.
- Relaciona cada carretera con sus tramos, permitiendo detallar características específicas de cada segmento, como su longitud, estado o restricciones.

2. Facilitar la integración e interoperabilidad de datos:

- Proporciona un marco que integra datos de múltiples fuentes, como catálogos nacionales, mapas geográficos y sistemas de información vial.
- Asegura la interoperabilidad semántica al adoptar vocabularios reconocidos como el BTN100 del IGN y estándares como RDF y OWL.

3. Incorporar una dimensión temporal:

- Modela cambios a lo largo del tiempo en las carreteras y sus tramos, como cierres temporales, ampliaciones o modificaciones en la infraestructura.
- Relaciona los tramos y carreteras con eventos temporales, como obras programadas o restricciones estacionales.

4. Garantizar el intercambio de datos estandarizados:

- Utiliza estándares de la Web Semántica, como OWL y RDF, para representar la información de manera compatible con otros sistemas.
- Asegura que los datos puedan ser consultados y reutilizados por distintas organizaciones mediante endpoints SPARQL o APIs.

Impacto y utilidad:

La ontología de carreteras, basada en clases como CarreterasRCE y TramosRCE, y relaciones como carretera_COD_Tramos, proporciona una base sólida para enriquecer la información sobre infraestructuras viarias. Su integración con otras ontologías, como la de incidentes de tráfico, mejora el análisis y la toma de decisiones, promoviendo la interoperabilidad y la reutilización de datos en sistemas de movilidad inteligente.

Alcance de la Ontología de Carreteras

La **ontología de Carreteras** tiene como objetivo central la representación detallada de la red vial, sus tramos, y su integración con las entidades administrativas, permitiendo un análisis estructurado, interoperable y alineado con los estándares europeos de la Web Semántica. Este modelo no solo abarca la clasificación, gestión y representación de las infraestructuras viales, sino que también establece un marco semántico para relacionarlas con las entidades administrativas de España, reutilizando para ello la **ontología de Unidades Administrativas** desarrollada en esta tesis.

Elementos de Carreteras y Clasificación

RoadsDefinitions: Clase generica para la definición de las carreteras

- **RoadNumber:** Utilizado en DATEX para identificar la carretera a través de un número de carretera designado por la autoridad vial.
- **SpanishCatalogSections:** Catálogo oficial de la Red de Carreteras del Estado (RCE)” a 31 de diciembre de cada año. La información se desglosa en diferentes listados generales y provinciales, con tramificación, longitudes por tipo de vía y puntos kilometricos.

Tipos de Carreteras

- **CarreterasRCE:** Representa carreteras de la Red de Carreteras del Estado (RCE), incluyendo aquellas registradas en el catálogo oficial del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible y alineadas con el modelo BTN100. Estas carreteras son el núcleo del modelo vial español.
- **Autopista/Autovía:** Carreteras con accesos controlados y carriles separados para cada sentido de circulación, diseñadas para tráfico de alta capacidad.
- **Carretera Convencional:** Vías no urbanas de doble sentido en una única calzada, sin separación física entre los carriles.
- **Multicarril:** Carreteras con múltiples carriles, pero que no cumplen con los estándares de autopistas o autovías.

Clasificación en el Modelo Checo (Czech Roads)

- **RoadCzech:** Concepto general de carretera en el modelo checo.
- **Dálnice (Autopista):** Vías de alta capacidad con acceso controlado y separación de sentidos.

- Silnice I., II., III. třídy: Clasificación checa que representa carreteras según su relevancia y uso (primarias, secundarias y terciarias).

Secciones y Tramos de Carreteras

Definición de Tramos

- **TramosRCE**: Representa secciones individuales de las carreteras españolas del catálogo oficial. Incluye información como inicio y fin del tramo, puntos kilométricos, y longitud.
- **SpanishCatalogSections**: Define el conjunto completo de tramos catalogados oficialmente.

Propiedades Asociadas a Tramos

- **tramos_ID**: Identificador único del tramo.
- **tramos_Inicio / tramos_Fin**: Especifica los puntos inicial y final de un tramo.
- **tramos_PK_Inicio / tramos_PK_Fin**: Puntos kilométricos asociados a los extremos del tramo.
- **tramos_Long / tramos_Longitud**: Longitud total del tramo en kilómetros.

Relación con Unidades Administrativas

La ontología de carreteras se beneficia de la reutilización de la **ontología de Unidades Administrativas**, también desarrollada en esta tesis, para establecer asociaciones geográficas y administrativas clave.

Asociaciones Geográficas

- **tramos_Provincia**: Relaciona cada tramo con una provincia específica.
- **tramos_CCAA**: Conecta los tramos con las Comunidades Autónomas o Ciudades Autónomas (Melilla y Ceuta).

Referencias de Localización

- **carretera_COD**: Código identificador de una carretera.
- **carretera_Denominacion**: Nombre oficial de la carretera.
- **carretera_Itinerario**: Itinerario definido de la carretera.

Estas relaciones permiten una integración directa con las clases de **País**, **Autonomía**, **Provincia**, **Municipio**, y **Población** de la ontología de unidades administrativas, asegurando que los datos viales estén perfectamente alineados con los territorios que atraviesan.

Clasificación por Tipo de Vía y Acceso

Tipo de Vía

- **tipo_Via_Tramos**: Clasificación según el tipo de carretera.
- **CarreteraNacional / CarreteraAutonómica**: Define la jurisdicción y el nivel de gestión (nacional o regional) de la carretera.

Tipo de Acceso

- **tipo_Acceso_Tramos:** Define si una vía es de acceso libre o si es de peaje.

Unidades de Medida y Aspectos Cuantitativos

Unidades de Longitud

- **KilometresAsFloatValue:** Representa la longitud en kilómetros mediante valores de punto flotante.
- **QUDT:QuantityValue:** Expresa la longitud de un tramo utilizando estándares de medición compatibles con QUDT (Quantities, Units, Dimensions and Types).

Compatibilidad y Aplicaciones

La ontología de carreteras ha sido diseñada para interoperar con sistemas de gestión de infraestructuras viales, servicios de navegación y sistemas de información geográfica, integrando datos procedentes de:

- Catálogos oficiales (como el catálogo de carreteras del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible de España).
- Modelos estandarizados europeos (BTN100 e INSPIRE).
- Estándares semánticos (RDF, OWL, GeoSPARQL y QUDT).

Además, esta ontología establece conexiones significativas con otras ontologías, como la de incidentes de tráfico, enriqueciendo el análisis y la toma de decisiones en sistemas de movilidad inteligente.

Impacto de la Reutilización de la Ontología de Unidades Administrativas

Al reutilizar la ontología de Unidades Administrativas, se logra:

1. **Interoperabilidad semántica:** Integración directa entre infraestructuras viarias y regiones administrativas, facilitando consultas avanzadas como:
 - Identificar tramos críticos dentro de una provincia específica.
 - Analizar densidad de incidentes en una Comunidad Autónoma.
2. **Consistencia de datos:** Reducción de redundancias al utilizar un modelo compartido para entidades administrativas, alineado con estándares como NUTS y LAU.
3. **Facilidad de gestión y mantenimiento:** Uso de clases comunes permite actualizar y extender la ontología sin duplicar esfuerzos.

Con este alcance ampliado, la **ontología de Carreteras** no solo es un modelo exhaustivo de la red vial española, sino que también es un marco interoperable que conecta infraestructuras viales con entidades administrativas y contextos geográficos europeos.

En la ilustración 40 se muestra el diagrama de conceptos de la fase de especificación de carreteras.

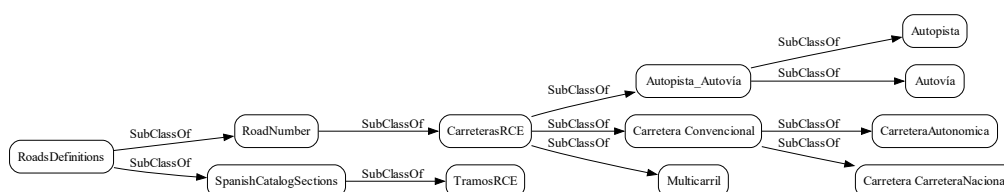


Ilustración 40: Diagrama de conceptos fase de especificación carreteras

4.7.2 Fase de Conceptualización: Ontología de Carreteras

La fase de conceptualización para la ontología **LOD SRTI DATEX II ROADS** se basó en los estándares y vocabularios RDF/OWL, con el objetivo de modelar y semantizar la infraestructura vial de manera interoperable. Esta ontología está orientada a representar las carreteras, sus tramos y sus características asociadas en el contexto europeo, tomando en cuenta el **Catálogo Oficial de Carreteras** del Estado Español y elementos del modelo checo de carreteras. También se incluye compatibilidad con vocabularios como GeoSPARQL, QUDT y estándares internacionales como BTN100.

4.7.2.1 Identificación de Clases y Conceptos

Clases Principales de Carreteras

1. **RoadNumber**: Identificador principal de las carreteras, utilizado en DATEX II y designado por la autoridad vial correspondiente.
 - Subclases:
 - **CarreterasRCE**: Carreteras de la Red de Carreteras del Estado (RCE) en España, siguiendo el catálogo oficial.
 - **RoadCzech**: Carreteras modeladas bajo el sistema vial checo.
 - Subclases:
 - **Dálnice**: Autopistas de alta capacidad con accesos controlados y separación de sentidos.
 - **Silnice (I., II., III.)**: Clasificación jerárquica de carreteras según su relevancia en el sistema vial checo.
2. **TramosRCE**: Representa los tramos específicos de las carreteras, vinculados a los elementos de la red vial.
 - Subclases:
 - **SpanishCatalogSections**: Secciones del catálogo oficial de carreteras españolas.
3. **Tipos de Carreteras**: Clasificación basada en su función y características físicas.
 - **Autopista_Autovia**: Carreteras con carriles separados y acceso restringido.
 - **Carretera_Convencional**: Carreteras no urbanas con doble sentido sin separación física.
 - **Multicarril**: Vías con múltiples carriles, pero sin cumplir los estándares de autopista.
4. **KilometresAsFloatValue**: Clase para modelar longitudes de los tramos en kilómetros, compatible con la ontología QUDT.

4.7.2.2 Propiedades de Objeto (Object Properties)

Relaciones Geográficas

1. **tramos_Provincia**
 - **Dominio**: TramosRCE
 - **Rango**: Provincia
 - **Descripción**: Relaciona un tramo con una provincia específica.
2. **tramos_CCAA**
 - **Dominio**: TramosRCE
 - **Rango**: Autonomía

- **Descripción:** Relaciona un tramo con una Comunidad Autónoma o Ciudad Autónoma (Melilla o Ceuta).

Relaciones Estructurales

3. **composedOfSections**

- **Dominio:** CarreterasRCE
- **Rango:** TramosRCE
- **Descripción:** Relaciona una carretera con los tramos que la componen.

4. **belongsToRoadNetwork**

- **Dominio:** CarreterasRCE
- **Rango:** RoadNetwork
- **Descripción:** Indica que una carretera pertenece a una red vial.

Clasificación y Accesibilidad

5. **tipo_Acceso_Tramos**

- **Dominio:** TramosRCE
- **Rango:** TipoAcceso
- **Descripción:** Define si un tramo tiene acceso libre o de peaje.

6. **tipo_Via_Tramos**

- **Dominio:** TramosRCE
- **Rango:** TipoVia
- **Descripción:** Clasifica el tipo de carretera según su funcionalidad.

4.7.2.3 Propiedades de Datos (Data Properties)

Identificadores y Atributos Generales

1. **tramos_ID**

- **Dominio:** TramosRCE
- **Rango:** Entero (Integer)
- **Descripción:** Identificador único del tramo.

2. **carretera_COD**

- **Dominio:** CarreterasRCE
- **Rango:** Literal (String)
- **Descripción:** Código oficial de la carretera.

3. **carretera_Denominacion**

- **Dominio:** CarreterasRCE
- **Rango:** Literal (String)
- **Descripción:** Nombre oficial de la carretera.

Atributos de Tramos

4. **tramos_Inicio / tramos_Fin**

- **Dominio:** TramosRCE
- **Rango:** Literal (String)
- **Descripción:** Especificación del inicio y fin del tramo.

5. **tramos_PK_Inicio / tramos_PK_Fin**

- **Dominio:** TramosRCE
- **Rango:** Decimal
- **Descripción:** Puntos kilométricos asociados al inicio y fin del tramo.

6. **tramos_Longitud**

- **Dominio:** TramosRCE
- **Rango:** <https://w3id.org/cdt/length>
- **Descripción:** Longitud del tramo, expresada en kilómetros.

4.7.2.4 Compatibilidad y Aplicaciones

La ontología está diseñada para interoperar con:

- **GeoSPARQL:** Para representar elementos geográficos asociados a las carreteras y tramos.
- **QUDT:** Para manejar unidades de medida y valores cuantitativos.
- **BTN100:** Datos del IGN sobre provincias y comunidades autónomas.
- **DATEX II:** Para la identificación y modelado de carreteras y tramos en proyectos europeos.

Además, se considera la relación con **Unidades Administrativas** reutilizando la ontología correspondiente, lo que permite vincular carreteras y tramos a regiones administrativas específicas.

En la ilustración 41 se muestra el diagrama de propiedades de la ontología de carreteras.

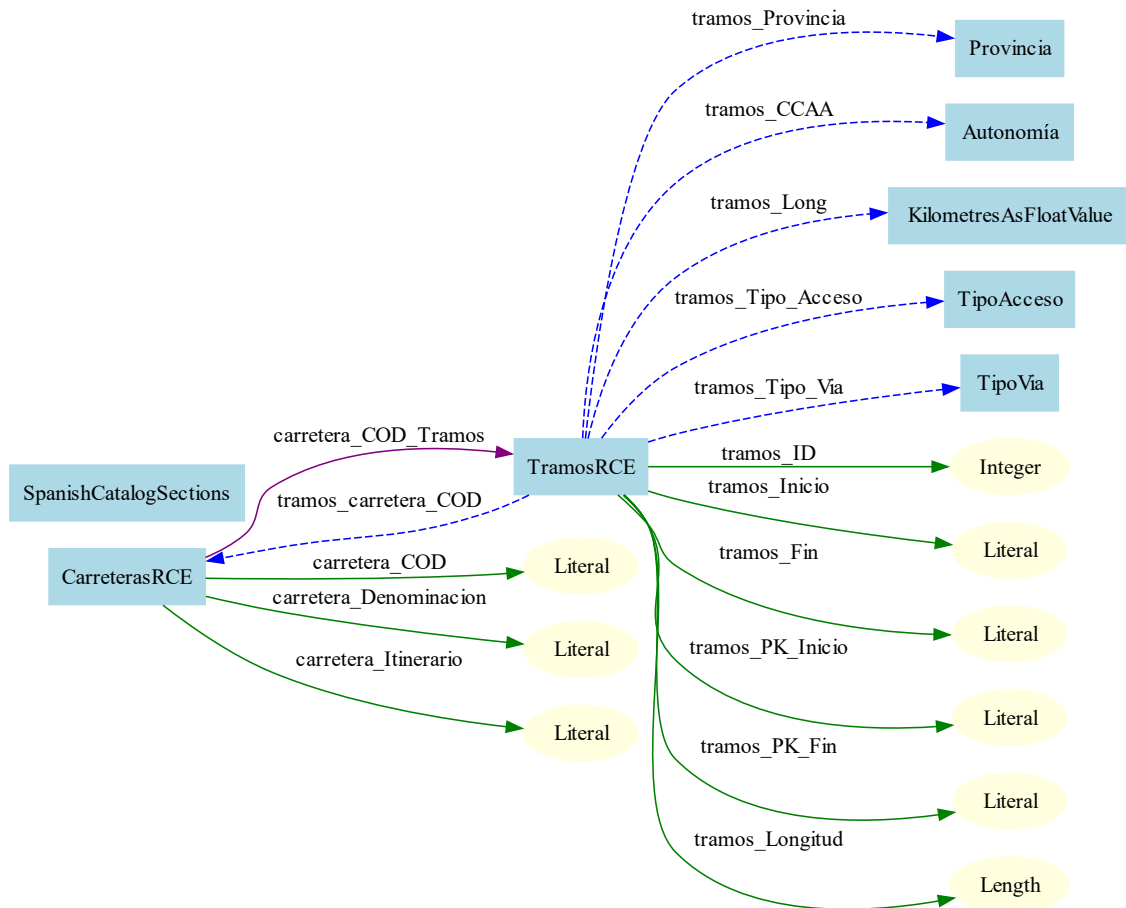


Ilustración 41: Propiedades de objeto y de datos de fase de conceptualización carreteras

4.7.2.5 Diagramas de Clases para la Conceptualización de la Ontología de Carreteras

Para representar la estructura y relaciones de la ontología de Carreteras, se desarrollaron diagramas de clases siguiendo el estándar UML. Estos diagramas permitieron visualizar de manera clara y estructurada los conceptos y relaciones definidos en la ontología, facilitando su comprensión y validación.

Beneficios de los Diagramas de Clases:

- **Visualización de Estructuras Jerárquicas:** Se identificaron las relaciones jerárquicas y las dependencias entre clases como CarreterasRCE, TramosRCE, Provincia, y Autonomía, asegurando que se modelen correctamente según el dominio vial.
- **Identificación de Relaciones y Propiedades:** Se representaron visualmente relaciones como tramos_Provincia, tramos_CCAA, tramos_Tipo_Via, y tramos_Tipo_Acceso, facilitando la definición de propiedades de objeto y datos.
- **Detección de Errores y Omisiones:** Los diagramas ayudaron a identificar posibles errores, propiedades faltantes o relaciones incorrectas antes de implementar la ontología en OWL.
- **Comunicación con Expertos en Transporte:** La representación visual permitió comunicar con claridad el modelo a expertos en gestión de carreteras, autoridades de transporte y desarrolladores.
- **Documentación Formal:** Los diagramas de clases proporcionaron una documentación visual del proceso de conceptualización, útil para auditorías y futuras extensiones de la ontología.

Estructura Representada:

- **Clases Principales:** CarreterasRCE, TramosRCE, KilometresAsFloatValue, Provincia, Autonomía.
- **Relaciones Jerárquicas:** Como tramos_carretera_COD, tramos_Long, tramos_Tipo_Via, tramos_Tipo_Acceso, y tramos_Provincia.
- **Propiedades de Datos:** Incluyendo identificadores como tramos_ID, carretera_COD, y atributos relacionados como tramos_PK_Inicio, tramos_PK_Fin, y tramos_Longitud.

Estos diagramas fueron fundamentales para garantizar que la ontología de Carreteras cumpliera con los estándares semánticos y de interoperabilidad requeridos para la gestión de infraestructuras viales en Europa.

En la ilustración 42 se muestra el diagrama de clases fase de conceptualización carreteras.

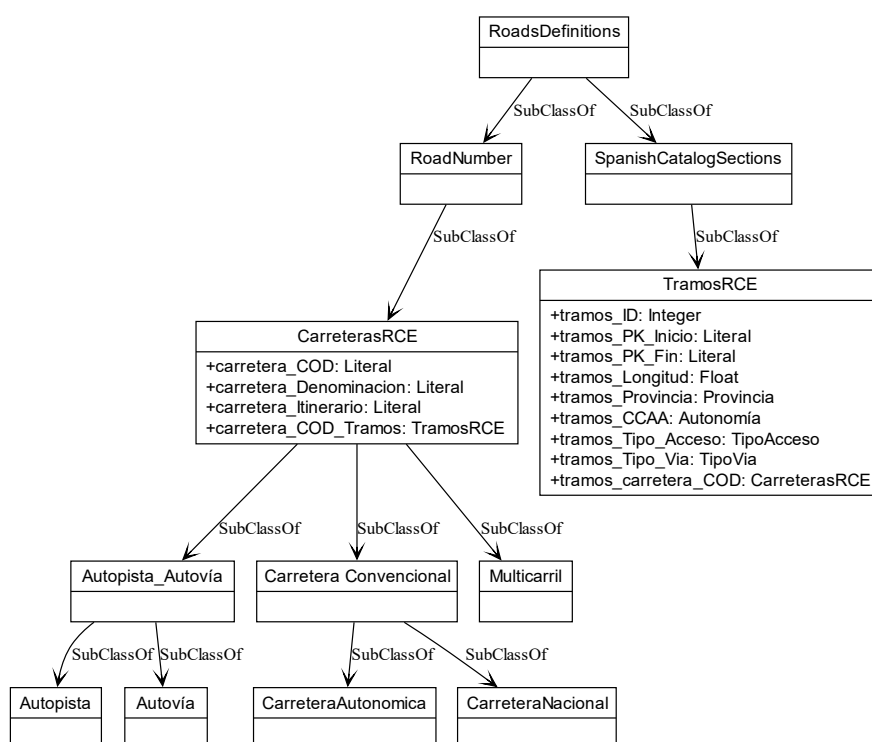


Ilustración 42: Diagrama de clases fase de conceptualización carreteras

4.7.3 Formalización de la Ontología de Carreteras

En esta sección se documenta la formalización de la ontología de carreteras basada en los principios de OWL, con especial atención a las clases, propiedades, restricciones y axiomas necesarios para capturar las relaciones y características del dominio vial. La ontología se centra en la representación de tramos de carreteras, sus características geográficas y administrativas, así como su clasificación según normativas nacionales e internacionales.

4.7.3.1 Clases Principales y Jerarquía

La ontología incluye una estructura jerárquica que organiza las entidades relacionadas con carreteras en clases y subclases. Esta clasificación refleja diferentes categorías y niveles de detalle dentro del sistema vial. Las clases principales junto con su descripción, superclase y comentarios se detalla en la tabla 29.

Clase	Descripción	Superclase	Comentarios
CarreterasRCE	Carreteras del catálogo nacional	RoadNumber	Carreteras del Estado español
TramosRCE	Tramos identificados del catálogo	SpanishCatalogSections	Divisiones de las carreteras
Autopista_Autovia	Autopistas y autovías sin diferenciación técnica	Carretera	Vías de alta capacidad
Carretera_Convencional	Carreteras no urbanas de doble sentido	Carretera	Vías secundarias fuera de poblado
Multicarril	Vías con múltiples carriles por sentido	Carretera	No clasificadas como autopistas
RoadCzech	Carreteras de la República Checa	RoadNumber, ObjetoGeografico	Carreteras nacionales y locales
Dálnice	Autopistas en la República Checa	RoadCzech	Sin acceso a propiedades colindantes
SpanishCatalogSections	Catálogo oficial de tramos del Estado	RoadsDefinitions	Tramos y longitudes registradas
KilometresAsFloatValue	Longitudes en kilómetros	QuantityValue	Unidad estándar para distancias
Účelová_Komunikace	Vías de acceso específico	RoadCzech	Acceso a propiedades privadas

Tabla 29: Tabla clases principales fase formalización carreteras

4.7.3.2 Relaciones entre Clases (Object Properties)

Esta sección describe las propiedades de objetos que definen las relaciones entre las clases en la ontología. Cada propiedad está asociada a un dominio y un rango bien definidos como se puede observar en la tabla 30.

Propiedad	Dominio	Rango	Descripción
tramos_CCAA	TramosRCE	Autonomia	Comunidad autónoma asociada al tramo
tramos_Provincia	TramosRCE	Provincia	Provincia del tramo
tramos_Longitud	TramosRCE	KilometresAsFloatValue	Longitud en kilómetros
tramos_carretera_COD	TramosRCE	CarreterasRCE	Código de la carretera
invUnit	QuantityValue	Unit	Unidad de medida asociada

Tabla 30: Tabla propiedades de objeto fase formalización carreteras

4.7.3.3 Propiedades de Datos (Datatype Properties)

Las propiedades de datos permiten representar atributos específicos relacionados con las entidades de la ontología. Ver tabla 31.

Propiedad	Dominio	Tipo de Datos	Descripción
carretera_COD	CarreterasRCE	xsd:string	Código único de la carretera
carretera_Denominacion	CarreterasRCE	xsd:string	Nombre oficial de la carretera
tramos_ID	TramosRCE	xsd:integer	Identificador único del tramo
tramos_PK_Inicio	TramosRCE	xsd:string	Punto kilométrico inicial

tramos_PK_Fin	TramosRCE	xsd:string	Punto kilométrico final
alertcCode	RoadCzech	xsd:string	Código de alerta de ubicación

Tabla 31: Tabla propiedades de datos fase formalización carreteras

4.7.3.4 Restricciones y Axiomas

Se definen restricciones cardinales, restricciones de dominio y axiomas de integridad para mantener la coherencia de los datos en la tabla 32.

Propiedad	Dominio	Rango	Descripción	Cardinalidad
carretera_COD	CarreterasRCE	IdentificadorCarretera	Identifica de manera única una carretera.	Exactamente 1
tramos_Longitud	TramosRCE	Longitud	Define la longitud de un tramo de carretera.	Exactamente 1
tramos_Provincia	TramosRCE	Provincia	Especifica al menos una provincia donde se ubica el tramo.	Mínimo 1
tramos_CCAA	TramosRCE	ComunidadAutonoma	Indica la comunidad autónoma a la que pertenece el tramo.	Exactamente 1

Tabla 32: Tabla de restricciones y axiomas fase formalización carreteras

4.7.3.5 Clases Disjuntas

Se especifican clases mutuamente excluyentes para evitar solapamientos indebidos:

- Autopista_Autovia es disjunta con Carretera_Convencional.

4.7.3.6 Axiomas Definidos

Axiomas de Equivalencia:

- CarreterasRCE es equivalente a <https://datos.ign.es/def/btn100#Carretera>.
- KilometresAsFloatValue es equivalente a `qudt:QuantityValue` con la unidad `qudt:unit/KiloM`.

4.7.4 Fase de Construcción: Ontología de Carreteras

Durante la fase de construcción de la ontología de carreteras, se utilizó **Protégé** como editor ontológico para modelar, implementar y validar los conceptos, relaciones y propiedades definidas. Este entorno permitió una representación estructurada y precisa de las entidades relacionadas con las infraestructuras viales, asegurando su alineación con estándares semánticos y geoespaciales.

4.7.4.1 Construcción de Clases y Jerarquías

La ontología de carreteras se construye como una extensión modular que reutiliza conceptos existentes del vocabulario **BTN100** de IGN. En este vocabulario ya está definida la clase `btn100:Carretera` (Road), que representa las carreteras y su URI es <https://datos.ign.es/def/btn100#Carretera>. Esta clase se modela como subclase de `geo_core:ObjetoGeografico`, equivalente a `geosparql:Feature` en el vocabulario **GeoSPARQL**. Gracias a esta estructura, las carreteras pueden incluir propiedades geoespaciales como `geosparql:hasGeometry`. Ver ilustración 43 y 44.

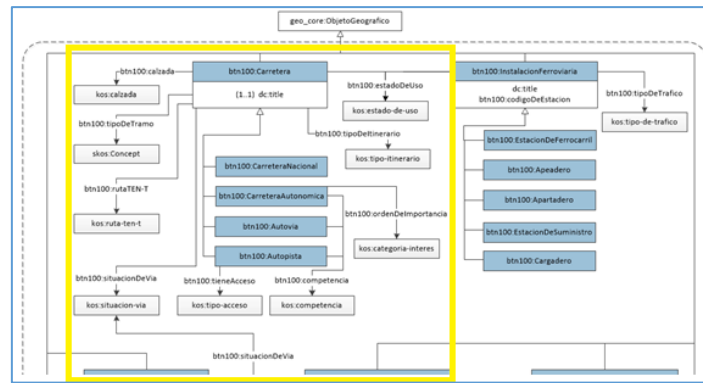


Ilustración 43: Clases jerárquicas y otras relaciones para carreteras en BTN100.. Fuente: [103]

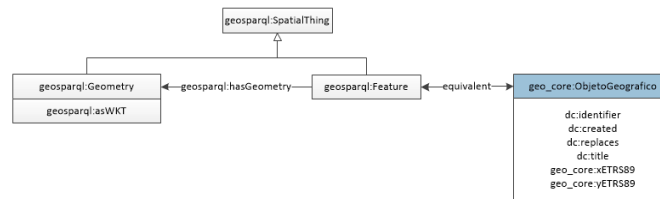


Ilustración 44: Equivalencia entre geo_core:ObjetoGeográfico y geosparql:Feature en la ontología geo_core. Fuente: [103]

Se muestra a continuación, en el listado 10 una instancia en formato turtle de la carretera M-30 en BTN100.

```
https://datos.ign.es/recurso/autovia/244 a btn100:Autovia ;
    dc:created                "2013-07-01"^^xsd:date ;
    dc:identifier              "244" ;
    dc:title                   "M-30" ;
    geosparql:hasGeometry      https://datos.ign.es/recurso/autovia/244/geometry ;
    btn100:calzada              https://datos.ign.es/kos/transportes/calzada/doble ;
    btn100:competencia         https://datos.ign.es/kos/transportes/competencia/local ;
    btn100:estadoDeUso         https://datos.ign.es/kos/transportes/estado-de-uso/en-uso ;
    btn100:rutaTENT-T          https://datos.ign.es/kos/transportes/ruta-ten-t/ruta-no-transeuropea ;
    btn100:situacionDeVia      https://datos.ign.es/kos/transportes/situacion-via/elevado ;
    btn100:tipoDeItinerario     https://datos.ign.es/kos/transportes/tipo-itinerario/no-itinerario-europeo ;
    btn100:tipoDeTramo         https://datos.ign.es/kos/transportes/tipo-tramo/interna .
```

Listado 10: Definición en formato turtle de la carretera M-30 en BTN100. Fuente: [103]

En el modelo de la tesis, roads:CarreterasRCE es una subclase de roads:RoadNumber y está vinculada con btn100:Carretera mediante la relación de equivalencia (ilustración 45):

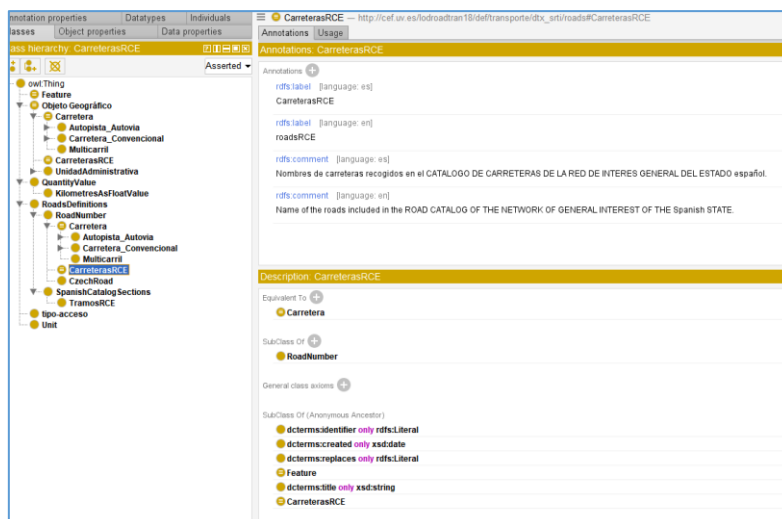


Ilustración 45: Definición de "roads:CarreterasRCE".

Las ilustraciones 46, 47 y 48 muestran las clases principales de la ontología de carreteras, destacando especialmente la clase "RoadNumber", que es fundamental para la representación de las carreteras dentro del modelo.

La ilustración 46: Vista general de las clases de la ontología de carreteras proporciona una visión general de las clases y sus relaciones dentro de la ontología de carreteras. Se observa cómo las carreteras (Carretera) están organizadas y vinculadas con otros conceptos clave, como las unidades administrativas (UnidadAdministrativa), los tramos específicos de carretera (TramosRCE), y las propiedades geoespaciales (geo:ObjetoGeografico). Además, incluye las subclases que especifican los diferentes tipos de carreteras, como "Autopista_Autovia", "Carretera_Convencional", y "Multicarril".

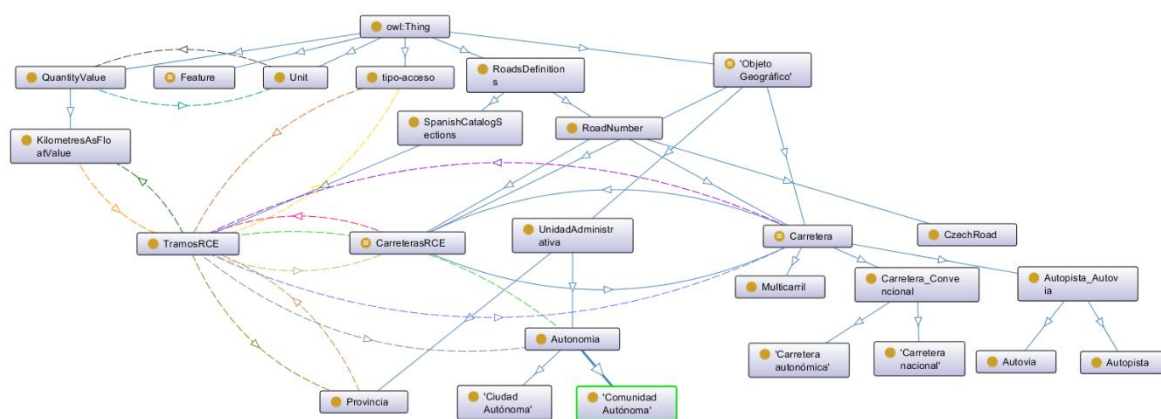


Ilustración 46: Vista general de las clases de la ontología de carreteras

La ilustración 47: Detalle del enfoque en la clase RoadNumber se detalla cómo RoadNumber está integrada dentro del modelo. La clase se define como una subclase de RoadsDefinitions y desempeña un papel clave al identificar las carreteras mediante un número designado por la autoridad vial. En el contexto de DATEX II, esta clase es utilizada para asociar cada carretera con su número único, asegurando que las entidades viales estén claramente identificadas.

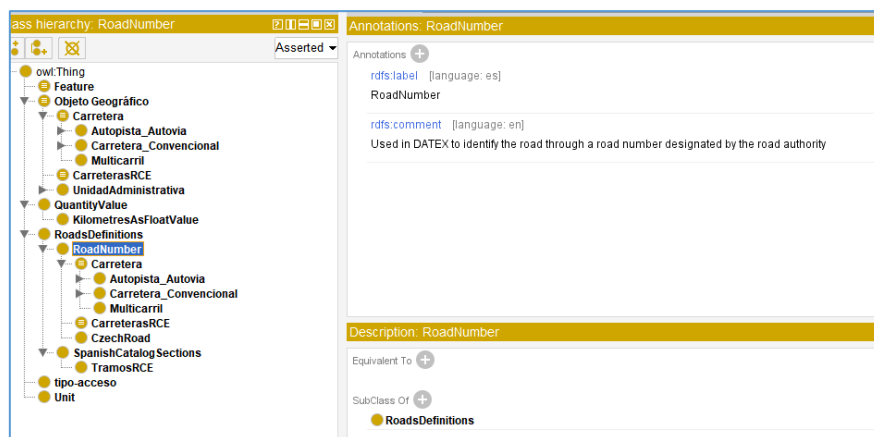


Ilustración 47: Vista general de las clases de la ontología de carreteras con enfoque en RoadNumber

La ilustración 48: Descripción de la clase RoadNumber en la ontología se presenta la descripción específica de RoadNumber dentro de Protégé. Se destacan los siguientes elementos:

- URI: La URI de la clase es http://cef.uv.es/loroadtran18/def/transporte/dtx_srti/roads#RoadNumber, lo que asegura su identificación única en el modelo.
- Superclase: RoadNumber es una subclase de RoadsDefinitions.
- Anotaciones: Se incluyen etiquetas descriptivas (rdfs:label) y comentarios (rdfs:comment) en inglés y español, como: "Usada en DATEX II para identificar la carretera a través de un número asignado por la autoridad vial".

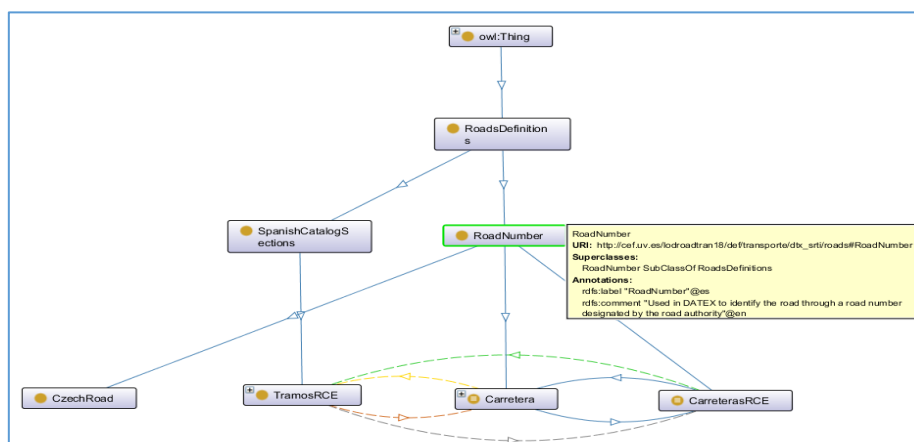


Ilustración 48: Clase dtx_srti:RoadNumber en la ontología de carreteras

4.7.4.2 Enriquecimiento Ontología BTN100

Como se ha comentado, la ontología de carreteras se basa en el vocabulario **BTN100** de IGN. Sin embargo, se han añadido nuevas clases y propiedades para satisfacer los requisitos específicos del modelo y enriquecer su capacidad de representación. Los conceptos relacionados con las carreteras que ya existían en BTN100, como btn100:Carretera, se reutilizan directamente en nuestro modelo, manteniendo las URIs originales definidas por BTN100. Este enfoque garantiza la interoperabilidad semántica y evita redundancias, promoviendo un diseño modular y eficiente.

Además, la ontología ha sido ampliada mediante la incorporación de nuevas clases que complementan las ya existentes en BTN100. Por ejemplo:

- **Multicarril** (MultiLanes): Representa carreteras con múltiples carriles, adaptándose a las características específicas de este tipo de infraestructura vial.
- **Carretera_Convencional** (Conventional Road): Se utiliza para modelar carreteras tradicionales que no están clasificadas como autovías o autopistas.
- **Autopista_Autovia** (Highways): Agrupa las autopistas y autovías, destacando su relevancia como infraestructuras clave dentro del sistema vial.

Estas nuevas clases amplían significativamente la capacidad del modelo para capturar las características específicas de las carreteras en España, permitiendo una representación más detallada y contextualizada.

La ilustración 49 muestra cómo se ha puesto especial énfasis en la clase Carretera y sus extensiones dentro del modelo. Esta representación destaca las relaciones jerárquicas y las nuevas entidades introducidas, que enriquecen el vocabulario original de BTN100.

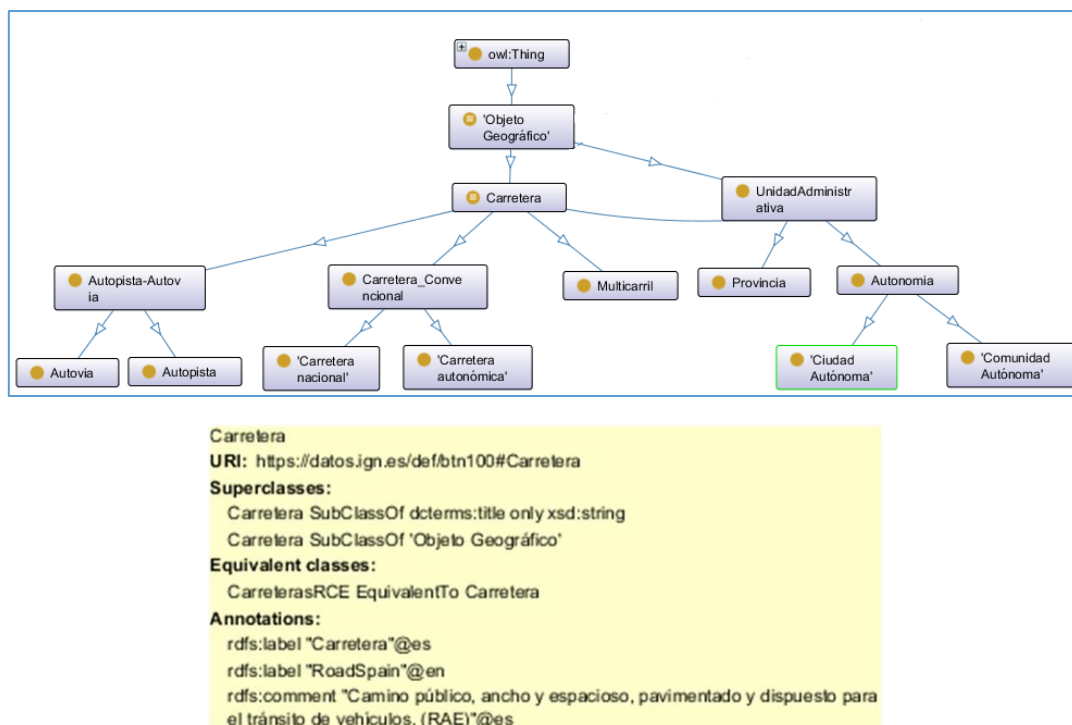


Ilustración 49: Definición de la clase carretera en la ontología de carreteras

Ventajas del Enfoque Adoptado

1. **Reutilización de Conceptos Existentes:** Al aprovechar los conceptos predefinidos en BTN100, el modelo garantiza la alineación con estándares reconocidos y facilita la interoperabilidad con otros sistemas basados en datos abiertos.
2. **Extensibilidad del Modelo:** La inclusión de nuevas clases y propiedades asegura que el modelo pueda evolucionar para adaptarse a futuros requisitos o dominios relacionados.
3. **Compatibilidad Semántica:** El uso de las URIs originales de BTN100 mantiene la coherencia semántica y permite integrar fácilmente los datos de BTN100 con los de otras ontologías o sistemas.
4. **Flexibilidad en Consultas:** Las nuevas clases introducidas permiten realizar consultas más específicas y contextualizadas en el modelo, como identificar tipos específicos de carreteras o analizar infraestructuras viales dentro de una región administrativa.

En conclusión, la ontología de carreteras no solo reutiliza y extiende los recursos de BTN100, sino que también establece una base sólida y flexible para modelar las infraestructuras viales en el contexto de datos semánticos y estándares internacionales.

4.7.4.3 Clases y Propiedades OWL de la Ontología de Carreteras

En esta sección se describen algunas de las las clases y propiedades definidas en la ontología para representar las carreteras en España, sus secciones y las relaciones jerárquicas que las conectan. Los fragmentos RDF presentados a continuación muestran cómo se han modelado estas entidades clave.

Clase CarreterasRCE

La clase CarreterasRCE representa las carreteras incluidas en el Catálogo de Carreteras de la Red de Interés General del Estado español (RCE). Su definición incluye:

- **Equivalencia con BTN100:** Se establece una relación de equivalencia con la clase btn100:Carretera de la ontología BTN100, reutilizando conceptos ya definidos.
- **Jerarquía:** Se define como subclase de RoadNumber, representando el número identificador único de las carreteras en el sistema.
- **Etiquetas y Comentarios:** Proporciona descripciones en español e inglés para facilitar la comprensión y la interoperabilidad semántica.

En el listado 11 se muestra la definición de la clase carretera de la ontología de carreteras en formato owl.

```
<owl:Class rdf:about="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/roads#CarreterasRCE">
  <owl:equivalentClass rdf:resource="https://datos.ign.es/def/btn100#Carretera"/>
  <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/roads#RoadNumber"/>
  <rdfs:comment xml:lang="en">Name of the roads included in the ROAD CATALOG OF THE NETWORK OF GENERAL
INTEREST OF THE Spanish STATE.</rdfs:comment>
  <rdfs:comment xml:lang="es">Nombres de carreteras recogidos en el CATALOGO DE CARRETERAS DE LA RED DE
INTERES GENERAL DEL ESTADO español.</rdfs:comment>
  <rdfs:label xml:lang="es">CarreterasRCE</rdfs:label>
  <rdfs:label xml:lang="en">roadsRCE</rdfs:label>
</owl:Class>
```

Listado 11: Clase owl de carretera en la ontología de carreteras.

Clase TramosRCE

La clase TramosRCE representa las secciones específicas de una carretera incluidas en el Catálogo de Carreteras de la Red de Interés General del Estado español (RCE). Su definición incluye:

- **Jerarquía:** Se define como subclase de SpanishCatalogSections, que agrupa las secciones de carreteras catalogadas.
- **Etiquetas y Comentarios:** Proporciona descripciones en español e inglés que explican su propósito y significado dentro del modelo.

El listado 12 muestra la propiedad TramosRCE en la ontología de carreteras.

```
<owl:Class rdf:about="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/roads#TramosRCE">
  <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti/roads#SpanishCatalogSections"/>
  <rdfs:comment xml:lang="en">Sections of a road included in the ROAD CATALOG OF THE NETWORK OF GENERAL
INTEREST OF THE Spanish STATE.</rdfs:comment>
  <rdfs:comment xml:lang="es">Tramos de una carretera recogidos en el CATALOGO DE CARRETERAS DE LA RED
DE INTERES GENERAL DEL ESTADO español.</rdfs:comment>
  <rdfs:label xml:lang="es">TramosRCE</rdfs:label>
```

```
<rdfs:label xml:lang="en">sectionsRCE</rdfs:label>
</owl:Class>
```

Listado 12: Propiedad owl TramosRCE en la ontología de carreteras

Propiedades de la Ontología

Propiedad carretera_COD_Tramos

La propiedad carretera_COD_Tramos establece una relación jerárquica entre las carreteras (CarreterasRCE) y sus secciones (TramosRCE). Su definición incluye:

- **Dominio y Rango:** El dominio es CarreterasRCE y el rango es TramosRCE, asegurando que esta propiedad conecte únicamente entidades relacionadas.
- **Propiedad Inversa:** Se define una propiedad inversa llamada tramos_carretera_COD, que permite navegar en ambas direcciones entre carreteras y secciones.
- **Etiquetas y Comentarios:** Proporciona descripciones en inglés que explican su propósito, junto con etiquetas descriptivas.

El listado 13 muestra la propiedad carretera_COD_Tramos en la ontología de carreteras.

```
<owl:ObjectProperty
rdf:about="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/roads#carretera_COD_Tramos">
  <owl:inverseOf
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/roads#tramos_carretera_COD" />
  <rdfs:domain
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/roads#CarreterasRCE"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/roads#TramosRCE"/>
  <rdfs:comment xml:lang="en">Road sections for the Code of the road</rdfs:comment>
  <rdfs:label xml:lang="en">carretera_COD_Tramos</rdfs:label>
</owl:ObjectProperty>
```

Listado 13: Propiedad owl carretera_COD_Tramos en la ontología de carreteras

4.7.4.4 Documentación de la Ontología con Widoco

Con el fin de garantizar la transparencia y fomentar la interoperabilidad y reutilización de la ontología de carreteras, se generó su documentación utilizando la herramienta **WIDOCO** como se hizo en la sección previa de la documentación de unidades administrativas. Esta herramienta es ampliamente reconocida en el ámbito de la Web Semántica por su capacidad para generar documentación estructurada y de alta calidad que satisface tanto las necesidades de usuarios humanos como de sistemas computacionales.

4.7.4.4.1 Acceso a la Documentación

La documentación completa de la ontología de carreteras está disponible públicamente en el siguiente enlace:

https://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/roads/

En esta página se puede encontrar:

- Una introducción al propósito de la ontología.
- Detalles sobre las clases y propiedades, incluidas sus anotaciones y relaciones semánticas.
- Ejemplos prácticos del uso de la ontología.
- Enlaces a vocabularios y recursos externos relevantes.

4.7.4.4.2 Proceso de Generación

La generación de esta documentación siguió un proceso metódico, aprovechando las capacidades automatizadas de WIDOCO:

1. **Extracción de Información:** Se tomaron las anotaciones y metadatos definidos en el archivo OWL de la ontología, incluyendo etiquetas y comentarios descriptivos.
2. **Estructuración HTML:** WIDOCO organizó la información en secciones clave, como introducción, axiomas, clases y propiedades, generando un archivo HTML listo para su publicación.
3. **Publicación en la Web:** El archivo resultante fue alojado en un dominio accesible públicamente para facilitar su consulta y adopción por parte de desarrolladores e investigadores.

4.7.4.4.3 Importancia de la Documentación

La documentación de la ontología no solo enriquece el modelo, sino que también asegura su comprensión, uso y reutilización en diferentes contextos. Entre sus principales beneficios se incluyen:

- **Facilitación de Consultas:** La información detallada sobre las entidades y relaciones permite a los usuarios comprender rápidamente cómo usar la ontología.
- **Fomento de la Adopción:** Investigadores y desarrolladores pueden integrar fácilmente la ontología en sus proyectos, promoviendo su difusión.
- **Soporte a la Interoperabilidad:** La disponibilidad de una documentación clara y detallada mejora la integración de la ontología con otras herramientas y sistemas basados en datos abiertos.

La documentación generada con WIDOCO complementa de manera esencial el desarrollo de la ontología de carreteras, fortaleciendo su impacto y promoviendo su uso en aplicaciones prácticas y académicas.

4.8 Diseño y construcción de una Ontología SRTI

La metodología **Methontology** se utilizó para guiar el desarrollo de la ontología SRTI como ya se hizo en las ontologías de unidades administrativas y carreteras. Se comienza con una fase detallada de especificación, en la que se definen claramente los requisitos y el propósito de las ontologías. A partir de esta especificación, se desarrolla un modelo conceptual que capture el conocimiento del dominio, y luego este modelo es formalizado utilizando lenguajes estándar como OWL. El proceso continúa con la implementación de las ontologías en herramientas especializadas, seguido de una evaluación exhaustiva para asegurar su coherencia y utilidad.

4.8.1 Fase de Especificación

Propósito

El objetivo de la ontología es modelar y representar datos de incidentes de tráfico de manera estandarizada, aprovechando tecnologías de la Web Semántica para proporcionar interoperabilidad y un enriquecimiento de los datos. En particular, la ontología permite:

1. **Integrar datos de distintas fuentes:**

- Informes de incidentes, datos meteorológicos, características de las carreteras y unidades administrativas.
 - Información temporal sobre la ocurrencia y duración de los eventos, como el inicio, el fin y la validez de los incidentes.
 - Esto facilita una visión unificada y detallada de los incidentes de tráfico, proporcionando un marco común para el intercambio de información entre distintas organizaciones y sistemas.
- 2. Realizar inferencias sobre los datos:**
- Deduce patrones y relaciones entre factores como las condiciones meteorológicas, el momento del día o la duración de los eventos, y su impacto en el tráfico.
 - Mediante el uso de razonadores, se pueden establecer relaciones temporales como eventos que coinciden, se solapan o suceden en una secuencia específica.
- 3. Incorporar la dimensión temporal de los incidentes:**
- Modela períodos de validez para cada incidente, permitiendo gestionar eventos recurrentes o de duración limitada.
 - Representa las relaciones entre los registros de incidentes y los intervalos de tiempo en los que ocurren o tienen efecto.
- 4. Compartir datos de manera eficiente:**
- Asegura que los datos sean compatibles con formatos estandarizados como RDF, incluyendo información temporal definida mediante la ontología W3C Time.
 - Esto permite que los sistemas interoperables interpreten y analicen correctamente la información temporal y contextual.

Alcance

La ontología cubre los siguientes conceptos en el alcance SRTI:

Conceptos relacionados con los incidentes de tráfico

- **SituationRecord:** Registra y describe eventos o condiciones que afectan el tráfico, tales como accidentes, condiciones ambientales o trabajos en carretera. Este concepto es fundamental para proporcionar una descripción estructurada de cualquier situación que impacte el flujo vehicular.
 - **OperatorAction:** Describe las acciones realizadas por operadores de tráfico para gestionar incidentes y mejorar la seguridad en la vía. Estas acciones pueden incluir la gestión del tráfico, asistencia en carretera, o la comunicación de mensajes a los usuarios.
 - **NetworkManagement:** Se refiere a las actividades relacionadas con la gestión de la red vial, asegurando un flujo constante y seguro.
 - **GeneralInstructionOrMessageToRoadUsers:** Mensajes o instrucciones generales dirigidos a los usuarios de la carretera para mejorar la seguridad o informar sobre condiciones relevantes.
 - **GeneralNetworkManagement:** Acciones generales para la optimización y gestión de la red vial, que incluyen la coordinación del tráfico y la reducción de congestiones.
 - **ReroutingManagement:** Gestión para redirigir el tráfico y evitar zonas afectadas por incidentes, mejorando así la eficiencia del flujo vehicular.

- RoadOrCarriagewayOrLaneManagement: Administración y control de carriles, carreteras o vías, incluyendo cierres temporales y desvíos.
- SpeedManagement: Control de la velocidad para garantizar la seguridad vial, especialmente en zonas donde ocurren incidentes o condiciones adversas.
- WinterDrivingManagement: Estrategias para gestionar la conducción durante condiciones invernales, incluyendo el control del hielo y la nieve en la carretera.
- RoadsideAssistance: Provisión de asistencia en carretera, como remolque o reparaciones para vehículos averiados.
- RoadWorks: Actividades relacionadas con trabajos en la carretera que impactan el tráfico.
 - ConstructionWorks: Trabajos de construcción que pueden incluir la edificación de nuevas infraestructuras o ampliaciones.
 - MaintenanceWorks: Trabajos de mantenimiento rutinario o reparaciones necesarias para garantizar la seguridad vial.
- TrafficElement: Concepto que representa los elementos y fenómenos que afectan el tráfico de manera directa, proporcionando detalles sobre la naturaleza del evento.
 - AbnormalTraffic: Describe situaciones anormales del tráfico, como congestiones inesperadas, debido a causas no habituales.
 - Accident: Define cualquier tipo de colisión o incidente que involucra vehículos, afectando el flujo normal del tráfico.
 - Activity: Actividades específicas que pueden afectar el tráfico, como eventos públicos o trabajos en la vía.
 - DisturbanceActivity: Actividades que causan alteraciones significativas al tráfico, como protestas o bloqueos.
 - PublicEvent: Eventos públicos, tales como conciertos o desfiles, que impactan considerablemente el flujo vehicular y requieren gestión especial del tráfico.
- Conditions: Describe las condiciones ambientales o de la carretera que afectan la seguridad y la operatividad de la vía.
 - PoorEnvironmentConditions: Condiciones adversas del entorno que reducen la seguridad del tráfico, como baja visibilidad o fuertes vientos.
 - RoadSurfaceConditions: Estado de la superficie de la carretera, que puede afectar la tracción y seguridad de los vehículos.
 - NonWeatherRelatedRoadConditions: Condiciones que afectan la carretera y no están relacionadas con el clima, como derrames de sustancias peligrosas o escombros.

- WeatherRelatedRoadConditions: Condiciones de la carretera relacionadas directamente con el clima, como hielo, nieve o acumulaciones de agua.
- Obstruction: Define cualquier obstrucción que impacta el flujo vehicular, proporcionando detalles sobre el tipo de obstrucción.
 - AnimalPresenceObstruction: Obstrucción causada por la presencia de animales en la vía, representando un riesgo tanto para los conductores como para los animales.
 - EnvironmentalObstruction: Obstrucción causada por factores naturales, como árboles caídos, derrumbes, o inundaciones.
 - GeneralObstruction: Obstrucciones generales que no encajan en otras categorías, pero que interfieren en el tráfico.
 - InfrastructureDamageObstruction: Obstrucción causada por daños en la infraestructura vial, como puentes o túneles dañados.
 - VehicleObstruction: Obstrucción causada por vehículos estacionados incorrectamente, averiados, o involucrados en incidentes.
- LocationReferencing: Describe cómo se refiere o especifica una ubicación dentro de la red vial, lo cual es esencial para la precisión en la gestión de incidentes.
 - PointLocation: Representa una ubicación puntual en la red vial, esencial para indicar el lugar exacto de un incidente.
 - LinearLocation: Describe una sección lineal de la carretera afectada por un incidente o una condición particular.
 - AreaLocation: Define un área específica dentro de la red vial, como una intersección o una zona de riesgo.
 - NetworkLocation: Describe una ubicación relacionada con una red más amplia, como un conjunto de carreteras interconectadas.
- LocationReference: Proporciona información específica sobre la localización de un evento o condición particular.
 - LocationName: Nombre específico de la ubicación, lo cual facilita la identificación por parte de los operadores y usuarios.
 - Direction: Dirección relativa (por ejemplo, norte, sur, este, oeste) que ayuda a definir la localización y orientación del evento.
- OpenLR (Open Location Referencing): Utilizado para representar ubicaciones en mapas de manera precisa y consistente, asegurando la interoperabilidad entre sistemas.
 - OpenLrPointLocationReference: Representación de un punto específico en un mapa, utilizado para referenciar ubicaciones precisas.
 - OpenLrLineLocationReference: Define una ubicación lineal mediante una secuencia de puntos de referencia, útil para identificar tramos de carreteras.
 - OpenLrAreaLocationReference: Representación de un área en un mapa, delimitada por una curva cerrada, utilizada para zonas de interés particular.

- AlertC: Un estándar de localización utilizado para definir puntos y áreas de la red vial afectada por eventos o condiciones.
 - AlertCLocation: Ubicación específica definida por una referencia a la tabla de ubicaciones ALERT-C.
 - AlertCArea: Área determinada mediante la referencia ALERT-C, utilizada para notificar zonas afectadas por un incidente.
 - AlertCLinear: Sección lineal de la carretera definida utilizando referencias ALERT-C, generalmente utilizada para identificar segmentos afectados.
 - AlertCPoint: Punto específico en la carretera definido por la referencia ALERT-C, proporcionando precisión en la comunicación de eventos.

Aspectos Temporales en la Ontología

En la fase de especificación, Validity y OverallPeriod permiten definir de manera precisa la validez temporal de los eventos, ya sea mediante intervalos continuos o discontinuos, considerando posibles excepciones o recurrencias. Estos conceptos aseguran una representación consistente y detallada de la temporalidad en el modelo.

- Validity: Especificación de la validez, ya sea de forma explícita o mediante una especificación de período de tiempo de validez que puede ser discontinua.
- OverallPeriod: Período general. Un período de validez continuo o discontinuo definido por los tiempos de inicio y fin que lo delimitan, y la posible intersección de períodos válidos (potencialmente recurrentes) con el complemento de los períodos de excepción (también potencialmente recurrentes).

Este alcance de especificación de la ontología DATEX II SRTI abarca una jerarquía estructurada de conceptos clave, cubriendo desde eventos específicos de tráfico y condiciones de la carretera hasta la gestión operativa y la asistencia en carretera. La inclusión de cada concepto asegura que la ontología refleje de manera precisa y exhaustiva las necesidades de información en el contexto de seguridad vial y respuesta a incidentes en tiempo real.

En la ilustración 50 se muestra el diagrama de conceptos fase de especificación de la ontología SRTI.



Ilustración 50: Diagrama de conceptos fase de especificación ontología SRTI

Requisitos de Competencia

A continuación, se detallan los Requisitos de Competencia de la ontología DATEX II SRTI en función de los conceptos especificados. Estos requisitos representan las capacidades que la ontología debe cumplir para proporcionar información sobre las situaciones de tráfico y la gestión de incidentes en tiempo real.

1. Identificación y Caracterización de Incidentes de Tráfico:

- La ontología debe permitir identificar y caracterizar cada incidente en la red vial, incluyendo detalles de:

- Tipo de incidente (por ejemplo, accidente, tráfico anormal, evento público).
 - Ubicación exacta del incidente y su impacto en el tráfico.
 - Número y tipo de vehículos involucrados, con detalles específicos de las Características del Vehículo.
 - Propósito: Facilita el análisis de patrones de incidentes y la identificación de áreas problemáticas.
2. Gestión de Red Operada por la Autoridad de Tráfico:
- La ontología debe permitir describir las acciones de gestión de la red realizadas por las autoridades en respuesta a un incidente. Esto incluye:
 - NetworkManagement: Instrucciones y mensajes generales emitidos a los usuarios de la carretera y la gestión de la red en situaciones de congestión o emergencia.
 - ReroutingManagement: Detalles sobre acciones de desvío y gestión de carriles para redirigir el tráfico.
 - SpeedManagement y WinterDrivingManagement: Medidas específicas para el control de velocidad y la conducción segura en condiciones invernales.
 - Propósito: Facilita una respuesta eficiente a incidentes mediante la optimización del flujo de tráfico y la mejora de la seguridad.
3. Documentación de Actividades en Carretera que Afectan el Tráfico:
- La ontología debe representar y documentar todas las actividades en carretera que afectan el tráfico, tales como:
 - RoadWorks: Obras de construcción y mantenimiento, con detalles de la duración, restricciones y desvíos recomendados.
 - PublicEvent: Eventos públicos con alto impacto en el tráfico y recomendaciones para rutas alternativas.
 - Propósito: Permite a los conductores planificar rutas alternativas y a las autoridades gestionar la movilidad durante eventos de alto impacto.
4. Condiciones de la Carretera y del Entorno:
- La ontología debe describir las condiciones de la carretera y el entorno, permitiendo que los sistemas identifiquen situaciones peligrosas para los usuarios. Esto incluye:
 - PoorEnvironmentConditions: Condiciones ambientales adversas como niebla o contaminación que afectan la visibilidad.
 - RoadSurfaceConditions: Estado de la superficie de la carretera, tanto por factores climáticos (hielo, nieve) como no climáticos (derrames, baches).
 - Propósito: Proporciona a los conductores información sobre riesgos específicos y permite a las autoridades tomar medidas preventivas.
5. Identificación de Obstrucciones en la Carretera:
- La ontología debe permitir registrar y clasificar diferentes tipos de obstrucciones en la vía, tales como:
 - AnimalPresenceObstruction: Presencia de animales en la vía, un factor de riesgo para los conductores.
 - EnvironmentalObstruction y InfrastructureDamageObstruction: Obstrucciones causadas por factores ambientales o daños en la infraestructura vial.
 - VehicleObstruction: Vehículos averiados o abandonados que bloquean el flujo de tráfico.
 - Propósito: Mejora la capacidad de respuesta de los conductores y las autoridades para mitigar riesgos y mantener la seguridad vial.
6. Registro y Comunicación de Información en Tiempo Real a Usuarios y Conductores:

- La ontología debe incluir un sistema de publicación de registros de situación (por ejemplo, SituationPublication) para distribuir información actualizada y accesible.
 - Los registros deben incluir detalles específicos de cada SituationRecord, como su severidad, ubicación y acciones recomendadas.
 - Propósito: Facilita la comunicación en tiempo real de la situación del tráfico, mejorando la toma de decisiones de los conductores y la coordinación con las autoridades.
7. Soporte para Asistencia en Carretera:
- La ontología debe representar las acciones de asistencia en carretera para atender a los conductores que requieran ayuda. Esto incluye:
 - RoadsideAssistance: Servicios de grúa, ayuda mecánica y asistencia en caso de incidentes en carretera.
 - Propósito: Garantiza que los conductores reciban asistencia oportuna y que las vías sean despejadas con rapidez, reduciendo el impacto en el tráfico.
8. Evaluación y Gestión de Tráfico Anormal:
- La ontología debe identificar y describir situaciones de tráfico anormal, como congestión o embotellamientos (por ejemplo, AbnormalTraffic).
 - Propósito: Permite a las autoridades reaccionar rápidamente ante aumentos inesperados en el volumen de tráfico y ayuda a los conductores a evitar áreas congestionadas.
9. Contextualización Geográfica de los Incidentes:
- La ontología debe relacionar cada incidente o evento con unidades administrativas y ubicaciones geográficas precisas.
 - Propósito: Facilita la recopilación de estadísticas a nivel local, regional y nacional, mejorando la toma de decisiones de las autoridades.
10. Registro de Instrucciones Generales y Mensajes a Conductores:
- La ontología debe permitir que los sistemas transmitan mensajes generales a los conductores, tales como advertencias o recomendaciones de seguridad (GeneralInstructionOrMessageToRoadUsers).
 - Propósito: Ayuda a mantener informados a los usuarios sobre condiciones de la carretera y medidas preventivas, fomentando una conducción segura.

Precisión en la Localización y Referencia de Ubicaciones:

La ontología debe proporcionar una descripción precisa de las ubicaciones relacionadas con incidentes, condiciones de la carretera y actividades en la vía. Esto incluye:

- **PointLocation:** Identificación puntual del lugar exacto donde ocurre un incidente, lo cual es crucial para la intervención inmediata.
- **LinearLocation:** Descripción de secciones lineales afectadas, tales como un tramo de carretera donde ha ocurrido un accidente o hay trabajos en curso.
- **AreaLocation:** Definición de áreas específicas que pueden estar afectadas por un incidente, como intersecciones o zonas de alto riesgo.
- **NetworkLocation:** Referencia a una red más amplia que puede verse afectada por un incidente, permitiendo la coordinación entre diferentes segmentos de la red vial.

- **Propósito:** Facilita la gestión precisa de las ubicaciones de los incidentes y asegura que la información geoespacial sea consistente y útil para los operadores y sistemas de navegación.

Resumen

Estos requisitos de competencia aseguran que la ontología DATEX II SRTI pueda cumplir con las demandas de información y respuesta en la gestión de incidentes de tráfico, garantizando la seguridad y optimización del flujo vial en tiempo real.

4.8.2 Fase de Conceptualización

En esta fase se identificaron todos los conceptos y se representaron en un modelo semiformal utilizando diagramas de clases, para capturar la estructura y relación entre los conceptos del dominio. La conceptualización es crucial para definir claramente los elementos del dominio y las relaciones entre ellos, lo cual facilita la posterior formalización en OWL.

4.8.2.1 Identificación de Clases y Conceptos

Identificación de Clases y Conceptos durante la fase de conceptualización de la ontología DATEX II SRTI, se identifican y clasifican los principales conceptos que describen los diferentes elementos y situaciones que pueden surgir en la red vial. Estas clases se organizan jerárquicamente para reflejar la complejidad y diversidad del dominio. A continuación, se detallan las clases más importantes identificadas.

Clases y conteptos relacionados con los incidentes de tráfico

- **SituationRecord:** Representa cualquier evento o condición que afecte el flujo vehicular, tales como accidentes, condiciones ambientales o trabajos en carretera. Esta clase actúa como el núcleo de la ontología y proporciona una estructura para organizar diferentes situaciones de tráfico.
 - **OperatorAction:** Agrupa las acciones tomadas por los operadores de tráfico para gestionar incidentes y mejorar la seguridad en la vía. Estas acciones incluyen:
 - **NetworkManagement:** Incluye actividades relacionadas con la gestión de la red vial, como el control del flujo de tráfico, la implementación de medidas para reducir la congestión y la coordinación de operaciones en la infraestructura vial. Puede implicar el ajuste de señales de tráfico, la coordinación de los carriles de flujo y la comunicación con los conductores a través de mensajes variables en las señales.
 - **ReroutingManagement:** Describe acciones para redirigir el tráfico, asegurando que los vehículos eviten áreas afectadas por incidentes o condiciones peligrosas. Implica el establecimiento de rutas alternativas, la comunicación eficaz con los conductores sobre las rutas recomendadas y el ajuste de los sistemas de navegación en tiempo real para mejorar la fluidez y minimizar la congestión.
 - **RoadsideAssistance:** Incluye todas las acciones para brindar asistencia a los conductores en carretera, como servicios de grúa, reparación de vehículos averiados o asistencia para retirar obstrucciones que afecten el flujo del

tráfico. Esto es crucial para restablecer la seguridad y minimizar el tiempo de interrupción de la vía.

- **SpeedManagement:** Implementación de medidas para gestionar la velocidad en la carretera, especialmente en zonas donde hay trabajos en curso, condiciones adversas o incidentes que requieren que los vehículos reduzcan su velocidad. Esto incluye el uso de límites de velocidad variables y otras intervenciones que mejoren la seguridad vial.
- **WinterDrivingManagement:** Acciones destinadas a gestionar las condiciones de conducción durante el invierno, tales como la aplicación de sal en las carreteras, el control del hielo y la nieve, y la comunicación de advertencias a los conductores sobre condiciones peligrosas.
- **TrafficElement:** Describe elementos que afectan el flujo vehicular de manera directa, incluyendo:
 - **Accident:** Representa un incidente que involucra colisiones entre vehículos, afectando el flujo normal del tráfico. Los accidentes pueden ser causados por diversos factores, como errores humanos, condiciones climáticas adversas o problemas mecánicos. La clase Accident permite registrar información como el número de vehículos involucrados, la gravedad del accidente y los heridos.
 - **AbnormalTraffic:** Describe situaciones de tráfico fuera de lo normal, como congestiones inesperadas o embotellamientos debidos a condiciones imprevistas, tales como eventos masivos o bloqueos. Identificar el tráfico anormal permite a los sistemas de gestión de tráfico implementar medidas para restablecer el flujo adecuado.
 - **PublicEvent:** Incluye eventos públicos, como conciertos, manifestaciones, desfiles o eventos deportivos, que pueden tener un impacto significativo en el flujo vehicular. Estos eventos requieren una planificación previa para gestionar el tráfico de manera eficaz y minimizar la interrupción.
 - **Activity:** Esta clase también incluye actividades específicas que pueden causar alteraciones en el tráfico, como disturbios o protestas, agrupadas en subclases como DisturbanceActivity.
- **Conditions:** Describe el estado de la carretera y el entorno que influye en la seguridad y operatividad de la vía.
 - **PoorEnvironmentConditions:** Describe situaciones ambientales adversas, como niebla, lluvia intensa, granizo o contaminación que pueden afectar la visibilidad y la seguridad vial. Incluye también vientos fuertes que pueden poner en riesgo la estabilidad de los vehículos, especialmente aquellos de gran tamaño.
 - **RoadSurfaceConditions:** Incluye detalles sobre la superficie de la carretera, tales como hielo, nieve, derrames de sustancias peligrosas, baches, o superficies resbaladizas. Estos factores pueden influir significativamente en la capacidad de los conductores para mantener el control de sus vehículos.
 - **NonWeatherRelatedRoadConditions:** Describe condiciones de la carretera que no están relacionadas con el clima, como derrames de aceite o

materiales peligrosos que pueden hacer que la superficie sea resbaladiza y peligrosa.

- WeatherRelatedRoadConditions: Se refiere a condiciones como acumulación de nieve, hielo o agua en la superficie de la carretera que resultan de condiciones climáticas y afectan la seguridad vehicular.
- Obstruction: Describe cualquier tipo de obstrucción que pueda dificultar el paso del tráfico. Esta clase se descompone en varias subcategorías para especificar los tipos de obstrucciones:
 - AnimalPresenceObstruction: Representa obstrucciones causadas por la presencia de animales en la vía, lo cual representa un riesgo significativo tanto para los conductores como para los animales. Estos eventos son comunes en zonas rurales y pueden causar accidentes si los conductores no están adecuadamente advertidos.
 - EnvironmentalObstruction: Incluye obstrucciones causadas por factores naturales, como árboles caídos, inundaciones, deslizamientos de tierra o acumulación de escombros tras tormentas.
 - GeneralObstruction: Se refiere a obstrucciones que no se pueden clasificar específicamente en otras subcategorías, pero que impactan de manera importante el flujo vehicular.
 - InfrastructureDamageObstruction: Obstrucción causada por daños a la infraestructura vial, tales como colapso de puentes, grietas en la carretera o fallos en la señalización, lo cual puede requerir cierres parciales o totales.
 - VehicleObstruction: Describe situaciones en las que un vehículo estacionado incorrectamente o averiado bloquea el flujo del tráfico. También puede incluir vehículos involucrados en accidentes y que no se han retirado de la vía.
- LocationReferencing: Define cómo se referencia una ubicación dentro de la red vial. Esto es esencial para comunicar de manera precisa la ubicación de un incidente o una condición particular.
 - PointLocation: Representa un punto específico en la carretera, esencial para identificar el lugar exacto de un incidente, como un choque o una obstrucción. Es útil para que los servicios de emergencia y los conductores conozcan con precisión dónde se encuentra el problema.
 - LinearLocation: Describe un tramo lineal de la carretera que puede estar afectado por un incidente o una condición particular. Es particularmente útil para describir situaciones que afectan una porción más extensa de la carretera, como un trabajo de mantenimiento o una acumulación de nieve.
 - AreaLocation: Define un área específica dentro de la red vial, como una intersección, una rotonda o una zona de riesgo elevada. La referencia por área permite gestionar mejor las condiciones que afectan zonas más amplias en lugar de un solo punto.
 - NetworkLocation: Representa una ubicación dentro de una red más amplia de carreteras interconectadas. Esto es especialmente útil en situaciones complejas

donde el incidente o la condición afecta múltiples tramos de diferentes carreteras que están relacionadas.

- **SingleRoadLinearLocation:** Describe un segmento específico de una única carretera, utilizado para identificar tramos específicos que requieren atención particular debido a incidentes o condiciones de la vía.
- **LocationReference:** Proporciona información específica sobre la localización de un evento o condición particular.
 - **Location:** Define una ubicación dentro de la red vial, desde un punto específico hasta áreas o redes completas.
 - **AreaLocation:** Define un área específica dentro de la red vial, como una intersección, una rotonda o una zona de riesgo.
 - **NetworkLocation:** Describe una ubicación relacionada con una red más amplia de carreteras interconectadas.
 - **LinearLocation:** Describe una sección lineal de la carretera afectada por un incidente o una condición particular.
 - **SingleRoadLinearLocation:** Ubicación lineal de una única carretera que está afectada.
 - **PointLocation:** Representa una ubicación puntual en la red vial.
- **OpenLR:** Utilizado para representar ubicaciones en mapas de manera precisa y consistente, asegurando la interoperabilidad entre sistemas.
 - **OpenLrPointLocationReference:** Representación de un punto específico en un mapa, utilizado para referenciar ubicaciones precisas.
 - **OpenLrLineLocationReference:** Define una ubicación lineal mediante una secuencia de puntos de referencia, útil para identificar tramos de carreteras.
 - **OpenLrAreaLocationReference:** Representación de un área en un mapa, delimitada por una curva cerrada, utilizada para zonas de interés particular.
- **AlertC:** Un estándar de localización utilizado para definir puntos y áreas de la red vial afectada por eventos o condiciones.
 - **AlertCLocation:** Ubicación específica definida por una referencia a la tabla de ubicaciones ALERT-C.
 - **AlertCArea:** Área determinada mediante la referencia ALERT-C, utilizada para notificar zonas afectadas por un incidente.
 - **AlertCLinear:** Sección lineal de la carretera definida utilizando referencias ALERT-C, generalmente utilizada para identificar segmentos afectados.
 - **AlertCPoint:** Punto específico en la carretera definido por la referencia ALERT-C, proporcionando precisión en la comunicación de eventos.

4.8.2.2 Clases y conteptos relacionados con los aspectos temporales de los incidentes de tráfico

En el diseño conceptual de la ontología DATEX II SRTI, se identifican aspectos clave relacionados con el tiempo. Dada la naturaleza dinámica del tráfico y las situaciones que lo afectan, las entidades temporales son cruciales para representar con precisión la validez, duración y temporalidad de los registros de situación. Esta sección detalla cómo se abordan estos aspectos en la conceptualización de la ontología, incluyendo la adaptación de conceptos del modelo DATEX II y la integración de la ontología **W3C Time** para enriquecer la semántica.

4.8.2.3 Aspectos Temporales en la Ontología

El modelo DATEX II, especialmente en su perfil SRTI, incluye elementos temporales esenciales para describir la validez de eventos relacionados con el tráfico. En el perfil mínimo de SRTI, estos elementos se simplifican, eliminando algunas propiedades y asociaciones del modelo completo. Sin embargo, en la ontología diseñada en la tesis se decide preservar elementos clave del modelo completo de DATEX II, con el objetivo de lograr una representación más rica y precisa de la temporalidad.

Entre los elementos destacados que se conceptualizaron se encuentran:

- **Períodos de validez (Validity):** Representan el intervalo de tiempo durante el cual un registro de situación es válido.
- **Propiedades de tiempo asociadas a eventos:** Incluyen propiedades como `situationRecordCreationTime`, `situationVersionTime` y `overallStartTime`.
- **Relaciones temporales:** Se establecieron relaciones para especificar inicios, finales y duraciones de los períodos temporales.

Este proceso de identificación y clasificación de conceptos garantiza que todos los aspectos relevantes del dominio del tráfico estén adecuadamente modelados, proporcionando una base sólida para la interoperabilidad, la gestión de eventos y la mejora continua de la seguridad vial en la red de carreteras.

4.8.2.4 Relaciones entre Conceptos (Object Properties) y (Data Properties)

En la fase de **Conceptualización** de la ontología, las **Object Properties** son esenciales para definir cómo los conceptos se interrelacionan y para modelar interacciones complejas dentro del dominio de los incidentes de tráfico y eventos en la carretera. Estas propiedades de objeto conectan las clases de la ontología, proporcionando un marco estructurado que añade semántica y profundidad al modelo. Asimismo, las **Data Properties** complementan la información al asignar atributos detallados a las instancias, capturando datos específicos de cada concepto.

A continuación, se describen algunas de las **Object Properties** más relevantes junto con las **Data Properties** asociadas a cada clase, destacando cómo se utilizan para enriquecer el modelo y describir las relaciones y características de los diferentes conceptos.

Clase: SituationRecord

Object Properties:

1. **hasSeverityEnum**

- *Range*: **SeverityEnum**
- **Valores posibles**:
 - high - Alto.
 - highest - Muy alto.
 - low - Bajo.
 - lowest - Muy bajo.
 - medium - Medio.
 - none - Ninguno.
 - unknown - Desconocido.
- 2. **hasProbabilityOfOccurrence**
 - *Range*: **ProbabilityOfOccurrenceEnum**
 - **Valores posibles**:
 - certain - Cierto.
 - improbable - Improbable.
 - probable - Probable.
 - riskOf - Riesgo de ocurrencia.
- 3. **confidentialityOverride**
 - *Range*: **ConfidentialityValueEnum**
 - **Valores posibles**:
 - internalUse - Uso interno.
 - noRestriction - Sin restricción.
 - restrictedToAuthorities - Restringido a autoridades.
 - restrictedToAuthoritiesAndTrafficOperators - Restringido a autoridades y operadores de tráfico.
 - restrictedToAuthoritiesTrafficOperatorsAndPublishers - Restringido a autoridades, operadores y proveedores.
 - restrictedToAuthoritiesTrafficOperatorsAndVms - Restringido a autoridades, operadores, proveedores y señales de tráfico.
- 4. **hasSubject**
 - *Range*: **Subjects**
 - Define el tipo de situación, como “Accidente” o “Evento público”, facilitando la clasificación bajo tipos específicos.
- 5. **hasValidity**
 - *Range*: **Validity**
 - Establece la duración del incidente, vinculando a una entidad de validez que incluye propiedades como fecha de inicio y fin.
- 6. **hasImpact**
 - *Range*: **Impact**
 - Describe el impacto en el tráfico. Ejemplo: un incidente que reduce la velocidad en un tramo.
- 7. **hasImpactOnOppositeDirection**
 - *Range*: **Mobility**
 - Indica si el impacto afecta la dirección opuesta (por ejemplo, un accidente que bloquea ambos carriles).
- 8. **hasLocationReference**
 - *Range*: **LocationReference**
 - Relaciona el incidente con un punto o área geográfica específica, como coordenadas GPS.
- 9. **hasMobility**
 - *Range*: **Mobility**
 - Describe la alteración en la movilidad, como una reducción en la capacidad de la vía.

10. **hasSource**

- *Range: Source*
- Identifica la fuente de información, vinculándola con datos sobre su fiabilidad.

Data Properties:

1. **situationRecordCreationReference**

- *Tipo: xsd*
- Identificador único del registro, permitiendo un seguimiento específico del incidente.

2. **situationRecordCreationTime**

- *Tipo: xsd*
- Fecha y hora de creación del registro.

3. **situationRecordFirstSupplierVersionTime**

- *Tipo: xsd*
- Fecha y hora de la primera versión del registro.

4. **situationRecordObservationTime**

- *Tipo: xsd*
- Hora exacta de observación del evento.

5. **situationRecordVersion**

- *Tipo: xsd*
- Versión del registro, permitiendo un control de cambios.

6. **situationRecordVersionTime**

- *Tipo: xsd*
- Hora de la última versión del registro.

7. **safetyRelatedMessage**

- *Tipo: xsd*
- Mensaje relacionado con la seguridad, usado para advertencias de seguridad adicionales.

En la ilustración 51 se muestra el diagrama de propiedades de la clase SituationRecord en la fase de conceptualización ontología SRTI.

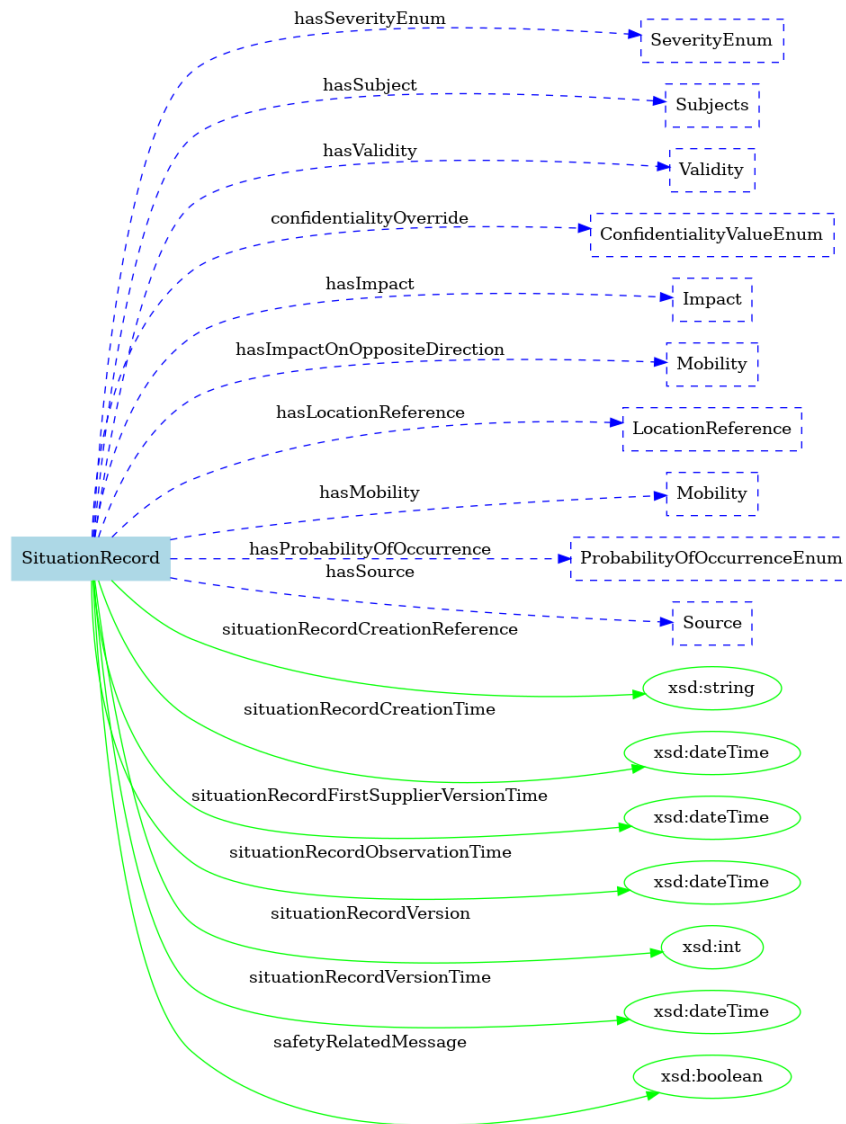


Ilustración 51: Diagrama de propiedades de la clase SituationRecord en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: RoadWorks

Object Properties:

- **hasRoadworksDuration** --> **Range: RoadworksDurationEnum**
Valores posibles:
 - longTerm - Largo plazo.
 - mediumTerm - Mediano plazo.
 - shortTerm - Corto plazo.
- **hasRoadworksScaleEnum** --> **Range: RoadworksScaleEnum**
Valores posibles:
 - mayor - Alta interrupción en el tráfico.
 - mediumRoadworksScale - Interrupción moderada.
 - minor - Baja interrupción.

Data Properties:

- publicTransportAlternative --> *MultilingualString*
- roadworksIdentifier --> *xsd*
- underTraffic --> *xsd*
- urgentRoadworks --> *xsd*

En la ilustración 52 se muestra el diagrama de propiedades de la clase RoadWorks en la fase de conceptualización ontología SRTI.

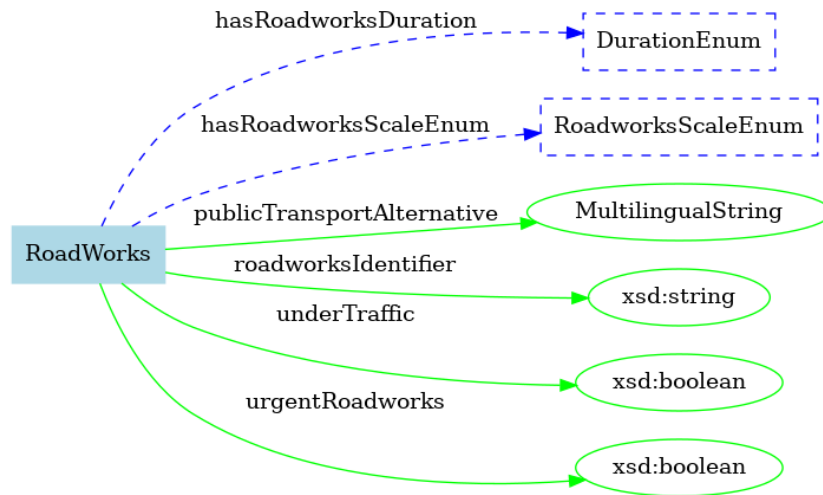


Ilustración 52: Diagrama de propiedades de la clase RoadWorks en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: ConstructionWorks

Object Properties:

- hasConstructionWorkType --> *Range: ConstructionWorkTypeEnum*
Valores posibles:
 - bridgeConstruction - Construcción de puentes.
 - roadExpansion - Ampliación de carreteras.

En la ilustración 53 se muestra el diagrama de propiedades de la clase ConstructionWorks en la fase de conceptualización ontología SRTI.

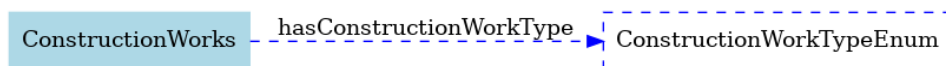


Ilustración 53: Diagrama de propiedades de la clase ConstructionWorks en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: MaintenanceWorks

Object Properties:

- hasRoadMaintenanceType --> *Range: RoadMaintenanceTypeEnum*
Valores posibles:
 - maintenanceWork - Mantenimiento de infraestructura.
 - repairWork - Trabajo de reparación.

- resurfacingWork - Repavimentación.
- roadMarkingWork - Pintura de marcas viales.
- snowploughsInUse - Uso de quitanieves.

En la ilustración 54 se muestra el diagrama de propiedades de la clase ConstructionWorks en la fase de conceptualización ontología SRTI.

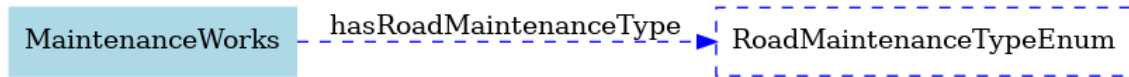


Ilustración 54: Diagrama de propiedades de la clase ConstructionWorks en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: Accident

Object Properties:

- hasAccidentType --> Range: **AccidentTypeEnum**
Valores posibles:
 - collision - Colisión entre vehículos.
 - rollover - Vuelco.
 - fire - Incendio.
- hasVehiclesInvolved --> Range: **VehicleTypeEnum**

Enumerado: VehicleTypeEnum

Valores posibles:

- agriculturalVehicle - Vehículo agrícola.
- anyVehicle - Cualquier vehículo.
- articulatedVehicle - Vehículo articulado.
- bicycle - Bicicleta.
- bus - Autobús.
- car - Automóvil.
- carOrLightVehicle - Automóvil o vehículo ligero.
- carWithCaravan - Coche con caravana.
- carWithTrailer - Coche con remolque.
- caravan - Caravana.
- constructionOrMaintenanceVehicle - Vehículo de construcción o mantenimiento.
- fourWheelDrive - Vehículo con tracción en las cuatro ruedas.
- highSidedVehicle - Vehículo de gran altura.
- longHeavyLorry - Camión largo y pesado.
- lorry - Camión.
- moped - Ciclomotor.
- motorcycle - Motocicleta.
- motorcycleWithSideCar - Motocicleta con sidecar.
- motorscooter - Scooter.
- other - Otro tipo de vehículo.
- tanker - Cisterna.
- threeWheeledVehicle - Vehículo de tres ruedas.
- trailer - Remolque.
- tram - Tranvía.
- twoWheeledVehicle - Vehículo de dos ruedas.

- van - Furgoneta.
- vehicleWithCaravan - Vehículo con caravana.
- vehicleWithCatalyticConverter - Vehículo con convertidor catalítico.
- vehicleWithTrailer - Vehículo con remolque.
- vehicleWithoutCatalyticConverter - Vehículo sin convertidor catalítico.
- withEvenNumberedRegistrationPlates - Matrícula par.
- withOddNumberedRegistrationPlates - Matrícula impar.

En la ilustración 55 se muestra el diagrama de propiedades de la clase Accident en la fase de conceptualización ontología SRTI.

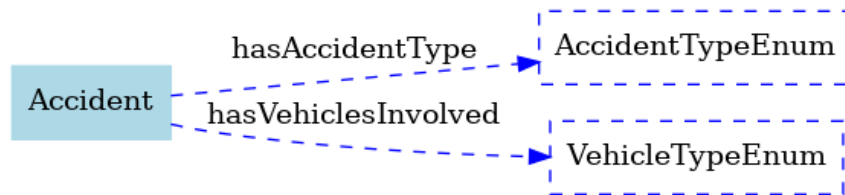


Ilustración 55: Diagrama de propiedades de la clase Accident en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: DisturbanceActivity

Object Properties:

- hasDisturbanceActivityTypeEnum --> Range: **DisturbanceActivityTypeEnum**
Valores posibles:
 - crowd - Multitud.
 - demonstration - Manifestación.
 - evacuation - Evacuación.
 - other - Otro.

En la ilustración 56 se muestra el diagrama de propiedades de la clase DisturbanceActivity en la fase de conceptualización ontología SRTI.



Ilustración 56: Diagrama de propiedades de la clase DisturbanceActivity en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: PublicEvent

Object Properties:

- hasPublicEventType --> Range: **PublicEventTypeEnum**
Valores posibles:
 - concert - Concierto.
 - festival - Festival.

Data Properties:

- venueName --> xsd

En la ilustración 57 se muestra el diagrama de propiedades de la clase PublicEvent en la fase de conceptualización ontología SRTI.

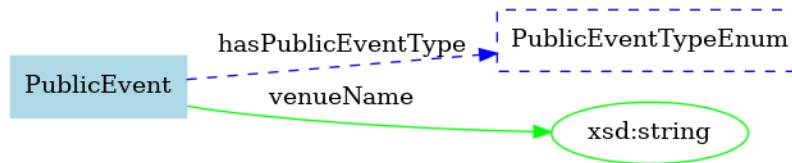


Ilustración 57: Diagrama de propiedades de la clase PublicEvent en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: Conditions

Object Properties:

- hasDrivingConditionTypeEnum --> Range: **DrivingConditionTypeEnum**
Valores posibles:
 - normal - Normal.
 - hazardous - Peligroso.
 - impossible - Imposible.
 - passableWithCare - Pasable con precaución.
 - veryHazardous - Muy peligroso.
 - winterConditions - Condiciones invernales.

En la ilustración 58 se muestra el diagrama de propiedades de la clase Conditions en la fase de conceptualización ontología SRTI.

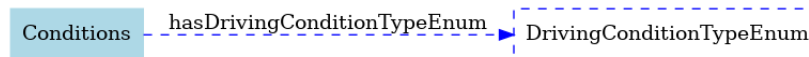


Ilustración 58: Diagrama de propiedades de la clase Conditions en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: PoorEnvironmentConditions

Object Properties:

- hasPoorEnvironmentTypeEnum --> Range: **PoorEnvironmentTypeEnum**
Valores posibles:
 - fog - Niebla.
 - rain - Lluvia.
 - snow - Nieve.
 - ice - Hielo.
 - highWinds - Vientos fuertes.
 - sandstorm - Tormenta de arena.
 - smog - Smog.
 - hail - Granizo.
 - thunderstorm - Tormenta eléctrica.

En la ilustración 59 se muestra el diagrama de propiedades de la clase PoorEnvironmentConditions en la fase de conceptualización ontología SRTI.

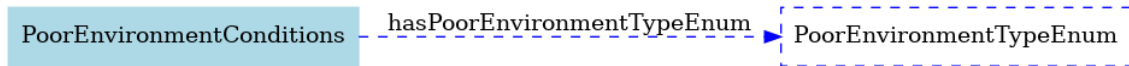


Ilustración 59: Diagrama de propiedades de la clase *PoorEnvironmentConditions* en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: **NonWeatherRelatedRoadConditions**

Object Properties:

- hasNonWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum --> Range: **NonWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum**
Valores posibles:
 - leavesOnRoad - Hojas en la carretera.
 - looseChippings - Gravilla suelta.
 - mudOnRoad - Barro en la carretera.
 - oilOnRoad - Aceite en la carretera.
 - slipperyRoad - Carretera resbaladiza.

En la ilustración 60 se muestra el diagrama de propiedades de la clase *NonWeatherRelatedRoadConditions* en la fase de conceptualización ontología SRTI.



Ilustración 60: Diagrama de propiedades de la clase *NonWeatherRelatedRoadConditions* en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: **WeatherRelatedRoadConditions**

Object Properties:

- hasWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum --> Range: **WeatherRelatedRoadConditionTypeEnum**
Valores posibles:
 - snow - Nieve.
 - ice - Hielo.

En la ilustración 61 se muestra el diagrama de propiedades de la clase *WeatherRelatedRoadConditions* en la fase de conceptualización ontología SRTI.



Ilustración 61: Diagrama de propiedades de la clase *WeatherRelatedRoadConditions* en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: **Obstruction**

Object Properties:

- hasMobilityOfObstruction --> Range: **MobilityTypeEnum**
Valores posibles:
 - mobile - Móvil.
 - stationary - Estacionario.
 - unknown - Desconocido.

Data Properties:

- numberOfObstructions --> *nonNegativeInteger*

En la ilustración 62 se muestra el diagrama de propiedades de la clase Obstruction en la fase de conceptualización ontología SRTI.

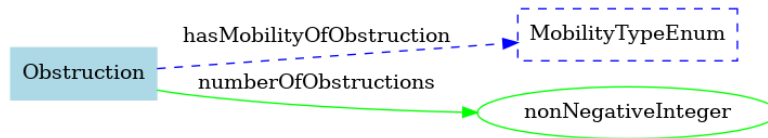


Ilustración 62: Diagrama de propiedades de la clase Obstruction en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: AnimalPresenceObstruction

Object Properties:

- hasAnimalPresenceTypeEnum --> *Range: AnimalPresenceTypeEnum*
Valores posibles:
 - wildAnimal - Animal salvaje.
 - domesticAnimal - Animal doméstico.
 - herd - Manada.

En la ilustración 63 se muestra el diagrama de propiedades de la clase AnimalPresenceObstruction en la fase de conceptualización ontología SRTI.

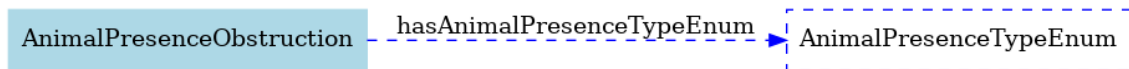


Ilustración 63: Diagrama de propiedades de la clase AnimalPresenceObstruction en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: EnvironmentalObstruction

Object Properties:

- hasEnvironmentalObstructionTypeEnum --> *Range: EnvironmentalObstructionTypeEnum*
Valores posibles:
 - flooding - Inundación.
 - landslide - Deslizamiento.
 - fallenTrees - Árboles caídos.

En la ilustración 64 se muestra el diagrama de propiedades de la clase EnviromentalObstruction en la fase de conceptualización ontología SRTI.

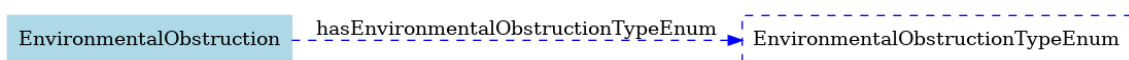


Ilustración 64: Diagrama de propiedades de la clase EnviromentalObstruction en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: GeneralObstruction

Object Properties:

- hasObstructionTypeEnum --> Range: **ObstructionTypeEnum**

Valores posibles:

- vehicleObstruction - Obstrucción de vehículos.
- debris - Escombros.
- constructionObstruction - Obstrucción por construcción.

En la ilustración 65 se muestra el diagrama de propiedades de la clase GeneralObstruction en la fase de conceptualización ontología SRTI.

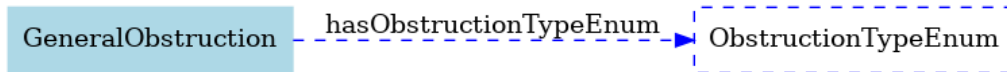


Ilustración 65: Diagrama de propiedades de la clase GeneralObstruction en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: InfrastructureDamageObstruction

Object Properties:

- hasInfrastructureDamageType --> Range: **InfrastructureDamageTypeEnum**

Valores posibles:

- bridgeDamage - Daño en puente.
- roadDamage - Daño en carretera.

En la ilustración 66 se muestra el diagrama de propiedades de la clase InfrastructureDamageObstruction en la fase de conceptualización ontología SRTI.

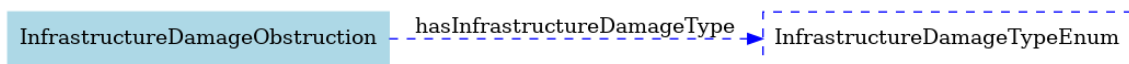


Ilustración 66: Diagrama de propiedades de la clase InfrastructureDamageObstruction en fase de conceptualización ontología SRTI

Clase: VehicleObstruction

Object Properties:

- hasVehicleObstructionTypeEnum --> Range: **VehicleObstructionTypeEnum**

Valores posibles:

- brokenDownVehicle - Vehículo averiado.
- abandonedVehicle - Vehículo abandonado.

- hasVehicleTypeEnum --> Range: **VehicleTypeEnum**

En la ilustración 67 se muestra el diagrama de propiedades de la clase VehicleObstruction en la fase de conceptualización ontología SRTI.

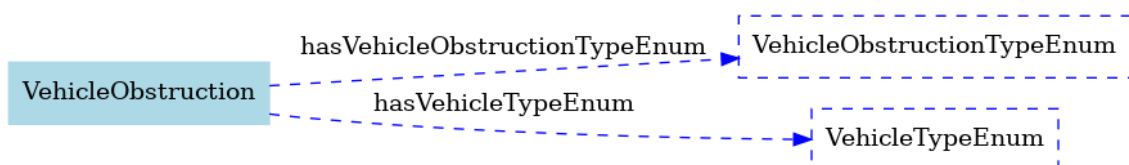


Ilustración 67: Diagrama de propiedades de la clase VehicleObstruction en fase de conceptualización ontología SRTI

Este análisis ampliado proporciona un marco detallado sobre cómo cada clase, **Object Property** y **Data Property** se utiliza para definir y relacionar los elementos en el dominio de incidentes de tráfico. Cada propiedad y clase cumple una función específica en la conceptualización y facilita la interoperabilidad de datos en aplicaciones de seguridad vial y gestión de tráfico.

4.8.2.5 Diagramas de Clases

Para representar gráficamente la estructura de la ontología y las relaciones entre los conceptos, se desarrollaron diagramas de clases utilizando herramientas de modelado como UML. Estos diagramas permiten visualizar de manera clara y concisa cómo se conectan las diferentes clases y cómo se estructuran las relaciones entre ellas. Los diagramas de clases fueron fundamentales para:

- **Identificar Relaciones y Jerarquías:** Visualizar las relaciones entre las clases principales, como **SituationRecord**, **TrafficElement**, y **LocationReferencing**, asegurándose de que se representen adecuadamente todas las interacciones.
- **Detectar Inconsistencias:** Permitir la identificación de posibles relaciones faltantes o inconsistencias en la estructura de la ontología antes de su formalización en OWL.
- **Facilitar la Comunicación:** Ayudar en la comunicación con expertos del dominio y partes interesadas, asegurando que todos los involucrados comprendan cómo se ha modelado el dominio del tráfico y cómo se conectan los diferentes elementos.

En la ilustración 68 se muestra el diagrama de clases en fase de especificación de la ontología SRTI.

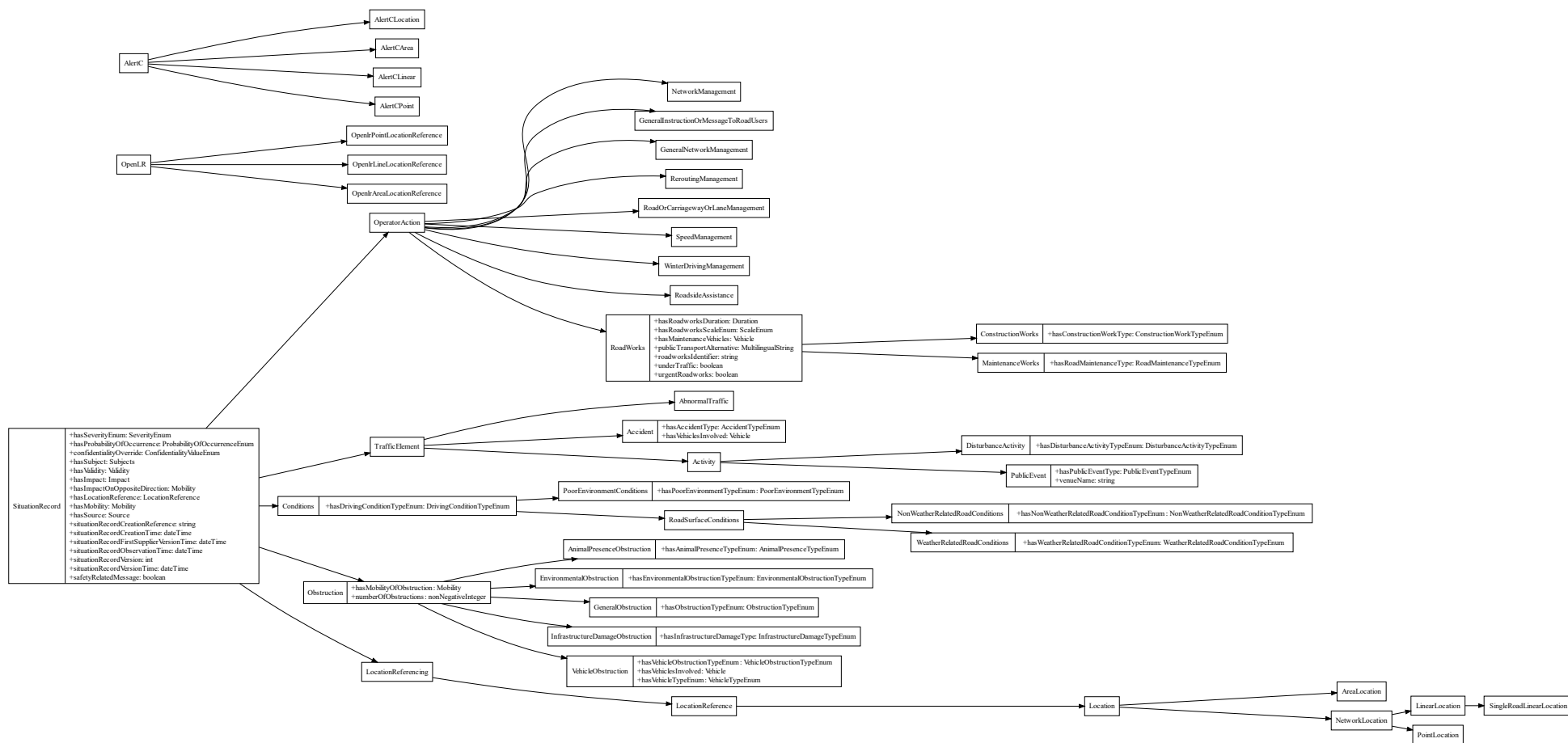


Ilustración 68: Diagrama de clases en fase de conceptualización ontología SRTI

Los diagramas de clases proporcionaron una representación visual que documenta cómo se ha llevado a cabo el proceso de conceptualización, permitiendo una fácil revisión y actualización en futuras iteraciones del modelo.

4.8.3 Fase de Formalización

Cada clase/concepto de la fase de conceptualización se convierte en una clase de OWL con las correspondientes propiedades y relaciones. A continuación, se describen las principales clases de la Ontología en OWL:

4.8.3.1 Clases principales y jerarquías

SituationRecord

- Descripción: Registra eventos o condiciones de tráfico, como accidentes, condiciones ambientales, trabajos en carretera, etc.
- Jerarquía:
 - Subclases de SituationRecord:
 - OperatorAction: Describe las acciones tomadas por operadores de tráfico para gestionar incidentes y mejorar la seguridad.
 - TrafficElement: Representa elementos o fenómenos que afectan directamente el tráfico.
 - Conditions: Describe las condiciones ambientales o de la carretera.
 - Obstruction: Define cualquier obstrucción que impacta el flujo vehicular.
 - LocationReferencing: Describe cómo se refiere o especifica una ubicación dentro de la red vial.
- Object Properties:
 - hasSeverityEnum: Relaciona SituationRecord con SeverityEnum, definiendo la gravedad del evento.
 - hasProbabilityOfOccurrence: Conecta SituationRecord con ProbabilityOfOccurrenceEnum, indicando la probabilidad de ocurrencia.
 - hasSubject: Relaciona SituationRecord con Subjects, especificando el tipo de situación (e.g., accidente, evento público).
 - hasValidity: Conecta SituationRecord con Validity, definiendo la duración del evento (startTime, endTime).
 - confidentialityOverride: Asocia SituationRecord con ConfidentialityValueEnum para el nivel de confidencialidad.
 - hasImpact: Vincula SituationRecord con Impact, indicando el impacto en el tráfico.
 - hasImpactOnOppositeDirection: Relaciona SituationRecord con Mobility, indicando el impacto en dirección opuesta.
 - hasLocationReference: Conecta SituationRecord con LocationReference, proporcionando una ubicación específica.
 - hasMobility: Vincula SituationRecord con Mobility, describiendo la alteración en la movilidad.
 - hasSource: Define la fuente de información del registro.
- Data Properties:
 - situationRecordCreationReference: Identificador único del registro (xsd:string).
 - situationRecordCreationTime: Fecha y hora de creación (xsd:dateTime).
 - situationRecordFirstSupplierVersionTime: Fecha de la primera versión (xsd:dateTime).

- situationRecordObservationTime: Hora de la observación (xsd:dateTime).
- situationRecordVersion: Versión actual del registro (xsd:int).
- situationRecordVersionTime: Fecha de la última actualización (xsd:dateTime).
- safetyRelatedMessage: Mensaje de seguridad (xsd:boolean).

OperatorAction (Subclase de SituationRecord)

- Descripción: Describe acciones de operadores de tráfico para gestionar incidentes y mejorar la seguridad.
- Jerarquía:
 - Subclases de OperatorAction:
 - NetworkManagement: Actividades de gestión de la red vial para asegurar un flujo continuo.
 - RoadWorks: Trabajos en la carretera.
 - RoadsideAssistance: Asistencia en carretera, como remolque.
 - WinterDrivingManagement: Estrategias para manejar la conducción invernal.
 - SpeedManagement: Control de velocidad para garantizar la seguridad.
 - ReroutingManagement: Redirección del tráfico para evitar áreas afectadas.
 - GeneralInstructionOrMessageToRoadUsers: Instrucciones generales para usuarios de la vía.
- Propiedades específicas de subclases:
 - RoadWorks incluye hasRoadworksDuration y hasMaintenanceVehicles.
 - ReroutingManagement define rutas alternativas mediante reroutingInstruction.

NetworkManagement (Subclase de OperatorAction)

- Descripción: Actividades para gestionar y administrar la red vial.

RoadWorks (Subclase de OperatorAction)

- Descripción: Trabajos en carretera que afectan el tráfico.
- Jerarquía:
 - Subclases de RoadWorks:
 - ConstructionWorks: Trabajos de construcción en la carretera.
 - MaintenanceWorks: Trabajos de mantenimiento necesarios para la seguridad vial.
- Object Properties:
 - hasRoadworksDuration: Define la duración de los trabajos en la carretera.
 - hasMaintenanceVehicles: Relaciona vehículos de mantenimiento con el área de trabajo.
- Data Properties:
 - publicTransportAlternative: Alternativas de transporte público (MultilingualString).
 - roadworksIdentifier: Identificador de trabajo en carretera (xsd:string).
 - underTraffic: Indica si la carretera permite tráfico parcial (xsd:boolean).
 - urgentRoadworks: Define si el trabajo es urgente (xsd:boolean).

ConstructionWorks (Subclase de RoadWorks)

- Descripción: Trabajos de construcción en la carretera.
- Object Properties:
 - hasConstructionWorkType: Define el tipo de trabajo de construcción (e.g., ampliación de carriles).

MaintenanceWorks (Subclase de RoadWorks)

- Descripción: Trabajos de mantenimiento rutinario o reparaciones necesarias para garantizar la seguridad vial.
- Object Properties:
 - hasRoadMaintenanceType: Especifica el tipo de mantenimiento (e.g., repavimentación, limpieza de drenajes).

RoadsideAssistance (Subclase de OperatorAction)

- Descripción: Provisión de asistencia en carretera, como remolque o reparaciones.

WinterDrivingManagement (Subclase de OperatorAction)

- Descripción: Estrategias de seguridad para conducción en condiciones invernales.

SpeedManagement (Subclase de OperatorAction)

- Descripción: Control de velocidad para garantizar la seguridad.

ReroutingManagement (Subclase de OperatorAction)

- Descripción: Redirección de tráfico para evitar áreas afectadas.
- Object Properties:
 - reroutingInstruction: Define rutas alternativas.

GeneralInstructionOrMessageToRoadUsers (Subclase de OperatorAction)

- Descripción: Mensajes o instrucciones generales para los usuarios de la vía.

TrafficElement (Subclase de SituationRecord)

- Descripción: Representa elementos o eventos que afectan el tráfico.
- Jerarquía:
 - Subclases de TrafficElement:
 - AbnormalTraffic: Situaciones anormales de tráfico, como congestionamientos inesperados.
 - Accident: Incidentes que involucran vehículos.
 - Activity: Actividades como eventos públicos.
- Propiedades específicas de subclases:
 - Accident incluye hasAccidentType y hasVehiclesInvolved.

- Activity tiene hasDisturbanceActivityTypeEnum en DisturbanceActivity y hasPublicEventType en PublicEvent.

AbnormalTraffic (Subclase de TrafficElement)

- Descripción: Condiciones anormales de tráfico, como congestionamientos inesperados.

Accident (Subclase de TrafficElement)

- Descripción: Incidentes de tráfico que involucran vehículos.
- Object Properties:
 - hasAccidentType: Define el tipo de accidente.
 - hasVehiclesInvolved: Relaciona el accidente con vehículos específicos.

Activity (Subclase de TrafficElement)

- Descripción: Actividades que afectan el tráfico, como eventos públicos.
- Object Properties:
 - hasDisturbanceActivityTypeEnum: Clasifica el tipo de perturbación en la vía.
 - hasPublicEventType: Define el tipo de evento público.

Conditions (Subclase de SituationRecord)

- Descripción: Describe condiciones de la carretera o del ambiente.
- Jerarquía:
 - Subclases de Conditions:
 - PoorEnvironmentConditions
 - RoadSurfaceConditions
 - Subclases de RoadSurfaceConditions:
 - NonWeatherRelatedRoadConditions
 - WeatherRelatedRoadConditions
- Propiedades específicas de subclases:
 - PoorEnvironmentConditions incluye hasPoorEnvironmentTypeEnum.
 - RoadSurfaceConditions incluye propiedades adicionales en sus subclases.

PoorEnvironmentConditions (Subclase de Conditions)

- Descripción: Condiciones ambientales adversas.
- Object Properties:
 - hasPoorEnvironmentTypeEnum: Define el tipo de condición ambiental adversa, como niebla o baja visibilidad.

RoadSurfaceConditions (Subclase de Conditions)

- Descripción: Estado de la superficie de la carretera.
- Jerarquía:
 - Subclases de RoadSurfaceConditions:
 - NonWeatherRelatedRoadConditions
 - WeatherRelatedRoadConditions

NonWeatherRelatedRoadConditions (Subclase de RoadSurfaceConditions)

- Descripción: Condiciones de la superficie no relacionadas con el clima, como derrames de materiales.
- Object Properties:
 - hasNonWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum: Clasifica las condiciones no relacionadas con el clima (e.g., derrames de aceite, grava en la carretera).

WeatherRelatedRoadConditions (Subclase de RoadSurfaceConditions)

- Descripción: Condiciones de la superficie causadas por el clima, como hielo o nieve.
- Object Properties:
 - hasWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum: Clasifica el tipo de condición climática (e.g., nieve, hielo, lluvia intensa).

Obstruction (Subclase de SituationRecord)

- Descripción: Obstrucciones físicas en la carretera.
- Jerarquía:
 - Subclases de Obstruction:
 - AnimalPresenceObstruction
 - EnvironmentalObstruction
 - GeneralObstruction
 - InfrastructureDamageObstruction
 - VehicleObstruction
- Object Properties:
 - hasMobilityOfObstruction: Define si la obstrucción es fija o móvil.
- Data Properties:
 - numberOfObstructions: Cantidad de obstrucciones (xsd:nonNegativeInteger).

AnimalPresenceObstruction (Subclase de Obstruction)

- Descripción: Obstrucciones causadas por la presencia de animales.
- Object Properties:
 - hasAnimalPresenceTypeEnum: Define el tipo de presencia animal.

EnvironmentalObstruction (Subclase de Obstruction)

- Descripción: Obstrucciones causadas por factores naturales como árboles caídos.
- Object Properties:
 - hasEnvironmentalObstructionTypeEnum: Clasifica el tipo de obstrucción ambiental.

GeneralObstruction (Subclase de Obstruction)

- Descripción: Obstrucciones generales que interfieren en el tráfico.
- Object Properties:
 - hasObstructionTypeEnum: Define el tipo de obstrucción general.

InfrastructureDamageObstruction (Subclase de Obstruction)

- Descripción: Daños en la infraestructura vial, como puentes o baches.
- Object Properties:
 - hasInfrastructureDamageType: Clasifica el tipo de daño en la infraestructura.

VehicleObstruction (Subclase de Obstruction)

- Descripción: Obstrucciones causadas por vehículos mal estacionados o averiados.
- Object Properties:
 - hasVehicleObstructionTypeEnum: Clasifica el tipo de obstrucción vehicular.
 - hasVehiclesInvolved: Relaciona con vehículos específicos.
 - hasVehicleTypeEnum: Define el tipo de vehículo involucrado.

LocationReferencing (Subclase de SituationRecord)

- Descripción: Describe cómo se refiere una ubicación.
- Jerarquía:
 - Subclase:
 - LocationReference
- Object Properties:
 - hasLocationReference: Relaciona con ubicaciones geográficas precisas.

LocationReference (Subclase de LocationReferencing)

- Descripción: Proporciona una ubicación precisa de un evento.

Location (Clase independiente)

- Descripción: Define ubicaciones en la red vial.
- Jerarquía:
 - Subclases de Location:
 - AreaLocation
 - NetworkLocation
 - Subclases de NetworkLocation:
 - LinearLocation
 - Subclase de LinearLocation:
 - SingleRoadLinearLocation
 - PointLocation

OpenLR (Clase independiente)

- Descripción: Representa ubicaciones en mapas usando OpenLR.
- Object Properties:
 - hasOpenLRReference: Define la referencia de OpenLR.

AlertC (Clase independiente)

- Descripción: Define puntos y áreas afectadas en la red vial.
- Jerarquía:
 - Subclases de AlertC:
 - AlertCLocation
 - AlertCArea

- AlertCLinear: Segmentos lineales afectados.
- AlertCPoint: Puntos específicos de alerta.

4.8.3.2 Restricciones y axiomas

En la fase de Restricciones y Axiomas, se define en detalle cómo interactúan las clases y propiedades en la ontología. Esta fase asegura que la estructura de la ontología sea consistente y precisa, estableciendo restricciones formales que determinan los posibles valores, dominios y relaciones entre propiedades. A continuación, se desglosan las restricciones y axiomas aplicados a las propiedades en OWL para la ontología de tráfico:

1. SituationRecord

Como se detalla en la Tabla 33, las restricciones de cardinalidad de las propiedades de la clase SituationRecord aseguran una representación semántica precisa. Por ejemplo, propiedades como hasSeverityEnum y hasProbabilityOfOccurrence tienen cardinalidad exacta de uno, garantizando que cada registro cuente con información crucial de severidad y probabilidad de ocurrencia. Del mismo modo, hasImpact y hasMobility requieren un mínimo de una instancia, lo que refuerza la completitud de los datos sobre impacto y movilidad.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
hasSeverityEnum	Object Property	SeverityEnum	Exactamente 1
hasProbabilityOfOccurrence	Object Property	ProbabilityOfOccurrenceEnum	Exactamente 1
hasSubject	Object Property	Subjects	Mínimo 1
hasValidity	Object Property	Validity	Exactamente 1
confidentialityOverride	Object Property	ConfidentialityValueEnum	Máximo 1
hasImpact	Object Property	Impact	Mínimo 1
hasImpactOnOppositeDirection	Object Property	Mobility	Máximo 1
hasLocationReference	Object Property	LocationReference	Mínimo 1
hasMobility	Object Property	Mobility	Mínimo 1
hasSource	Object Property	Source	Mínimo 1
situationRecordCreationReference	Data Property	xsd	Exactamente 1
situationRecordCreationTime	Data Property	xsd	Exactamente 1
situationRecordFirstSupplierVersionTime	Data Property	xsd	Máximo 1
situationRecordObservationTime	Data Property	xsd	Exactamente 1
situationRecordVersion	Data Property	xsd	Exactamente 1
situationRecordVersionTime	Data Property	xsd	Exactamente 1
safetyRelatedMessage	Data Property	xsd	Máximo 1

Tabla 33: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase SituationRecord

2. RoadWorks (Subclase de OperatorAction)

La Tabla 34 describe las restricciones y axiomas aplicados a RoadWorks, destacando la cardinalidad exacta de uno en propiedades como hasRoadworksDuration y roadworksIdentifier, lo que asegura que toda obra tenga una duración claramente definida y un identificador único. Además, hasMaintenanceVehicles exige al menos una instancia, reflejando la necesidad de incluir información sobre los vehículos involucrados.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
hasRoadworksDuration	Object Property	Duration	Exactamente 1
hasMaintenanceVehicles	Object Property	Vehicle	Mínimo 1
publicTransportAlternative	Data Property	MultilingualString	Máximo 1
roadworksIdentifier	Data Property	xsd	Exactamente 1
underTraffic	Data Property	xsd	Máximo 1
urgentRoadworks	Data Property	xsd	Máximo 1

Tabla 34: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase RoadWorks

3. Accident (Subclase de TrafficElement)

Según la **Tabla 35**, Accident impone una cardinalidad exacta de uno en la propiedad hasAccidentType, asegurando que cada accidente esté claramente tipificado. La propiedad hasVehiclesInvolved tiene un mínimo de uno, lo que garantiza la inclusión de datos sobre los vehículos implicados en cada caso.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
hasAccidentType	Object Property	AccidentTypeEnum	Exactamente 1
hasVehiclesInvolved	Object Property	Vehicle	Mínimo 1

Tabla 35: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase Accident

4. DisturbanceActivity (Subclase de TrafficElement)

Como se observa en la **Tabla 36**, la propiedad hasDisturbanceActivityTypeEnum tiene una cardinalidad exacta de uno, asegurando que cada actividad disruptiva esté claramente identificada por su tipo.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
hasDisturbanceActivityTypeEnum	Object Property	DisturbanceActivityTypeEnum	Exactamente 1

Tabla 36: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase DisturbanceActivity

5. PublicEvent (Subclase de TrafficElement)

La **Tabla 37** detalla que PublicEvent requiere una cardinalidad exacta de uno para hasPublicEventType, mientras que venueName tiene una cardinalidad máxima de uno, lo que permite incluir detalles sobre el lugar del evento cuando sea necesario.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
hasPublicEventType	Object Property	PublicEventTypeEnum	Exactamente 1
venueName	Data Property	xsd	Máximo 1

Tabla 37: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase PublicEvent

6. Conditions (Subclase de SituationRecord)

Como se indica en la **Tabla 38**, la propiedad hasDrivingConditionTypeEnum tiene una cardinalidad exacta de uno, asegurando que las condiciones de conducción estén siempre especificadas.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
hasDrivingConditionTypeEnum	Object Property	DrivingConditionTypeEnum	Exactamente 1

Tabla 38: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase Conditions

7. PoorEnvironmentConditions (Subclase de Conditions)

La **Tabla 39** muestra que la propiedad hasPoorEnvironmentTypeEnum tiene una cardinalidad exacta de uno, lo que garantiza que las condiciones ambientales adversas estén claramente definidas.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
hasPoorEnvironmentTypeEnum	Object Property	PoorEnvironmentTypeEnum	Exactamente 1

Tabla 39: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase PoorEnvironmentConditions

8. NonWeatherRelatedRoadConditions (Subclase de RoadSurfaceConditions)

De acuerdo con la **Tabla 40**, hasNonWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum tiene una cardinalidad exacta de uno, permitiendo una especificación clara de condiciones viales no relacionadas con el clima.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
hasNonWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum	Object Property	NonWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum	Exactamente 1

Tabla 40: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase NonWeatherRelatedRoadConditions

9. WeatherRelatedRoadConditions (Subclase de RoadSurfaceConditions)

Como detalla la **Tabla 41**, la propiedad hasWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum exige al menos una instancia, asegurando que las condiciones climáticas relevantes estén siempre representadas.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
hasWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum	Object Property	WeatherRelatedRoadConditionTypeEnum	Mínimo 1

Tabla 41: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase WeatherRelatedRoadConditions

10. Obstruction (Subclase de SituationRecord)

Según la **Tabla 42**, las propiedades hasMobilityOfObstruction y numberOfObstructions tienen un mínimo de una instancia, asegurando que las obstrucciones estén caracterizadas con información de movilidad y cantidad.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
hasMobilityOfObstruction	Object Property	Mobility	Mínimo 1
numberOfObstructions	Data Property	xsd	Mínimo 1

Tabla 42: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase Obstruction

11. AnimalPresenceObstruction (Subclase de Obstruction)

La **Tabla 43** establece que hasAnimalPresenceTypeEnum tiene una cardinalidad exacta de uno, asegurando una definición precisa de la presencia de animales como obstrucción.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
hasAnimalPresenceTypeEnum	Object Property	AnimalPresenceTypeEnum	Exactamente 1

Tabla 43: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase AnimalPresenceObstruction

12. EnvironmentalObstruction (Subclase de Obstruction)

Como se detalla en la **Tabla 44**, `hasEnvironmentalObstructionTypeEnum` requiere una cardinalidad exacta de uno, garantizando que las obstrucciones ambientales estén claramente tipificadas.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
<code>hasEnvironmentalObstructionTypeEnum</code>	Object Property	<code>EnvironmentalObstructionTypeEnum</code>	Exactamente 1

Tabla 44: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase `EnvironmentalObstruction`

13. GeneralObstruction (Subclase de Obstruction)

La **Tabla 45** indica que la propiedad `hasObstructionTypeEnum` debe tener una cardinalidad exacta de uno, asegurando una clasificación precisa de las obstrucciones generales.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
<code>hasObstructionTypeEnum</code>	Object Property	<code>ObstructionTypeEnum</code>	Exactamente 1

Tabla 45: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase `GeneralObstruction`

14. InfrastructureDamageObstruction (Subclase de Obstruction)

La **Tabla 46** muestra que `hasInfrastructureDamageType` tiene una cardinalidad exacta de uno, lo que asegura que los daños a la infraestructura estén correctamente representados.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
<code>hasInfrastructureDamageType</code>	Object Property	<code>InfrastructureDamageTypeEnum</code>	Exactamente 1

Tabla 46: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase `InfrastructureDamageObstruction`

15. VehicleObstruction (Subclase de Obstruction)

Como se detalla en la **Tabla 47**, las propiedades `hasVehicleObstructionTypeEnum`, `hasVehiclesInvolved` y `hasVehicleTypeEnum` tienen restricciones de cardinalidad que garantizan la representación detallada de obstrucciones relacionadas con vehículos, exigiendo al menos una instancia para los vehículos involucrados.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
<code>hasVehicleObstructionTypeEnum</code>	Object Property	<code>VehicleObstructionTypeEnum</code>	Exactamente 1
<code>hasVehiclesInvolved</code>	Object Property	<code>Vehicle</code>	Mínimo 1
<code>hasVehicleTypeEnum</code>	Object Property	<code>VehicleTypeEnum</code>	Exactamente 1

Tabla 47: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase `VehicleObstruction`

16. LocationReferencing (Subclase de SituationRecord)

Según la **Tabla 48**, la propiedad `hasLocationReference` tiene una cardinalidad exacta de uno, asegurando que todas las referencias de ubicación estén claramente definidas.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
<code>hasLocationReference</code>	Object Property	<code>LocationReference</code>	Exactamente 1

Tabla 48: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase `LocationReferencing`

17. Location (Clase independiente)

La **Tabla 49** detalla que las propiedades `hasAreaLocation`, `hasNetworkLocation` y `hasPointLocation` tienen una cardinalidad exacta de uno, garantizando que las ubicaciones estén completamente especificadas en sus diferentes niveles.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
<code>hasAreaLocation</code>	Object Property	<code>AreaLocation</code>	Exactamente 1
<code>hasNetworkLocation</code>	Object Property	<code>NetworkLocation</code>	Exactamente 1
<code>hasPointLocation</code>	Object Property	<code>PointLocation</code>	Exactamente 1

Tabla 49: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase Location

18. OpenLR (Clase independiente)

Como se observa en la **Tabla 50**, la propiedad `hasOpenLRReference` tiene una cardinalidad exacta de uno, asegurando una referencia clara y única para las localizaciones en este formato.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
<code>hasOpenLRReference</code>	Object Property	<code>OpenLRReference</code>	Exactamente 1

Tabla 50: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase Conditions

19. AlertC (Clase independiente)

De acuerdo con la **Tabla 51**, las propiedades `hasAlertCLocation`, `hasAlertCArea`, `hasAlertCLinear` y `hasAlertCPoint` tienen una cardinalidad exacta de uno, asegurando una definición precisa y completa de las referencias de alerta.

Propiedad	Tipo	Rango	Cardinalidad
<code>hasAlertCLocation</code>	Object Property	<code>AlertCLocation</code>	Exactamente 1
<code>hasAlertCArea</code>	Object Property	<code>AlertCArea</code>	Exactamente 1
<code>hasAlertCLinear</code>	Object Property	<code>AlertCLinear</code>	Exactamente 1
<code>hasAlertCPoint</code>	Object Property	<code>AlertCPoint</code>	Exactamente 1

Tabla 51: Tabla de restricciones y axiomas sobre las propiedades de la clase Conditions

4.8.4 Fase de Construcción

En la fase de construcción de la ontología de incidentes de tráfico para esta tesis, se implementan las especificaciones definidas durante las fases de conceptualización y formalización. Esta etapa incluye el diseño y desarrollo detallado de las clases, propiedades y restricciones necesarias, así como la preparación para la validación y transformación de los datos en RDF. Para ello, se hace uso de herramientas especializadas, entre las cuales **Protégé** desempeña un papel fundamental como herramienta principal de desarrollo y edición ontológica.

El uso de **Protégé** en esta tesis resulta clave debido a su capacidad para facilitar la creación, edición y gestión de ontologías en OWL (Web Ontology Language).

4.8.4.1 Implementación de Estándares Nacionales en la Construcción de la Ontología

En secciones anteriores se analizaron los enfoques de metadatos en España, específicamente en el contexto de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) y los Datos Abiertos. Este análisis incluyó la revisión de normativas clave como la **Norma Técnica de Interoperabilidad (NTI-RISP)**,

que establece las condiciones comunes para la gestión de documentos y recursos de información del sector público.

4.8.4.2 Implementación de la norma NTI-RISP en la Ontología

La NTI-RISP, como parte del **Esquema Nacional de Interoperabilidad (ENI)**, proporciona un marco estructurado que incluye un vocabulario controlado y taxonomías para garantizar la interoperabilidad de los datos. Esta normativa ha sido crucial para la construcción de la ontología de incidentes de tráfico desarrollada en esta tesis. Algunos de los aspectos relevantes incluyen:

1. Vocabulario Controlado:

- La NTI-RISP define vocabularios específicos para estandarizar el uso de metadatos. En esta tesis, estos vocabularios se utilizaron para describir las propiedades clave de los incidentes de tráfico, asegurando que la ontología cumpliera con los estándares nacionales.

2. Especificaciones Temporales:

- La NTI establece el uso de la **Ontología de Tiempo del W3C** para representar valores relacionados con el tiempo. Este estándar se integró en la ontología para modelar propiedades como `validityTimeSpecification`, que define los periodos de validez de los incidentes. Esto asegura una representación temporal precisa y compatible con otros sistemas.

3. Cobertura Geográfica:

- La NTI también especifica identificadores relacionados con los recursos geográficos del territorio español, incluyendo comunidades autónomas, provincias y municipios. En esta tesis, se utilizaron estos identificadores para modelar propiedades geográficas, como la ubicación de los incidentes. Esto facilita la interoperabilidad con catálogos geoespaciales y asegura una alineación con los estándares nacionales.

4. Formatos Basados en Estándares:

- Para la representación de datos temporales y lingüísticos, se implementaron los estándares:
 - ISO-8601 para fechas y horas.
 - RFC4646 para etiquetas de identificación de idiomas.

4.8.4.3 Impacto en la Construcción de la Ontología

La aplicación de la NTI-RISP durante la fase de construcción permite:

- Garantizar que la ontología este alineada con los estándares nacionales, promoviendo su interoperabilidad en el contexto español.
- Estandarizar las propiedades temporales y geográficas, asegurando la precisión y consistencia de los datos modelados.
- Facilitar la integración de la ontología con otros sistemas de datos abiertos en España, como los disponibles en `datos.gob.es`.

El cumplimiento de la NTI-RISP no solo refuerza la calidad técnica de la ontología, sino que también asegura su aplicabilidad en escenarios reales de interoperabilidad y reutilización de datos en España.

4.8.4.4 Definición de URIS

Se tienen en cuenta las regulaciones previamente mencionadas, especialmente las recomendaciones de la NTI española. A continuación, se presentan ejemplos los esquemas de URI propuestos por la norma NTI. Ver ilustración 69.

EJEMPLO	URI
Catálogo de datos	<code>http://{base}/catalogo</code> <code>http://datos.gob.es/catalogo</code>
Conjunto de datos correspondiente al listado de los centros sanitarios en el año 2011	<code>http://{base}/catalogo/{dataset}</code> <code>http://datos.gob.es/catalogo/centros-sanitarios-2011</code>
alternativa usando un URI basado en identificadores de fragmento (#)	<code>http://{base}/catalogo#{dataset}</code> <code>http://datos.gob.es/catalogo#centros-sanitarios-2011</code>
Vocabulario de centros sanitarios	<code>http://{base}/def/{sector}/{dominio}</code> <code>http://datos.gob.es/def/salud/centros-sanitarios</code>
Clase hospital definida en el vocabulario de centros sanitarios	<code>http://{base}/def/{sector}/{dominio}/{Clase}</code> <code>http://datos.gob.es/def/salud/centros-sanitarios/Hospital</code>
alternativa usando un URI basado en identificadores de fragmento (#)	<code>http://{base}/def/{sector}/{dominio}#{Clase}</code> <code>http://datos.gob.es/def/salud/centros-sanitarios#Hospital</code>
Propiedad especialidad clínica definida en el vocabulario de centros sanitarios	<code>http://{base}/def/{sector}/{dominio}/{propiedad}</code> <code>http://datos.gob.es/def/salud/centros-sanitarios/especialidad</code>
alternativa usando un URI basado en identificadores de fragmento	<code>http://{base}/def/{sector}/{dominio}#{propiedad}</code> <code>http://datos.gob.es/def/salud/centros-sanitarios#especialidad</code>

EJEMPLO	URI
Esquema de conceptos de tipos de centros educativos	<code>http://{base}/kos/{sector}/{dominio}</code> <code>http://datos.gob.es/kos/educacion/tipo-centro</code>
Concepto de colegio público dentro del esquema de centros educativos	<code>http://{base}/kos/{sector}/{dominio}/{Concepto}</code> <code>http://datos.gob.es/kos/educacion/tipo-centro/Colegio-Publico</code>
alternativa usando un URI basado en identificadores de fragmento	<code>http://{base}/kos/{sector}/{dominio}#{Concepto}</code> <code>http://datos.gob.es/kos/educacion/tipo-centro#Colegio-Publico</code>
Instancia de una entidad orgánica de la Administración General del Estado	<code>http://{base}/recurso/{sector}/{dominio}/{Clase}/{ID}</code> <code>http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/Organismo/E02963104</code>
alternativa usando un URI basado en identificadores de fragmento	<code>http://{base}/recurso/{sector}/{dominio}/{Clase}#{ID}</code> <code>http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/Organismo#E02963104</code>
Documento HTML que describe una instancia de una entidad orgánica	<code>http://{base}/recurso/{sector}/{dominio}/{Clase}/{ID}. {ext}</code> <code>http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/Organismo/E02963104.html</code>
alternativa usando un URI basado en identificadores de fragmento	<code>http://{base}/recurso/{sector}/{dominio}/{Clase}. {ext}#{ID}</code> <code>http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/Organismo.html#E02963104</code>
Representación RDF - N3 que describe una instancia de una entidad orgánica	<code>http://{base}/recurso/{sector}/{dominio}/{Clase}/{ID}. {ext}</code> <code>http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/Organismo/E02963104.n3</code>
alternativa usando un URI basado en identificadores de fragmento	<code>http://{base}/recurso/{sector}/{dominio}/{Clase}. {ext}#{ID}</code> <code>http://datos.gob.es/recurso/sector-publico/Organismo.n3#E02963104</code>

Ilustración 69: Esquema de URIs de la norma NTI. Fuente [38]

Considerando las regulaciones, se estableció la URI para la ontología principal: **`http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti`** con el prefijo `dtx_srti`. Ver ilustración 70.

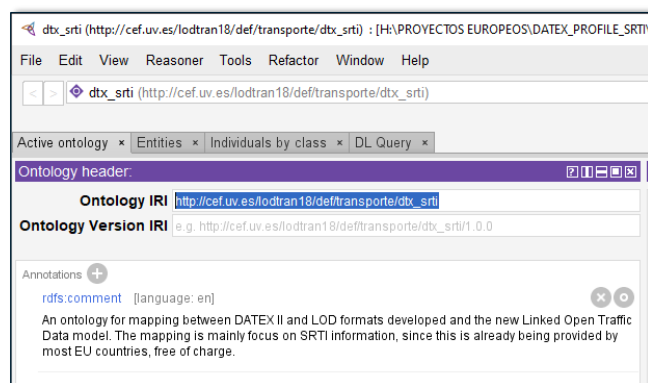


Ilustración 70: Encabezado de la ontología SRTI. IRI

4.8.4.5 Cuestiones Temporales

En el modelo DATEX II, y específicamente en el perfil SRTI, aparecen varios elementos relacionados con el tiempo. A continuación, se explica cómo fueron tratados en el modelo semántico, así como los principales recursos considerados para lograr el máximo enriquecimiento semántico posible.

4.8.4.5.1 DATEX II y la Validez en el Tiempo

Al al hablar de eventos de tráfico, se asume que estos son válidos durante un periodo específico. El perfil SRTI solo considera eventos no recurrentes además este perfil se simplificó en comparación con el modelo completo.

Parte del esquema UML relacionado con la clase “Validity” en el modelo DATEX 3.2 se muestra en la ilustración 71:

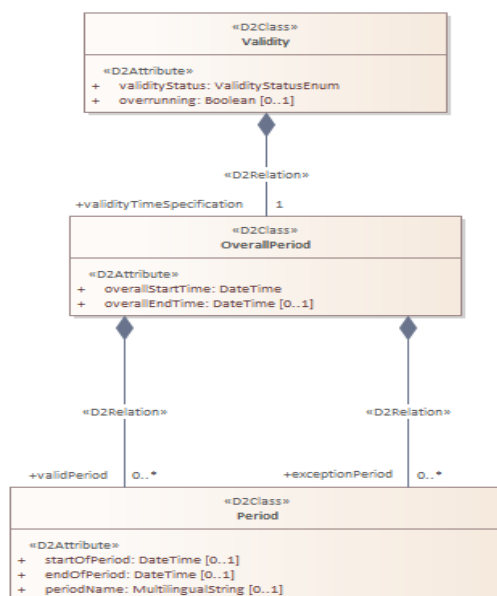


Ilustración 71: Esquema clase Validity. Fuente: [19]

En el perfil mínimo **SRTI**, el concepto "Validity", junto con sus asociaciones y atributos, fue simplificado y se muestra en las siguientes Tablas 52 y 53:

Class name	Association End	Designation	Def.	Multiplicity	Target
Validity	validityTimeSpecification	Validity time specification	A specification of periods of validity defined by overall bounding start and end times and the possible intersection of valid periods with exception periods (exception periods overriding valid periods).	1..1	OverallPeriod

Tabla 52: Asociaciones con el paquete de DATEX II Validity. Fuente: [7]

Class name	Attribute	Designation	Def.	Multiplicity	Type
OverallPeriod	overallStartTime	Overall start time	Start of bounding period of validity defined by date and time.	1..1	DateTime

Tabla 53: Atributos del paquete de DATEX II Validity. Fuente: [7]

Como se puede observar en las tablas anteriores, la asociación con la clase "Period" del modelo completo de DATEX II fue eliminada, al igual que el atributo "overallEndTime" de la clase "OverallPeriod". Sin embargo, en el modelo diseñado de la tesis se decide mantener este atributo tal como se utiliza en el modelo completo de DATEX general, para especificar el final de un período cuando sea necesario (multiplicidad 0..1).

Además, se decide utilizar la ontología de Tiempo del W3C (ilustración 72). Como se explicó en la sección 4.8.4.2 de esta tesis, la NTI establece esta ontología para especificar propiedades cuyos valores están relacionados con cuestiones temporales.

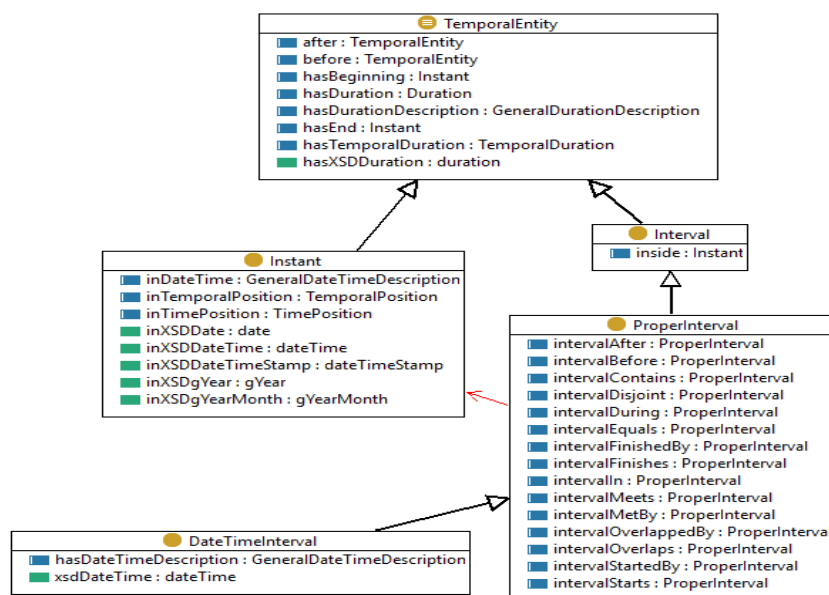


Ilustración 72: Modelo central de entidades temporales. Fuente: [104]

Por lo tanto, se llevaron a cabo los siguientes pasos para especificar las restricciones mencionadas anteriormente en las propiedades del modelo:

En primer lugar, se importa la ontología de Tiempo del W3C (time: <<http://www.w3.org/2006/time#>>).

De acuerdo con las Directrices para el uso de la Ontología de Tiempo del W3C, los “intervalos propios” son intervalos cuyos extremos son diferentes. Esto permite, entre otras cosas, el uso del cálculo estándar de intervalos y la definición de relaciones entre ellos.

Al importar la ontología TIME, se pudo definir OverallPeriod como una Entidad Temporal, concretamente como un ProperInterval ("intervalo propio" en español), exactamente como se define para ssn:Observation en la fuente citada (ver ilustración 73):

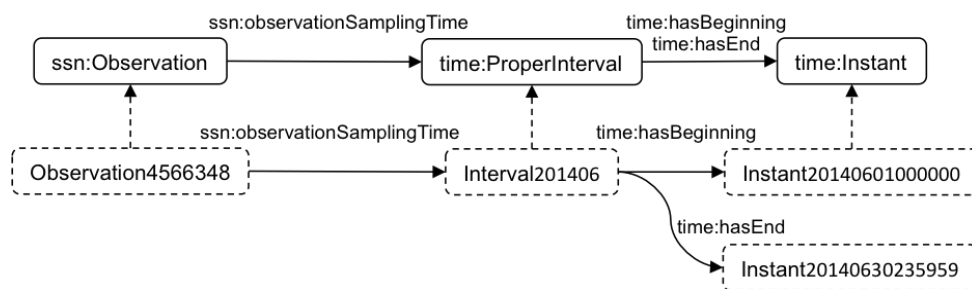


Ilustración 73: Representación de un "ProperInterval". Fuente: [104]

A su vez, al definir dtx_srti:OverallPeriod como un time:ProperInterval, se ha podido crear instancias de este utilizando las siguientes propiedades de Tiempo: time:hasBeginning y time:hasEnd, con time:Instant como rango.

En mi opinión, estas propiedades son adecuadas para especificar el inicio y el final del período de validez de un SituationRecord (dtx_srti:SituationRecord). A continuación, en el listado 14, se presentan las definiciones relacionadas en nuestro modelo:

```
##Validity
dtx_srti:Validity dtx_srti:validityTimeSpecification exactly 1 dtx_srti:OverallPeriod
dtx_srti:Validity dtx_srti:hasValidityStatus exactly 1 dtx_srti:ValidityStatusEnum

##OverallPeriod
dtx_srti:OverallPeriod rdfs:subClassOf time:ProperInterval
dtx_srti:OverallPeriod rdfs:subClassOf time:hasBeginning exactly 1 time:Instant
dtx_srti:OverallPeriod rdfs:subClassOf time:hasEnd max 1 time:Instant

## ValidityStatusEnum
dtx_srti:ValidityStatusEnum rdfs:subClassOf dtx_srti:PayloadEnumerations
dtx_srti: ValidityStatusEnum owl:equivalentTo {activeValidity , definedByValidityTimeSpec ,
planned , suspendedValidity}
```

Listado 14: Definiciones de Validity, OverallPeriod, ValidityStatusEnum en la ontología DATEX II SRTI

La ilustración 74 muestra la clase dtx_srti:Validity y sus relaciones en el editor ontológico Protégé (utilidad Ontograf):

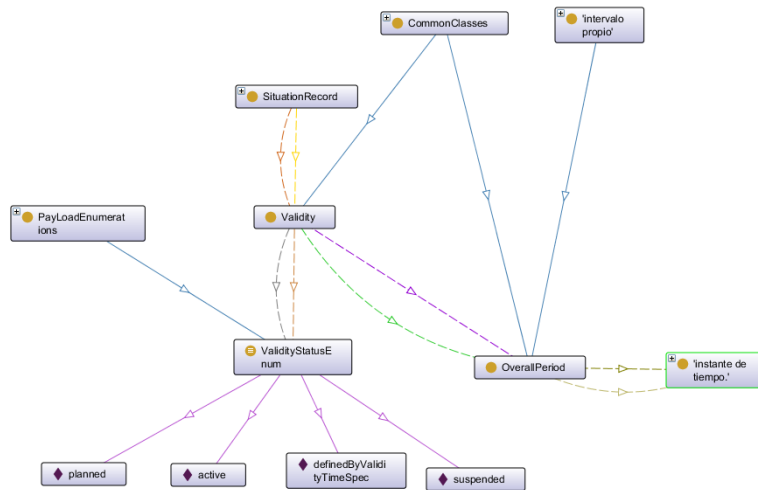


Ilustración 74: Vista de la clase Validity y sus relaciones en la ontología principal dtx-srti. Captura de Protégé-Ontograf.

4.8.4.6 Enriquecimiento semántico de tipos de datos genéricos y específicos

En esta sección se detalla cómo se incluyen los conceptos semánticos relacionados con algunos de los tipos de datos específicos del modelo DATEX II como distancias y velocidades, asegurando la interoperabilidad con otros sistemas. Ver ilustraciones 75 y 76:

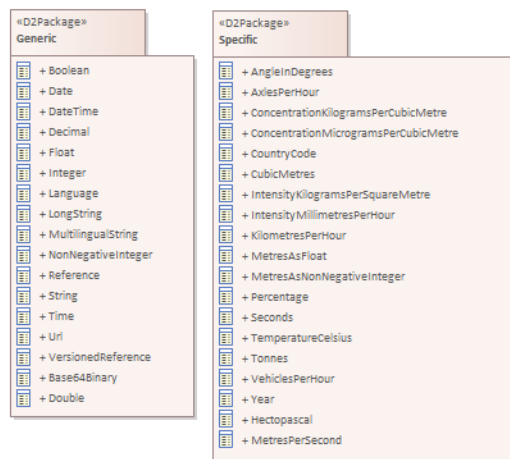


Ilustración 75: Parte de los tipos "específicos y genéricos". Paquete D2Datatype. Fuente: [19]

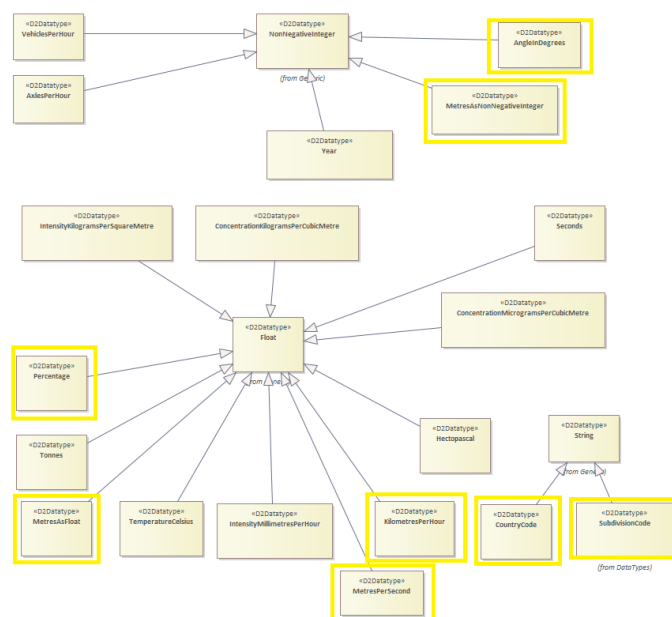


Ilustración 76: Relaciones entre los tipos "específicos y genéricos". Paquete D2Datatype. Fuente: [19]

4.8.4.6.1 Unidades de medida

Para expresar unidades de medida, se revisaron los principales vocabularios, como la **OM** (Ontology of Units of Measure) [105], **QUDT** (Quantities, Units, Dimensions and Data Types) [106] [107] y **CDT** (Custom Data Type) [108], entre otros.

QUDT está compuesto por un conjunto de vocabularios que representan diversos estándares de cantidades y unidades, y además, puede utilizarse para resolver problemas relacionados con estas.

En esta tesis, utilizo la ontología QUDT y, específicamente, la clase <http://qudt.org/schema/qudt/QuantityValue>, donde se define un valor de cantidad que expresa el valor numérico de una cantidad con respecto a una unidad de medida elegida.

En la Ontología QUDT, QuantityValue se define como se observar en la ilustración 77.

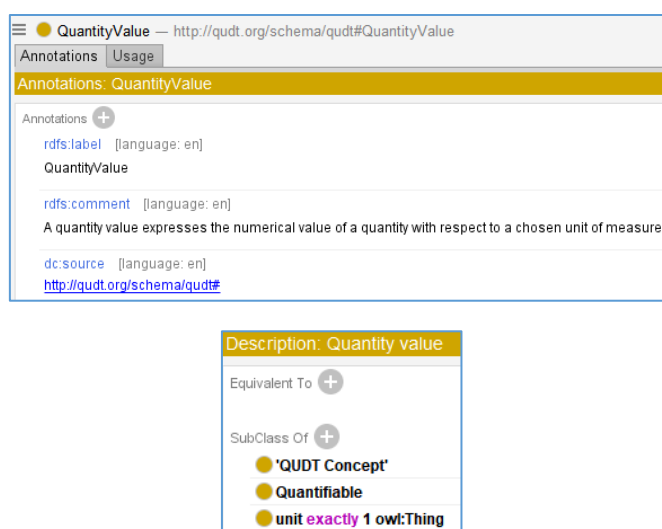


Ilustración 77: Definición del concepto Quantity Value

Donde `qudt:unit` es una propiedad de objeto con rango `qudt:Unit`. Como se puede observar en la ilustración 76 anterior, el concepto `qudt:QuantityValue` tiene una restricción en la propiedad `"unit"`. Es decir, la propiedad tiene exactamente un único valor del concepto general `owl:Thing`.

Por otro lado, el vocabulario `http://qudt.org/vocab/unit` contiene numerosas unidades de medida, donde cada una de ellas es un tipo de `qudt:Unit`.

A modo de ejemplo en el listado 15 se muestra la especificación de `unit:KiloM` (kilómetro).

```
unit:KiloM
  a qudt:DerivedUnit ;
  a qudt:Unit ;
  dcterms:description "A common metric unit of length or distance. One kilometer equals exactly
1000 meters, about 0.621 371 19 mile, 1093.6133 yards, or 3280.8399 feet. Oddly, higher multiples
of the meter are rarely used; even the distances to the farthest galaxies are usually measured in
kilometers. "^^rdf:HTML ;
  qudt:allowedUnitOfSystem sou:CGS-EMU ;
  qudt:allowedUnitOfSystem sou:CGS-GAUSS ;
  qudt:allowedUnitOfSystem sou:SI ;
  qudt:conversionMultiplier 1000.0 ;
  qudt:dbpediaMatch "http://dbpedia.org/resource/Kilometre"^^xsd:anyURI ;
  qudt:hasDimensionVector qkdv:A0E0L1I0M0H0T0D0 ;
  qudt:hasQuantityKind quantitykind:Length ;
  qudt:informativeReference "http://en.wikipedia.org/wiki/Kilometre?oldid=494821851"^^xsd:anyURI
;
  qudt:isScalingOf unit:M ;
  qudt:prefix prefix:Kilo ;
  qudt:symbol "km" ;
  qudt:ucumCode "km"^^qudt:UCUMcs ;
  qudt:uneceCommonCode "KMT" ;
  qudt:unitOfSystem sou:SI ;
  rdfs:isDefinedBy <http://qudt.org/2.1/vocab/unit> ;
  rdfs:label "Kilometer"@en-us ;
  rdfs:label "Kilometre"@en ;
```

Listado 15: Especificación kilometro en la ontología Qudt

Por lo tanto, los nuevos conceptos relacionados con las unidades de medida en el modelo son subclases de `qudt:QuantityValue` con restricciones similares en la propiedad `qudt:unit`, pero con rangos específicos que incluyen valores individuales (unidades de medida de `http://qudt.org/vocab/unit`) en lugar de la clase general `owl:Thing`. Además, cuentan con la propiedad de tipo de datos `numericValue`, con una restricción de multiplicidad y un rango de tipos XSD según el modelo DATEX II, como se muestra en las ilustraciones 78, 79 y la Tabla 54.

En la ontología principal (`dtx_srti`):

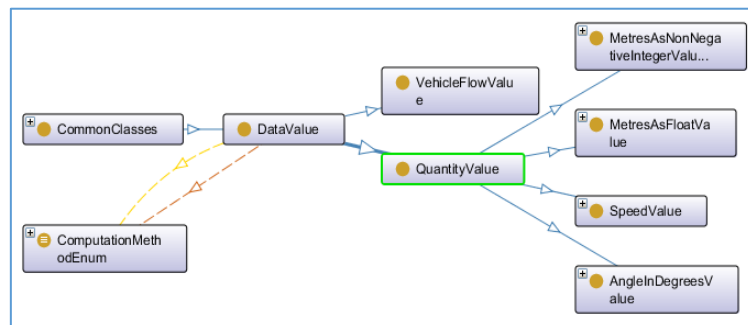


Ilustración 78: Nuevas clases basadas en QUDT en la ontología de incidentes `dtx_srti`

El siguiente paso es importar las instancias de <http://qudt.org/vocab/unit> (prefijo qudt-unit): Meter, Kilometer, Kilometer per Hour y Degree.

UoM	URI con prefijo	Usado en:	
http://qudt.org/vocab/unit		ONTOLOGIA	CLASES
Meter	qudt-unit:M	dtx-srti	MetresAsFloatValue , MetresAsNonNegativeIntegerValue
Degree	qudt-unit:DEG	dtx-srti	AngleInDegrees
Kilometer per Hour	qudt-unit:KiloM-PER-HR	dtx-srti	SpeedValue

Tabla 54: Lista de instancias importadas de QUDT (qudt-unit).

Por lo tanto, teniendo en cuenta lo comentado anteriormente, se desarrollaron los diferentes conceptos relacionados con las unidades de medida (ilustración 79):

Description: MetresAsNonNegativeIntegerValue

Equivalent To +

SubClass Of +

- numericValue some xsd:nonNegativeInteger
- QuantityValue
- unit value Meter

Description: SpeedValue

Equivalent To +

SubClass Of +

- numericValue exactly 1 xsd:float
- QuantityValue
- unit value 'Kilometer per Hour'

Description: KilometresAsFloatValue

Equivalent To +

SubClass Of +

- numericValue some xsd:float
- QuantityValue
- unit value Kilometre

Description: AngleInDegreesValue

Equivalent To +

SubClass Of +

- numericValue some xsd:nonNegativeInteger
- QuantityValue
- unit value Degree

Description: MetresAsFloatValue

Equivalent To +

SubClass Of +

- numericValue some xsd:float
- QuantityValue
- unit value Meter

Ilustración 79: Nuevas clases basadas en QUDT en la ontología de incidentes dtx_srti

Como podemos observar en la ilustración 79, todas las clases están definidas con un par de propiedades fundamentales que proporcionan significado y contexto a las medidas representadas en la ontología. Estas propiedades son:

1. **numericValue:** Una propiedad que tiene como rango un tipo de dato XSD (como `xsd:nonNegativeInteger`, `xsd:float`, etc.). Esta propiedad se utiliza para capturar el valor numérico de una cantidad medida, ya sea un ángulo, una distancia o cualquier otro valor cuantitativo. Su uso asegura que los datos numéricos se definan con precisión y sean compatibles con estándares ampliamente reconocidos.
2. **unit:** Una propiedad que asocia la cantidad medida con una unidad específica del vocabulario de unidades de QUDT (quod.org/vocab/unit). Este enfoque garantiza que todas las medidas estén contextualizadas con su unidad correspondiente, como grados, kilómetros o metros, proporcionando coherencia y claridad semántica al modelo.

A continuación, en el listado 16, se presentan algunos ejemplos de definiciones en formato Turtle RDF para estas clases:

```
### http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti#AngleInDegreesValue
dtx_srti:AngleInDegreesValue rdf:type owl:Class ;
rdfs:subClassOf qudt:QuantityValue ,
[ rdf:type owl:Restriction ;
owl:onProperty qudt:unit ;
owl:hasValue qudt-unit:DEG
] ,
[ rdf:type owl:Restriction ;
owl:onProperty qudt:numericValue ;
owl:someValuesFrom xsd:nonNegativeInteger
] ;
rdfs:comment "A measured or value of Angles. An integer number representing an angle in whole degrees between 0 and 359."@en .

*****

### http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti/roads#KilometresAsFloatValue
roads:KilometresAsFloatValue rdf:type owl:Class ;
rdfs:subClassOf qudt:QuantityValue ,
[ rdf:type owl:Restriction ;
owl:onProperty qudt:unit ;
owl:hasValue qudt-unit:KiloM
] ,
[ rdf:type owl:Restriction ;
owl:onProperty qudt:numericValue ;
owl:someValuesFrom xsd:float
] ;
rdfs:comment "A measure of distance defined in kilometres in a floating point format."@en .

*****

### http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti#MetresAsFloatValue
dtx_srti:MetresAsFloatValue rdf:type owl:Class ;
rdfs:subClassOf qudt:QuantityValue ,
[ rdf:type owl:Restriction ;
owl:onProperty qudt:unit ;
owl:hasValue qudt-unit:M
] ,
[ rdf:type owl:Restriction ;
owl:onProperty qudt:numericValue ;
owl:someValuesFrom xsd:float
] ;
rdfs:comment "A measure of distance defined in metres in a floating point format."@en .

*****
```

Listado 16: Definiciones de diferentes unidades de medida en la ontología de incidentes de tráfico DATEX II SRTI

Por ejemplo, uno de estos tipos-clases se utiliza en la propiedad de objeto `dtx_srti:distanceAlong`, en lugar del tipo de dato perteneciente al esquema DATEX II (paquete D2Datatype). En el listado 17 se muestra la propiedad de objeto `distanceAlong` en la ontología DATEX II SRTI en formato RDF/XML.

```
<!-- http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti#distanceAlong -->
<owl:ObjectProperty rdf:about="http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti#distanceAlong">
  <rdfs:domain>
    <owl:Class>
      <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
        <rdf:Description
rdf:about="http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti#DistanceFromLinearElementReferent"/>
```

```

<rdf:Description
rdf:about="http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti#DistanceFromLinearElementStart"/>
  <owl:unionOf>
    <owl:Class>
      </rdfs:domain>
      <rdfs:range rdf:resource="http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti#MetresAsFloatValue"/>
      <rdfs:comment xml:lang="en">A measure of distance along a linear element.</rdfs:comment>
    </owl:Class>
  </owl:unionOf>
</owl:Description>

```

Listado 17: Propiedad distanceAlong en la ontología DATEX II SRTI

A continuación, en el listado 18, podemos ver parcialmente una instancia de SituationRecord que muestra la propiedad distanceAlong.

```

<dtx_srti:DistanceFromLinearElementStart>
  <dtx_srti:distanceAlong>
    <qdt:QuantityValue>
      <qdt:numericValue rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float">
90.0</qdt:numericValue>
      <qdt:unit rdf:resource="http://vocab.org/vocab/unit#M"/>
    </qdt:QuantityValue>
  </dtx_srti:distanceAlong>
</dtx_srti:DistanceFromLinearElementStart>

```

Listado 18: Uso de la propiedad distanceAlong en la ontología DATEX II SRTI en una instancia de SituationRecord

En el listado 18, se especifica una distancia con un valor de 90.0 metros.

4.8.4.7 Información referente a las carreteras donde ocurren los incidentes en la ontología SRTI

En el modelo DATEX II, la información sobre una carretera se expresa utilizando los tipos de datos "MultilingualString" o "String":

- **MultilingualString:** Es una cadena de texto multilingüe que permite expresar el mismo texto en varios idiomas.
- **String:** Es una cadena de caracteres cuya longitud es finita. Cada carácter corresponde a un punto de código en el conjunto de caracteres universal definido en ISO/IEC 10646.

4.8.4.7.1 Atributos Relacionados con la Información de Carreteras

Por otro lado, la información de una carretera puede representarse mediante:

- El valor del atributo **roadNumber** en la clase **LinearElement**.
- El valor del atributo **roadNumber** en la clase **RoadInformation**.
- El valor del atributo **description** en la clase **TpegOtherPointDescriptor**, cuando el atributo **tpegOtherPointDescriptorType** tiene como valor el literal de enumeración **linkName**, perteneciente a la enumeración **tpegLoc03OtherPointDescriptorSubtypeEnum**.

Las ilustraciones que se muestran a continuación (80, 81 y 82) muestran cómo se modelan estos aspectos en UML dentro de DATEX II.

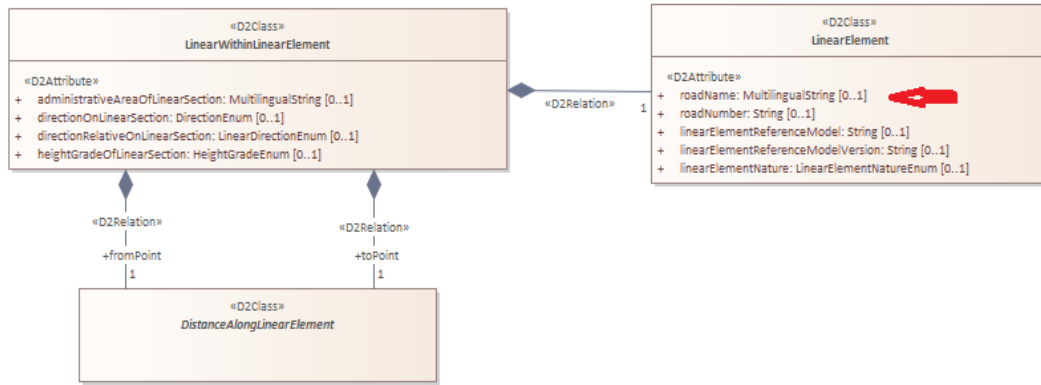


Ilustración 80: Clase LinearElement y el atributo roadNumber:String [0..1]. Fuente: [19]

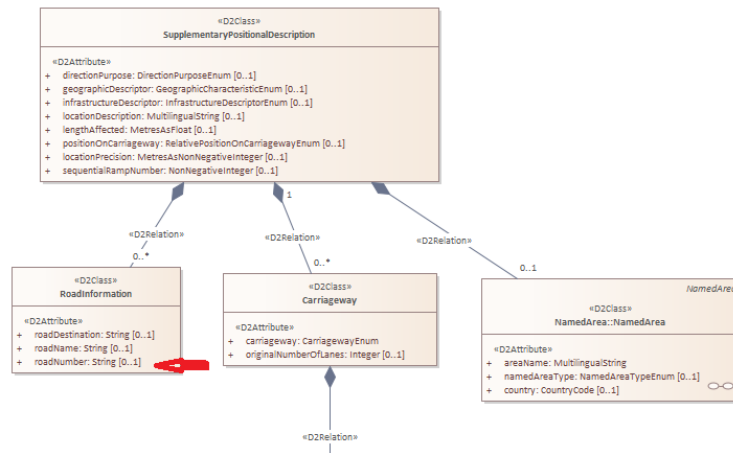


Ilustración 81: Clase RoadInformation y el atributo roadNumber:String [0..1]. Fuente: [19]

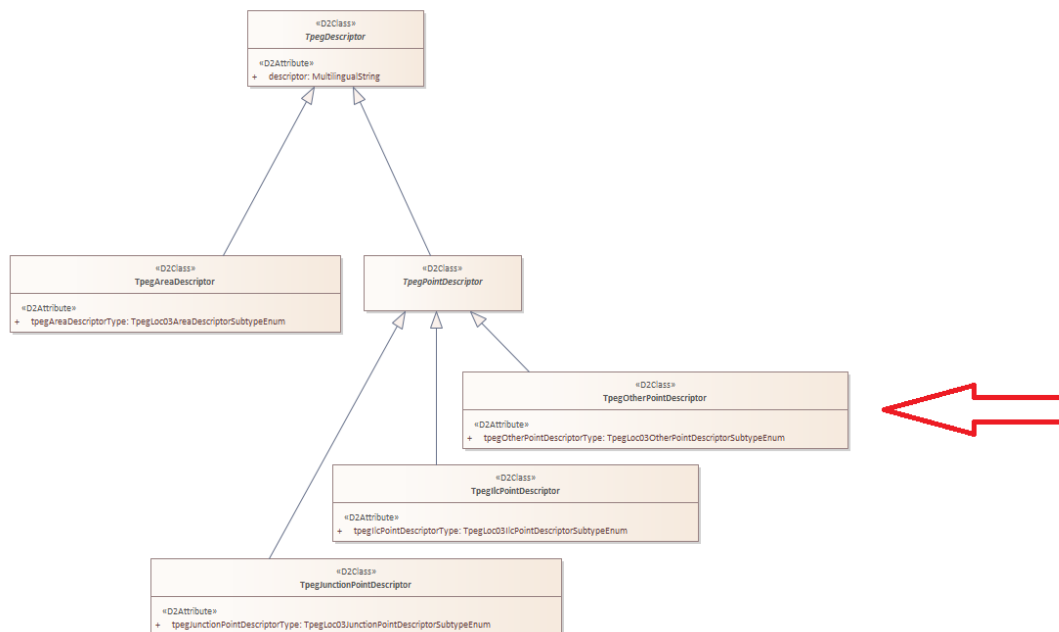


Ilustración 82: Clase TpegDescriptor y sus subclases, donde se incluye el atributo tpegOtherPointDescriptorType. Fuente: [19]

Una de las enumeraciones relevantes en DATEX II es TpegLoc03OtherPointDescriptorSubtypeEnum (ilustración 82). Esta enumeración incluye varios literales, de los cuales algunos se relacionan directamente con temas de carreteras:

- linkName
- localLinkName

Como se muestra en la ilustración 83, el atributo tpegOtherPointDescriptorType tiene como rango los valores de esta enumeración.

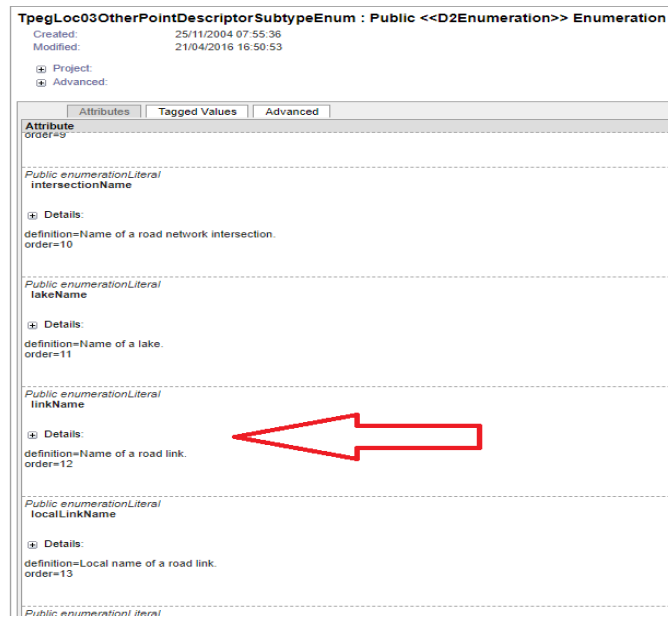


Ilustración 83 :Enumeración "linkName" de TpegLoc03OtherPointDescriptorSubtypeEnum. Fuente: [19]

Es importante destacar que, con el objetivo de simplificar y garantizar la escalabilidad, se decidió crear un par de ontologías independientes: una ontología satélite específica para los conceptos relacionados con las **carreteras** y otra para las **unidades administrativas**.

Estas ontologías cuentan con su descripción y documentación en secciones anteriores de esta tesis, lo que proporciona una base sólida para el desarrollo de la ontología principal. A continuación, se explicará cómo se vincula la ontología principal con la ontología satélite denominada **roads**.

4.8.4.7.2 Aspectos sobre Carreteras y Vinculación en la Ontología Principal

En la ontología principal SRTI, se definieron las propiedades de objeto hasRoadNumber y descriptor, con el rango posible roads#RoadNumber, como se ilustra en la ilustración 84:

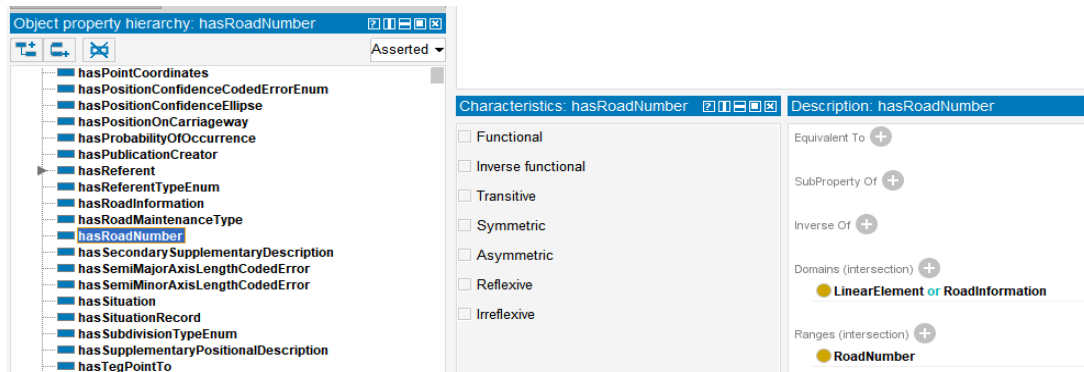


Ilustración 84: Definición de la propiedad "hasRoadNumber"

Estas propiedades se utilizan para las definiciones de las clases RoadInformation y LinearElement de acuerdo con el perfil SRTI, con una multiplicidad de 0..1. Esto asegura que estas clases puedan estar asociadas a un único número de carretera si aplica, lo que sigue las reglas del modelo DATEX II, como se puede observar en la ilustración 85:

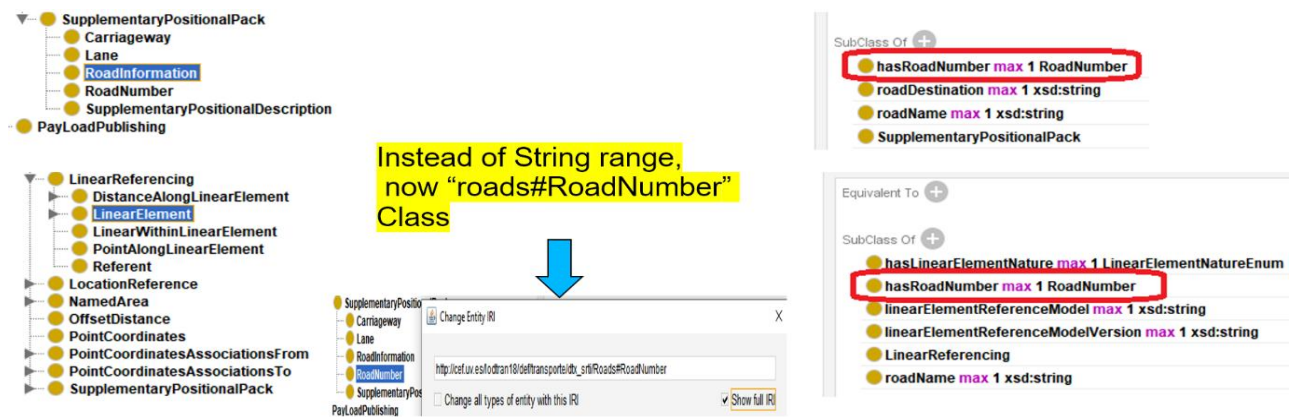


Ilustración 85: Vista de las clases y propiedades relacionadas con "RoadNumber"

Ejemplos de Instancias

A modo de ejemplo, como se puede observar en listado 19, dos posibles instancias de carreteras pueden ser configuradas utilizando la propiedad **hasRoadNumber**, asignando valores únicos que identifican las carreteras específicas dentro del modelo.

```
<dtx_srti:hasRoadInformation>
  <dtx_srti:RoadInformation>
    <dtx_srti:hasRoadNumber
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti/roads/CarreterasRCE/A-3"/>
    </dtx_srti:RoadInformation>
  </dtx_srti:hasRoadInformation>

<dtx_srti:hasLinearElement>
  <dtx_srti:LinearElement>
    <dtx_srti:hasRoadNumber
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti/roads/CarreterasRCE/A-3"/>
    </dtx_srti:LinearElement>
  </dtx_srti:hasLinearElement>
```

Listado 19: Ejemplo instancias de carreteras configuradas con la propiedad hasRoadNumber en la Ontología DATEX II SRTI

Descripciones para Ubicaciones TPEG

En lo que respecta a las descripciones de ubicaciones TPEG, en lugar de utilizar cadenas de texto (String), el rango ahora se define como **roads#RoadNumber** o **adu#AdministrativeUnit**. Esto permite un vínculo semántico más rico y preciso para describir elementos geográficos.

La ilustración 86 presenta las definiciones de las clases **dtx_srti:TpegDescriptor** y **dtx_srti:TpegOtherPointDescriptor**, destacando los cambios realizados:

- El atributo original **descriptor** del modelo DATEX II se renombra como **dtx_srti:descriptorString** para todos los valores posibles distintos de **AdministrativeUnit** y **RoadNumber**.
- Ahora, la propiedad **descriptor** se utiliza exclusivamente para los casos específicos de **AdministrativeUnit** y **RoadNumber**, asegurando consistencia y claridad semántica en el modelo.

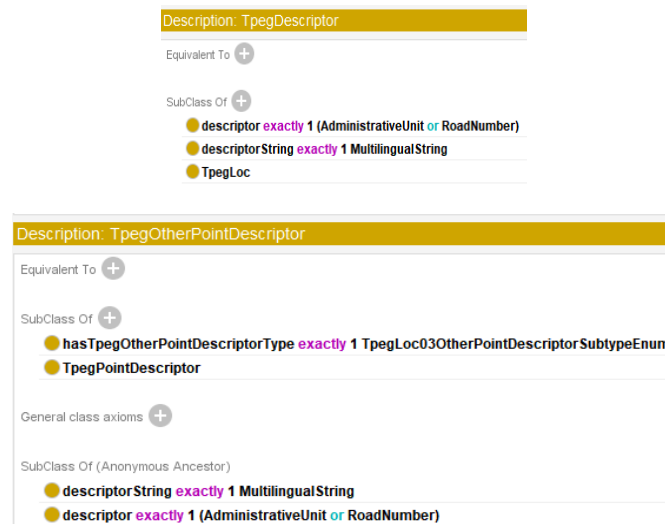


Ilustración 86: Vista de las clases para las localizaciones TPEG

Ejemplo de Instancia: TpegOtherPointDescriptor

Un posible ejemplo de instancia para la clase **TpegOtherPointDescriptor**, cuando el tipo es **linkName**, podría definirse como consta en el listado 20.

```
<dtx_srti:hasTpegOtherPointDescriptor>
  <dtx_srti:TpegOtherPointDescriptor>
    <dtx_srti:descriptor
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti/roads/CarreterasRCE/A-3"/>
    <dtx_srti:hasTpegOtherPointDescriptorType
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti#linkName"/>
    </dtx_srti:TpegOtherPointDescriptor>
  </dtx_srti:hasTpegOtherPointDescriptor>
```

Listado 20: Instancia para la clase *TpegOtherPointDescriptor* en la ontología DATEX II SRTI

Esta integración y renombramiento aseguran que la ontología sea flexible, escalable y capaz de manejar tanto descripciones textuales como referencias a entidades semánticas definidas en las ontologías satélite de carreteras y unidades administrativas en esta tesis.

4.8.4.7.3 Aspectos de las Unidades Administrativas y Vinculación en la Ontología Principal

En la ontología principal SRTI, se define una clase llamada **AdministrativeUnit**, diseñada para representar unidades administrativas y utilizada por tres propiedades clave, como se muestra en la ilustración 87:

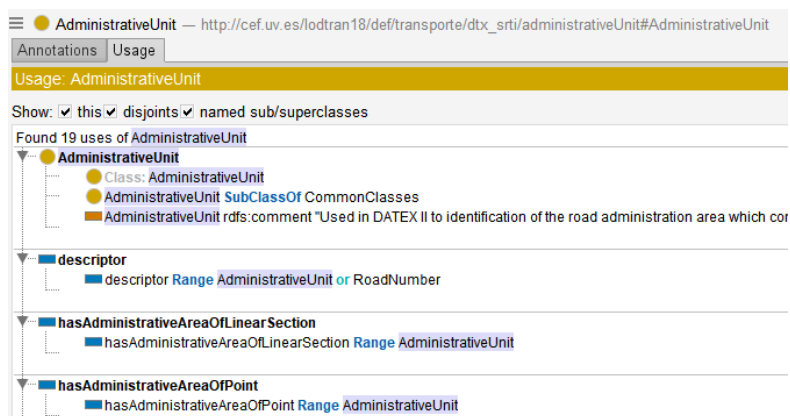


Ilustración 87: Uso de la ontología *AdministrativeUnit* en el modelo ontológico SRTI

Propiedades Relacionadas

En el modelo principal de la Ontología SRTI, las propiedades **hasAdministrativeAreaOfLinearSection**, **hasAdministrativeAreaOfPoint** y **descriptor** tienen como rango posible **adu#AdministrativeUnit**. Estas propiedades permiten asociar las entidades del modelo SRTI con las unidades administrativas definidas en la ontología satélite de unidades administrativas. La ilustración 88 detalla las dos primeras propiedades mencionadas:

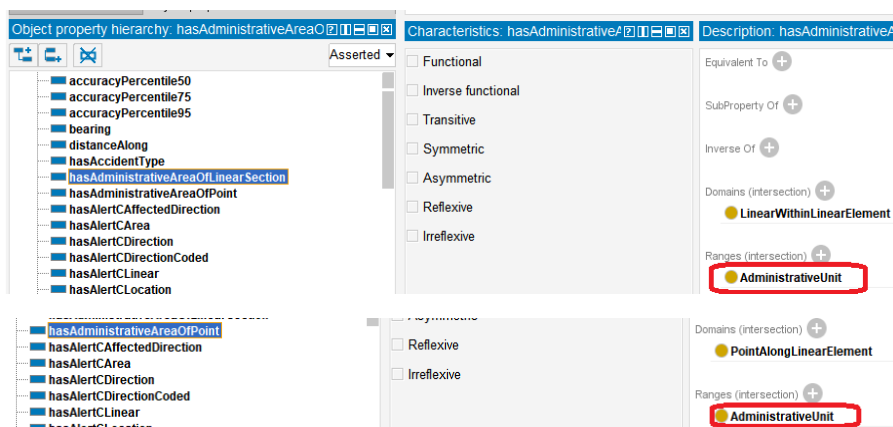


Ilustración 88: Propiedades de objeto para especificar la Unidad Administrativa

Aplicación en el Modelo SRTI

Estas propiedades se utilizan para las definiciones de las clases **LinearWithinLinearElement** y **PointAlongLinearElement**, conforme al perfil SRTI, con una multiplicidad de **0..1**. Esto asegura que las entidades puedan estar asociadas a una única unidad administrativa en casos aplicables. Las definiciones detalladas de estas clases se presentan en la ilustración 89.

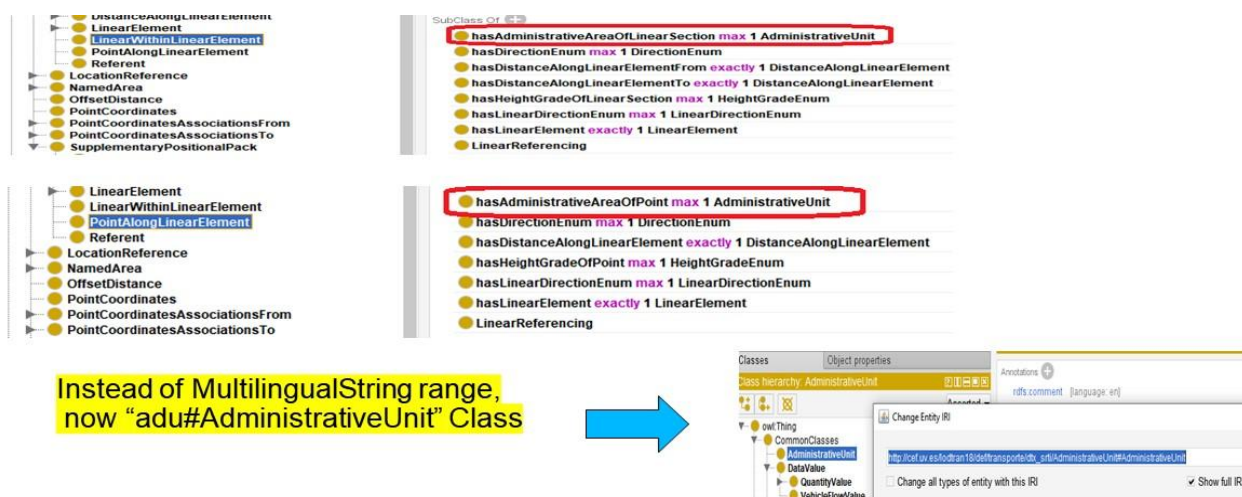


Ilustración 89: Definiciones de unidades administrativas para "LinearWithinLinearElement" and "PointAlongLinearElement".

Uso de la Propiedad "descriptor"

Al igual que en los aspectos relacionados con las carreteras, la propiedad **descriptor** también se utiliza para otras descripciones de TPEG, específicamente en la clase **TpegOtherPointDescriptor**. La ilustración 90 muestra cómo esta propiedad se aplica en las clases **TpegDescriptor** y **TpegOtherPointDescriptor**, permitiendo describir ubicaciones con mayor detalle.

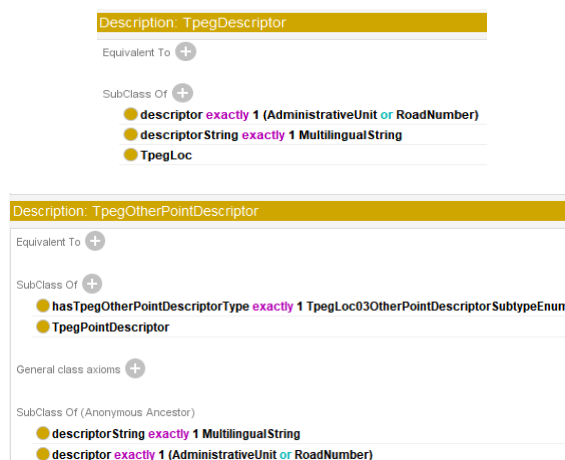


Ilustración 90: Definiciones de unidades administrativas para "TpegDescriptor" and "TpegOtherPointDescriptor".

Ejemplo de Instancia

El modelo desarrollado permite instanciar elementos utilizando estas propiedades y clases. Un ejemplo podría incluir la asociación de un elemento lineal o puntual con una unidad administrativa específica, utilizando las propiedades mencionadas para establecer vínculos claros y semánticamente ricos. Ver listado 21.

```
<dtx_srti:hasAdministrativeAreaOfLinearSection
rdf:resource="http://cef.uv.es/odtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/madrid"/>

<dtx_srti:hasAdministrativeAreaOfPoint
rdf:resource="http://cef.uv.es/odtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/tarragona"/>

<dtx_srti:hasTpegOtherPointDescriptor>
<dtx_srti:TpegOtherPointDescriptor>
```



```
<dtx_srti:descriptor
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Poblacion/SANT PERE I
SANT PAU "/>
<dtx_srti:hasTpegOtherPointDescriptorType
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodtran18/def/transporte/dtx_srti#townName"/>
</dtx_srti:TpegOtherPointDescriptor>
</dtx_srti:hasTpegOtherPointDescriptor>
```

Listado 21: Ejemplo RDF de enlace de la ontología de incidentes de tráfico SRTI con la ontología de unidades administrativas.

4.8.4.8 Clases y Propiedades OWL de las Condiciones de la Carretera

En esta sección se describen algunas de las clases y propiedades definidas en la ontología para modelar las condiciones de la carretera que pueden afectar la conducción. Estas condiciones están organizadas jerárquicamente y se vinculan mediante restricciones y propiedades específicas, proporcionando un modelo semántico rico y estructurado. A continuación, se presentan los fragmentos RDF que ilustran estas definiciones.

Clase Conditions

La clase **Conditions** representa cualquier condición que tenga el potencial de degradar las condiciones normales de conducción. Su definición incluye:

- **Jerarquía:** Se define como subclase de **TrafficElement**, lo que la ubica dentro del contexto de los elementos del tráfico.
- **Restricciones:** Incluye una restricción en la propiedad **hasDrivingConditionTypeEnum**, que limita la cardinalidad máxima a uno, asegurando que cada instancia de **Conditions** esté asociada a un único tipo de condición.
- **Disyunción:** Es disjunta con la clase **Obstruction**, garantizando que no existan conflictos semánticos entre ambas.

El listado 22 muestra un ejemplo de la clase Conditions en la ontología DATEX II SRTI.

```
### http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#Conditions
dtx_srti:Conditions rdf:type owl:Class ;
  rdfs:subClassOf dtx_srti:TrafficElement ,
  [
    rdf:type owl:Restriction ;
    owl:onProperty dtx_srti:hasDrivingConditionTypeEnum ;
    owl:maxQualifiedCardinality "1"^^xsd:nonNegativeInteger ;
    owl:onClass dtx_srti:DrivingConditionTypeEnum
  ] ;
owl:disjointWith dtx_srti:Obstruction ;
rdfs:comment "Any conditions which have the potential
to degrade normal driving conditions."
```

Listado 22: Ejemplo de la clase Conditions en la ontología DATEX II SRTI

Clase RoadSurfaceConditions

La clase **RoadSurfaceConditions** describe las condiciones de la superficie de la carretera que pueden afectar la conducción. Estas condiciones pueden estar relacionadas con el clima (hielo, nieve, agua, etc.) o con otros factores (aceite, barro, hojas, etc.). Su definición incluye:

- **Jerarquía:** Es una subclase de **Conditions**, heredando sus restricciones y propiedades.
- **Descripción:** Incluye un comentario detallado en inglés que explica su propósito y alcance.

El listado 23 muestra un ejemplo de la clase RoadSurfaceConditions en la ontología DATEX II SRTI.

```
### http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#RoadSurfaceConditions
dtx_srti:RoadSurfaceConditions rdf:type owl:Class ;
  rdfs:subClassOf dtx_srti:Conditions ;
  rdfs:comment "Conditions of the road surface which may affect driving conditions.
These may be related to the weather (e.g. ice, snow etc.)
or to other conditions (e.g. oil, mud, leaves etc. on the road)"@en .
```

Listado 23: Ejemplo de la clase Conditions en la ontología DATEX II SRTI

Clase WeatherRelatedRoadConditions

La clase **WeatherRelatedRoadConditions** representa las condiciones de la superficie de la carretera que están relacionadas específicamente con el clima, como hielo, nieve o agua. Su definición incluye:

- **Jerarquía:** Es una subclase de **RoadSurfaceConditions**, proporcionando un nivel más específico de descripción.
- **Restricciones:** Incluye una restricción en la propiedad **hasWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum**, que limita los valores posibles al rango definido por **WeatherRelatedRoadConditionType**.
- **Complementariedad:** Define que estas condiciones son complementarias a **NonWeatherRelatedRoadConditions**, asegurando que ambas categorías estén claramente diferenciadas.

El listado 24 muestra un ejemplo de la clase WeatherRelatedRoadConditions en la ontología DATEX II SRTI.

```
### http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#WeatherRelatedRoadConditions
dtx_srti:WeatherRelatedRoadConditions rdf:type owl:Class ;
  rdfs:subClassOf dtx_srti:RoadSurfaceConditions ,
  [ rdf:type owl:Class ;
    owl:complementOf dtx_srti:NonWeatherRelatedRoadConditions
  ] ,
  [ rdf:type owl:Restriction ;
    owl:onProperty dtx_srti:hasWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum ;
    owl:someValuesFrom dtx_srti:WeatherRelatedRoadConditionType
  ] ;
  rdfs:comment "Road surface conditions that are related to the weather which may affect
the driving conditions, such as ice, snow or water."@en .
```

Listado 24: Ejemplo de la clase WeatherRelatedRoadConditions en la ontología DATEX II SRTI

4.8.4.9 Documentación de la Ontología con WIDOCO

La transparencia y la reutilización son principios clave para maximizar el impacto de las ontologías en el ámbito de los datos abiertos. En este sentido, se ha documentado la ontología desarrollada para el dominio SRTI (Safety-Related Traffic Information) utilizando WIDOCO (Widely Used Ontology Documentation Tool). Esta herramienta, ampliamente reconocida en el ámbito de la Web Semántica, ofrece un enfoque estructurado y estandarizado para la documentación de ontologías, lo que facilita su comprensión, integración y uso en aplicaciones diversas.

El uso de WIDOCO permite:

- **Estandarización y claridad:** La documentación generada sigue estándares ampliamente aceptados, garantizando que las descripciones de clases, propiedades y axiomas sean precisas y comprensibles.
- **Interoperabilidad técnica:** La documentación se presenta en formato HTML navegable, compatible con sistemas de búsqueda semántica y reutilización de datos.
- **Contexto ampliado:** La herramienta enriquece la documentación con gráficos de relaciones, anotaciones detalladas y ejemplos de aplicación que destacan las posibilidades de integración.
- **Multilingüismo:** Permite incluir documentación en múltiples idiomas, adaptándose a las audiencias locales e internacionales.

4.8.4.9.1 Acceso a la Documentación SRTI

La documentación generada con WIDOCO se encuentra disponible en el siguiente enlace: https://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/.

Esta página incluye:

- Una visión general del propósito y la estructura de la ontología.
- Detalles sobre las clases y propiedades, con ejemplos prácticos de instancias.
- Gráficos que ilustran relaciones y dependencias entre entidades.
- Enlaces hacia vocabularios relevantes, ampliando el contexto semántico.

4.8.4.9.2 Metodología de Generación

El proceso de documentación incluyó las siguientes etapas:

1. **Preparación de la ontología:** Las anotaciones semánticas, como `rdfs:label`, `rdfs:comment` y `dc:description`, se revisaron y enriquecieron para garantizar la coherencia y el detalle.
2. **Generación automática:** WIDOCO se utilizó para extraer y estructurar las anotaciones en un formato HTML navegable, complementado con visualizaciones gráficas.
3. **Publicación:** Los resultados se publicaron en un servidor accesible al público, asegurando que la documentación esté disponible para desarrolladores y usuarios interesados.

4.8.4.9.3 Impacto en el Proyecto SRTI

La documentación generada refuerza el valor de la ontología al:

- Facilitar su integración en otros sistemas y estándares, como GeoSPARQL y DCAT-AP.
- Apoyar el desarrollo de aplicaciones avanzadas que aprovechen datos de tráfico en tiempo real.
- Promover la adopción de los principios FAIR.

Esta documentación constituye un componente fundamental para garantizar que la ontología SRTI no solo sea técnicamente sólida, sino también accesible y aplicable a diversos contextos tecnológicos y operativos.

4.8.4.10 Publicación en repositorios semánticos

Para maximizar la visibilidad y fomentar la reutilización de la ontología SRTI, esta ha sido publicada en el repositorio **Linked Open Vocabularies (LOV)**, disponible en el siguiente enlace: https://lov.linkeddata.es/dataset/lov/vocabs/dtx_srti.

LOV es un repositorio de referencia en el ámbito de la Web Semántica, que facilita el descubrimiento, la evaluación y la reutilización de vocabularios y ontologías. La inclusión de la ontología SRTI en este repositorio aporta varios beneficios clave:

- **Mayor visibilidad:** Al estar indexada en un repositorio reconocido, la ontología alcanza un público más amplio, incluyendo investigadores, desarrolladores y organismos interesados en soluciones basadas en datos abiertos.
- **Conexión con otros vocabularios:** LOV proporciona una visión integrada de las relaciones entre vocabularios, lo que permite identificar posibles enlaces con otros estándares relevantes como GeoSPARQL, QUDT y DCAT.
- **Cumplimiento de principios FAIR:** La publicación en LOV refuerza la adherencia de la ontología a los principios de encontrabilidad e interoperabilidad, facilitando su localización y uso por herramientas semánticas.
- **Ecosistema de Linked Data:** La ontología se posiciona dentro de un ecosistema de vocabularios interoperables, promoviendo su adopción en proyectos internacionales y aplicaciones avanzadas.

Impacto y Seguimiento

La publicación en LOV no solo amplía el alcance de la ontología SRTI, sino que también permite un seguimiento de su impacto a través de métricas proporcionadas por el repositorio, como el número de referencias y reutilizaciones en proyectos externos. Esto proporciona información valiosa para futuras actualizaciones y mejoras.

4.9 Conclusiones Generales de las Ontologías Relacionadas con SRTI

El diseño y construcción de las tres ontologías presentadas en esta tesis (Unidades Administrativas, Carreteras y SRTI) constituyen una aportación clave para estructurar y analizar datos relacionados con la seguridad vial. Cada ontología cumple un propósito específico: la ontología de Unidades Administrativas proporciona un marco geográfico, la ontología de Carreteras describe la infraestructura vial y la ontología SRTI actúa como núcleo integrador para modelar incidentes de tráfico. Este último enfoque se introdujo inicialmente en una publicación en la conferencia EATIS '22: Proceedings of the 11th Euro American Conference on Telematics and Information Systems [109], donde se detallan los principios fundamentales para la semantización de datos de tráfico y su integración en sistemas interoperables. Posteriormente, estos conceptos se expandieron en una publicación en la revista Information [110], abordando aplicaciones específicas en el contexto SRTI.

De forma complementaria, el trabajo realizado en la ontología LOD-RoadTran18 ha sido reconocido en otras iniciativas científicas internacionales. En particular, el artículo *“Intelligent Urban Traffic Management via Semantic Interoperability across Multiple Heterogeneous Mobility Data Sources”* [111] valora positivamente esta ontología por su construcción metodológicamente rigurosa siguiendo principios sólidos de ingeniería ontológica, su capacidad para representar datos DATEX II como Linked Open Data, y su reutilización como base semántica en proyectos europeos como TANGENT. Además, se destaca que el modelo supera en calidad a

enfoques basados en conversiones automáticas, convirtiéndose en una referencia clave para la interoperabilidad semántica en el ámbito del transporte inteligente. Este reconocimiento externo refuerza la validez y aplicabilidad del modelo ontológico desarrollado, demostrando su impacto más allá del contexto de esta tesis.

Estas ontologías no solo funcionan de manera independiente, sino que están estrechamente conectadas, permitiendo un análisis integral de los datos. Por ejemplo, la integración de la ontología SRTI con las de Unidades Administrativas y Carreteras facilita la vinculación de un incidente con su ubicación geográfica, las condiciones de la vía afectada y otros datos contextuales, como las condiciones meteorológicas o la disponibilidad de electrolineras cercanas.

El desarrollo de estas ontologías refleja un esfuerzo por garantizar la interoperabilidad, utilizando estándares internacionales como GeoSPARQL y la Ontología de Tiempo del W3C. Además, el modelo semántico resultante permite inferencias avanzadas, como la identificación de zonas de alta siniestralidad o la clasificación automática de incidentes críticos bajo condiciones meteorológicas específicas.

A pesar de los desafíos encontrados, como la integración de datos heterogéneos y la representación de relaciones complejas, las soluciones adoptadas, como la normalización previa de los datos y la formalización rigurosa de las ontologías, aseguraron un modelo coherente y reutilizable. Este enfoque, junto con las contribuciones detalladas en el artículo derivado de esta tesis [110], subraya la capacidad de estas ontologías para enriquecer el análisis de datos abiertos en el ámbito de la seguridad vial.

En conclusión, estas tres ontologías no solo abordan las necesidades actuales de análisis de datos relacionados con incidentes de tráfico, sino que también sientan las bases para futuras extensiones en otros dominios, como el transporte público o la gestión ambiental. Su implementación demuestra la capacidad de los modelos semánticos para enriquecer el análisis de datos abiertos y mejorar la toma de decisiones en el contexto de la seguridad vial.

5 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

5.1 Resumen

En este capítulo se presenta una descripción integral de la arquitectura desarrollada para gestionar, integrar y publicar datos de tráfico como LOD. Esta arquitectura incluye componentes diseñados para la semantización, integración de datos provenientes de diversas fuentes, tales como, incidentes de tráfico, unidades administrativas, datos de carreteras, electrolinerías y observaciones meteorológicas de AEMET. También aborda la federación del grafo de incidentes en los portales de datos abiertos de España y Europa, facilitando su acceso y reutilización a nivel nacional e internacional.

El capítulo detalla el diseño y los diferentes componentes y procesos clave, como el Lod Converter, responsable de transformar datos de incidentes de DATEX II en formato XML a formatos semánticos como RDF y su publicación en herramientas como Lod View para explorar y consultar los datos semantizados en tiempo real. Además, se describen los métodos para unificar todas las fuentes de datos mediante la aplicación de reglas de inferencia, así como los sistemas de visualización en mapas interactivos desarrollados con Angular y Leaflet, y la generación de informes en Power BI.

5.2 Definición de interfaces en España

Dentro del **NAP de la DGT**, se encuentra instalada una instancia de **CKAN** que permite la gestión y distribución de datos abiertos relacionados con el tráfico. Este CKAN incluye un plugin de Virtuoso que habilita tanto la descarga de archivos RDF de incidentes de tráfico como la ejecución de consultas SPARQL[112] directamente desde la plataforma. Esta funcionalidad ofrece una solución robusta para investigadores, desarrolladores y otras entidades interesadas, facilitando el acceso a datos en formatos reutilizables y promoviendo la interoperabilidad en el ámbito de los datos abiertos.

La interfaz SPARQL se ha diseñado con el objetivo de proporcionar un acceso eficiente y flexible a los datos almacenados en un endpoint de Virtuoso Open Server, permitiendo tanto consultas directas como federadas. Esta implementación responde a la necesidad de integrar y consultar datos sobre infraestructura y transporte en el contexto de España, facilitando su acceso a diferentes entidades interesadas en la información vial.

Para apoyar a los usuarios que no tienen un dominio avanzado del lenguaje SPARQL, la interfaz incluye ejemplos prácticos que muestran el potencial de este tipo de consultas en escenarios reales. Estos ejemplos permiten a los usuarios familiarizarse con el uso de SPARQL y con las características específicas de los datos disponibles, acelerando así el proceso de aprendizaje y optimización de sus consultas.

La ilustración 91 presenta una introducción dentro de la interfaz, explicando los conceptos básicos de SPARQL y proporcionando una serie de consultas de ejemplo en campos desplegables. Estas consultas no sólo ilustran cómo extraer información clave, sino que también destacan cómo realizar consultas federadas que combinan datos de varias fuentes, lo cual es esencial para obtener un contexto enriquecido en los análisis.

Además, la ilustración 92 muestran en detalle la interfaz, que integra un editor de texto para formular las consultas SPARQL y un botón para ejecutarlas. Los resultados se presentan en una tabla situada debajo del editor, donde los datos se muestran en texto plano y como datos

enlazados, permitiendo a los usuarios interactuar con la información de forma visual y estructurada.

Esta interfaz SPARQL no solo facilita el acceso a los datos, sino que también contribuye a la interoperabilidad en el contexto de los datos abiertos en España, permitiendo a usuarios de distintos niveles de competencia interactuar con los datos de manera efectiva. En última instancia, esta herramienta se convierte en una base esencial para la realización de análisis más profundos sobre incidentes de tráfico y datos viales a nivel nacional, promoviendo la integración y la accesibilidad en el ámbito de los datos abiertos y la web semántica en el país.

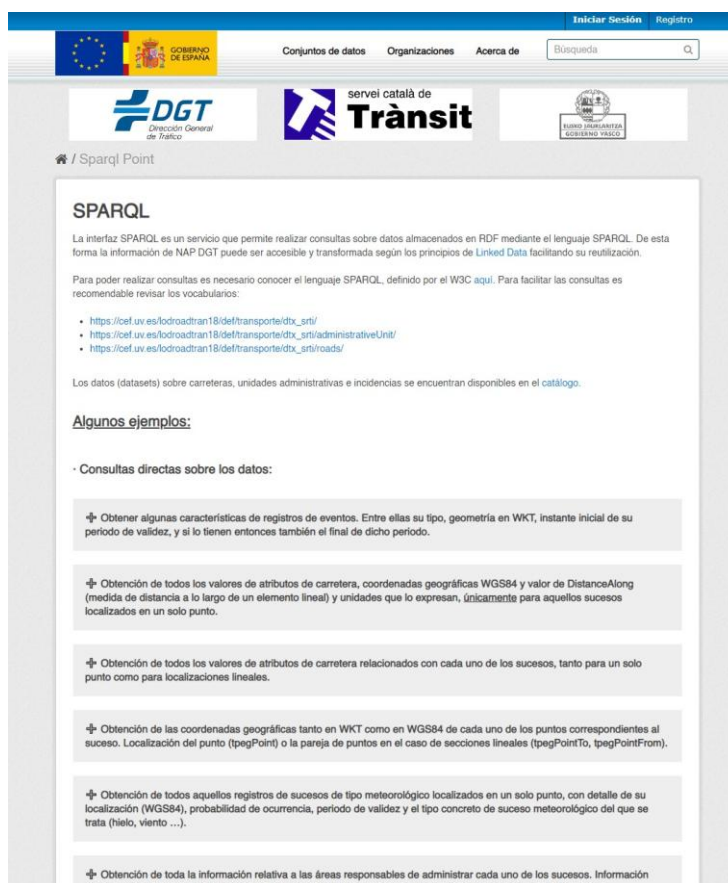


Ilustración 91: Definiciones de unidades administrativas para “TpegDescriptor” and “TpegOtherPointDescriptor”.

Editor de consultas SPARQL

```

1 PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
2 PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
3
4 SELECT DISTINCT ?Graph ?Class ?LabelC ?Property ?LabelP
5 {
6     GRAPH ?Graph {
7         ?Property a rdf:Property .
8         ?s ?Property ?o ;
9         a          ?Class .
10        ?Class rdfs:label ?LabelC .
11        ?Property rdfs:label ?LabelP .
12    }
13    # Depends on the URL
14 VALUES ?Graph { <http://localhost:8890/CARRETERAS> }
15 }
16 ORDER BY ?Graph ?Class ?Property
17 LIMIT 20

```

Ejecutar consulta

Permanent links:

- [JSON Format](#) (You can copy the permanent link below)
<http://sapir2.uv.es/query?query=PREFIX+void%3A+%3Chttp%3A%2F2Frdfs.org%2Fns%2Fvoid%23%3E+PREFIX+geo%3A+%3Chttp%3A%2F2Frdfs.org%2Fns%2Fvoid%23%3E&format=json>
- [TURTLE Format](#) (You can copy the permanent link below)
<http://sapir2.uv.es/query?query=PREFIX+void%3A+%3Chttp%3A%2F2Frdfs.org%2Fns%2Fvoid%23%3E+PREFIX+geo%3A+%3Chttp%3A%2F2Frdfs.org%2Fns%2Fvoid%23%3E&format=turtle>
- [CSV Format](#) (You can copy the permanent link below)
<http://sapir2.uv.es/query?query=PREFIX+void%3A+%3Chttp%3A%2F2Frdfs.org%2Fns%2Fvoid%23%3E+PREFIX+geo%3A+%3Chttp%3A%2F2Frdfs.org%2Fns%2Fvoid%23%3E&format=csv>

[Permanent Link for this Query \(To save your Query\)](#)

#	Graph	Class	LabelC	Property	LabelP
1	http://localhost:8890/ CARRETERAS	http://ef.uv.es /doadroadtran18 /defitranporte /dbx_srtl /roads#CarreterasRCE	CarreterasRCE	http://ef.uv.es /doadroadtran18 /defitranporte /dbx_srtl /roads#carreteria_COD	CarreterasRCE COD_CARRETERA
2	http://localhost:8890/ CARRETERAS	http://ef.uv.es /doadroadtran18 /defitranporte /dbx_srtl /roads#CarreterasRCE	CarreterasRCE	http://ef.uv.es /doadroadtran18 /defitranporte /dbx_srtl /roads#carreteria_DENOMINACION	CarreterasRCE DENOMINACION
3	http://localhost:8890/ CARRETERAS	http://ef.uv.es /doadroadtran18 /defitranporte /dbx_srtl /roads#CarreterasRCE	CarreterasRCE	http://ef.uv.es /doadroadtran18 /defitranporte /dbx_srtl /roads#carreteria_ITINERARIO	CarreterasRCE ITINERARIO

Ilustración 92: Ejecución y resultados de una consulta SPARQL en el NAP

Además de la interfaz SPARQL descrita previamente, esta arquitectura semántica integra un enfoque holístico para la transformación, consolidación, enriquecimiento y acceso a datos provenientes de diversas fuentes. Cada conjunto de datos, con sus características y formatos particulares, se procesa a través de un flujo estructurado que garantiza su semantización, consolidación y análisis eficiente. El objetivo principal es crear un ecosistema interoperable que proporcione a los usuarios y aplicaciones acceso directo a información unificada y enriquecida, sin importar el origen ni la complejidad de los datos.

El primer componente de la arquitectura corresponde al proceso LOD Converter, encargado de transformar las incidencias de tráfico en formato XML de DATEX II a RDF. Este proceso utiliza la ontología de para incidentes de tráfico implementada en esta tesis (ver capítulo 4), asegurando una semantización precisa que permite estructurar y contextualizar la información. Los datos RDF generados son cargados en Virtuoso, creando un grafo dedicado a las incidencias de tráfico que puede integrarse con otras fuentes de información.

El segundo y tercer componente se centran en la conversión de los datos de unidades administrativas y carreteras. Los datos de carreteras, proporcionados por el Ministerio de Transporte en formato Excel, incluyen atributos clave como tipo de carretera, longitud, estado y conexiones. Estos datos se importan a una base de datos MySQL, donde son normalizados y estructurados para garantizar consistencia. Posteriormente, se emplea D2RQ para mapear estas tablas relacionales a un modelo RDF basada en la ontología de carreteras previamente descrita en capítulos anteriores, publicando los resultados en Virtuoso como un grafo específico. Por su parte, los datos de unidades administrativas, que abarcan Comunidades Autónomas, provincias y municipios, son semantizados utilizando la ontología de unidades administrativas

implementada en esta tesis que modela sus jerarquías y relaciones, creando instancias RDF que también se integran en Virtuoso.

Una vez completados estos procesos, la información generada se federará de forma transitiva en el Portal de Datos Abiertos de España y, a través de este, en el Portal Europeo de Datos Abiertos, asegurando su accesibilidad e interoperabilidad.

El cuarto componente de la arquitectura abarca los datos de electrolineras, proporcionados por el NAP de la Dirección General de Tráfico (DGT) en formato XML. Estos datos incluyen información esencial como la ubicación geográfica y la compañía suministradora. Para transformar estos datos en RDF, se utiliza la herramienta SPARQL Anything, que convierte la estructura jerárquica del XML en triples RDF siguiendo una ontología específica para infraestructuras de recarga. Los datos RDF resultantes se consolidan en Virtuoso mediante una conexión JDBC, creando un grafo que permite relacionar esta información con otros grafos, como los de incidentes o carreteras, para ofrecer un análisis más integrado y contextualizado.

Una vez que estas fuentes se han procesado y convertido en RDF, se genera un grafo integrado mediante una consulta SPARQL Construct. Este grafo combina los datos de incidentes de tráfico, meteorología, carreteras y unidades administrativas. Las relaciones entre los datos se establecen a partir de atributos comunes como la ubicación geográfica y el tiempo del evento, permitiendo, por ejemplo, vincular un incidente con las condiciones climáticas en el momento en que ocurrió, la carretera afectada y la disponibilidad de electrolineras cercanas. Este proceso no solo facilita la integración de datos, sino que también establece la base para enriquecer la información a través de reglas inferenciales.

Con el grafo integrado generado, se aplican reglas SWRL (Semantic Web Rule Language) para derivar nuevo conocimiento a partir de los datos existentes. Estas reglas, definidas en Protégé y ejecutadas mediante un razonador semántico como HermiT, permiten identificar patrones y generar clasificaciones útiles para el análisis. Por ejemplo, se puede identificar un incidente como crítico si ocurrió bajo condiciones de lluvia intensa y baja visibilidad en una carretera secundaria. Del mismo modo, se pueden detectar zonas de alta siniestralidad combinando múltiples incidentes con características específicas de las carreteras y condiciones meteorológicas recurrentes. Este proceso de inferencia amplía la riqueza del grafo, añadiendo capas adicionales de información útil y procesable.

El grafo resultante, que combina datos originales, integración consolidada e inferencias derivadas, se sube a Virtuoso como el grafo principal. Este grafo enriquecido es el núcleo del sistema y está diseñado para ser el punto central de acceso para consultas y análisis. A partir de este grafo principal, se proporciona acceso mediante diferentes desarrollos y herramientas.

El primero es una API REST desarrollada con FastAPI, que permite a los usuarios y aplicaciones consumir los datos enriquecidos de forma estructurada. Esta API elimina la necesidad de realizar consultas SPARQL manuales, ofreciendo funcionalidades como consultas parametrizadas sobre incidentes de tráfico, acceso a información meteorológica vinculada y localización de electrolineras cercanas a eventos específicos. Está diseñada para ser accesible tanto para usuarios no técnicos como para aplicaciones externas que requieran datos específicos en tiempo real, adaptándose a diversos casos de uso.

El segundo mecanismo es una interfaz basada en LOD View, directamente integrada con Virtuoso. Esta herramienta facilita la exploración visual y navegable de los grafos RDF, mostrando las relaciones entre los datos enlazados de forma intuitiva. Los usuarios pueden

interactuar con los datos sin necesidad de dominar SPARQL, accediendo a información detallada sobre incidentes, meteorología, infraestructura vial y movilidad eléctrica. LOD View es particularmente valiosa para usuarios que desean explorar las conexiones entre los datos de manera directa y visual.

En tercer lugar, se ha desarrollado una capa de visualización interactiva que utiliza Angular como framework de desarrollo web y Leaflet para la representación geoespacial en mapas. Esta interfaz consume datos JSON proporcionados por las APIs desarrolladas, permitiendo a los usuarios visualizar en tiempo real la ubicación de incidentes de tráfico, condiciones meteorológicas asociadas y puntos cercanos de interés como carreteras y electrolineras. Los mapas interactivos ofrecen una representación visual dinámica que incluye:

- Identificación geográfica de incidentes con marcadores específicos.
- Visualización de las estaciones meteorológicas más cercanas y sus observaciones asociadas.
- Ubicación de tramos de carretera y electrolineras cercanas, con opciones para filtrar y explorar datos específicos.

Esta capa no solo enriquece la experiencia del usuario final al proporcionar una herramienta visual intuitiva, sino que también amplía las posibilidades de análisis al combinar datos semánticos con una representación geográfica clara y accesible.

Además de las herramientas de visualización mencionadas, se han diseñado informes avanzados en Power BI que ofrecen un análisis interactivo y dinámico del grafo integrado. Estos informes permiten:

- Analizar incidentes de tráfico, mostrando ubicación, tiempo y factores asociados como condiciones meteorológicas o características de las carreteras.
- Explorar observaciones meteorológicas, incluyendo temperatura, precipitaciones y otros fenómenos, asociadas a estaciones específicas.
- Visualizar electrolineras cercanas a incidentes o ubicaciones de interés, destacando su estado operativo, tipo de cargadores y capacidad.
- Examinar relaciones complejas entre fuentes de datos como carreteras, meteorología e incidentes, descubriendo patrones útiles para la toma de decisiones. Los informes incluyen gráficos dinámicos, mapas interactivos y tablas descriptivas, diseñados para facilitar el análisis por parte de usuarios técnicos y de negocio como investigadores de las vías de las Jefaturas Provinciales de Tráfico de la DGT y usuarios analistas de los centros de gestión de tráfico. Esta capa adicional de análisis complementa las herramientas semánticas, proporcionando una visión integral de los datos integrados.

La instalación de CKAN, junto con los complementos necesarios, el conversor de DATEX II, la integración de unidades administrativas y carreteras, así como la publicación de los datos en los portales de datos abiertos español y europeo, y la configuración de LOD View, fueron desarrollados en el marco del proyecto europeo LOD-RoadTran y la presente tesis. Por otro lado, el resto de los servicios y componentes adicionales fueron diseñados y ampliados exclusivamente en el contexto de esta tesis una vez finalizado el proyecto europeo, destacando su carácter innovador y su contribución específica al ámbito de investigación.

La ilustración 93 muestra el ciclo completo de la arquitectura diseñada en esta tesis para la gestión de datos LOD. En ella se detalla cómo se procesan, integran y publican los datos desde diversas fuentes heterogéneas hasta su visualización e inferencia. Este modelo asegura la

interoperabilidad y accesibilidad a través de estándares como RDF y GeoSPARQL, combinados con tecnologías avanzadas de consultas federadas, APIs REST y herramientas de visualización geoespacial.

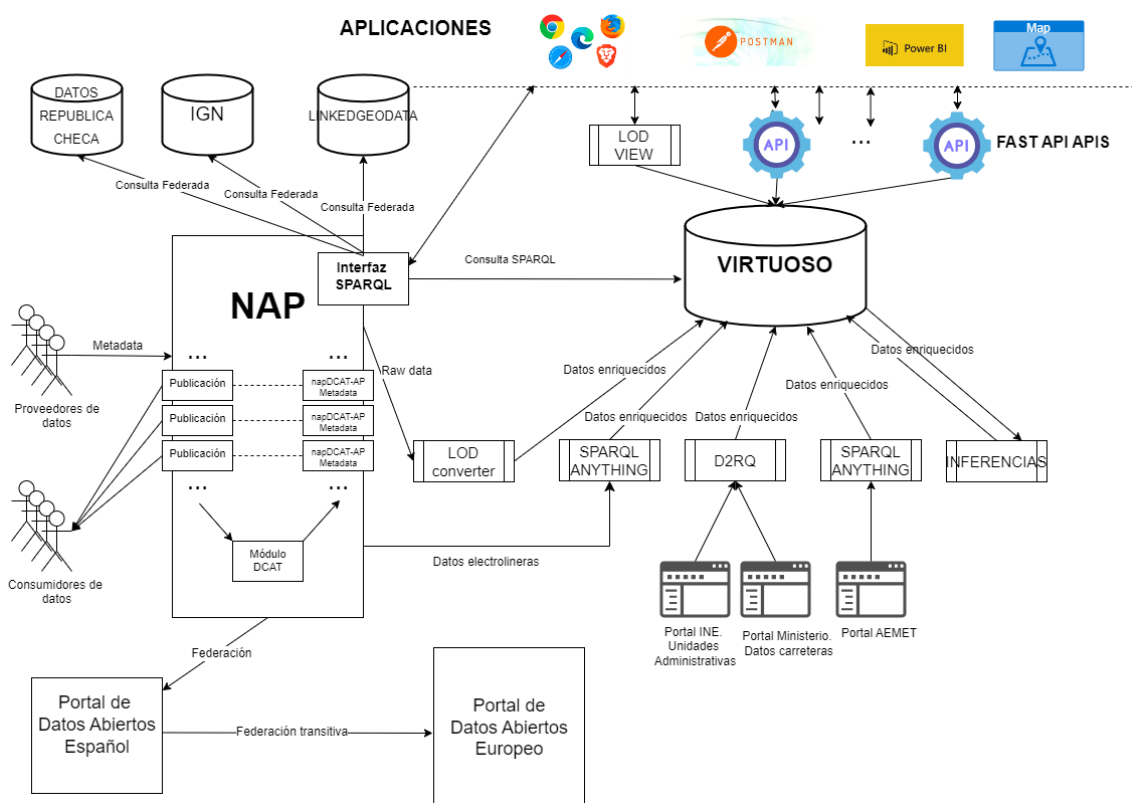


Ilustración 93 :Arquitectura general del sistema LOD de tráfico

En conjunto, esta arquitectura semántica representa un ecosistema avanzado que no sólo integra y enriquece datos de múltiples fuentes, sino que también facilita su acceso práctico y eficiente a través de interfaces diseñadas para diferentes niveles de usuario y necesidades. Al combinar tecnologías de semantización, inferencia, informes en Power BI y visualización interactiva, se crea una solución robusta y escalable que responde a las demandas actuales de análisis y gestión de información vial, mientras establece un modelo flexible para futuras extensiones y aplicaciones en otros dominios.

5.3 Diseño y componentes de la arquitectura de información de tráfico LOD

En este apartado se detallan los componentes y el diseño de la arquitectura para la integración, semantización y publicación de datos de tráfico bajo el enfoque LOD. La solución propuesta abarca desde la conversión de datos en bruto obtenidos de diferentes fuentes, como el Punto Nacional de Acceso (NAP), hasta su almacenamiento en formatos RDF compatibles con estándares semánticos. Además, se describe el uso de herramientas clave como Apache Jena, SPARQL Anything y Virtuoso para procesar grandes volúmenes de datos y facilitar su consulta en tiempo real.

Los componentes principales, como el convertidor LOD, los procesos de integración y semantización, y los mecanismos de federación de datos en portales abiertos, se presentan con

detalle. También se destacan las herramientas y tecnologías empleadas, como las APIs REST para la exposición de datos, y sistemas de visualización como Power BI y mapas interactivos en Angular. Este diseño integral garantiza la interoperabilidad y escalabilidad de la arquitectura, promoviendo la reutilización de datos y el análisis avanzado en el ámbito de la seguridad vial.

5.3.1 Conversor LOD

Uno de los componentes fundamentales de la solución es el conversor LOD. Este software, desarrollado durante el periodo de investigación de la tesis, lee archivos de incidentes de tráfico en formato XML DATEX II, versión 3 del NAP de la DGT, y convierte la información en instancias de LOD. Estas instancias se generan en tiempo real cada 5 minutos, asegurando así la disponibilidad de datos actualizados y relevantes para el análisis y la toma de decisiones. Posteriormente, el contenido se carga en un servidor SPARQL para su consulta y análisis.

El desarrollo de esta solución se ha realizado utilizando el lenguaje de programación Java junto con un conjunto de bibliotecas de código abierto ampliamente disponibles en el mercado. Estas herramientas permiten una integración fluida con estándares de la web semántica y facilitan la interoperabilidad de los datos entre diferentes sistemas y plataformas.

La arquitectura del conversor LOD, ilustrada en la ilustración 94, está diseñada para gestionar de manera eficiente la transformación de grandes volúmenes de datos de incidentes de tráfico. Este proceso implica no solo la conversión de los datos, sino también la validación y estructuración de los mismos en un formato compatible con las ontologías predefinidas. De esta forma, los datos se representan de manera semántica, facilitando el acceso y reutilización por parte de distintos actores que utilizan el servidor SPARQL para realizar consultas y análisis específicos sobre los datos de tráfico.

Además, el uso de bibliotecas de código abierto en el desarrollo del conversor contribuye a la sostenibilidad y escalabilidad del proyecto. Estas bibliotecas permiten futuras actualizaciones y modificaciones del conversor, asegurando su compatibilidad con nuevas versiones del formato DATEX II o con otras especificaciones que puedan surgir en el ámbito de los datos de tráfico y la web semántica.

En conjunto, el conversor LOD no sólo transforma y carga los datos en un servidor SPARQL, sino que actúa como un puente entre los datos de tráfico y los consumidores de estos datos, permitiendo el acceso a información detallada y contextualizada sobre incidentes en la red de carreteras. Este componente es esencial en el ecosistema de la solución, ya que garantiza que la información de tráfico esté disponible de forma estructurada y accesible para su explotación en aplicaciones de análisis avanzado y visualización de datos en tiempo real.

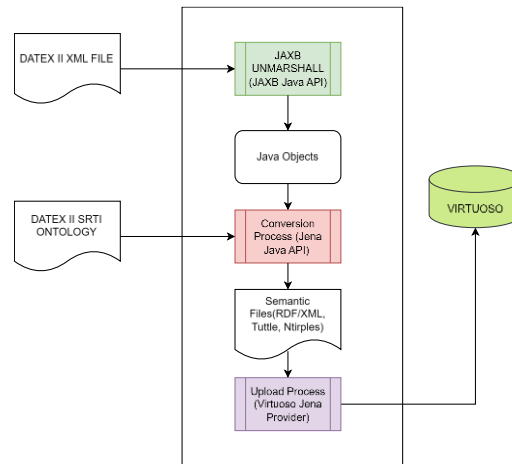


Ilustración 94 :Arquitectura conversor LOD

5.3.1.1.1 Conversión de datos a formatos semánticos con Apache Jena

A continuación, se detallan cada uno de los pasos para la semantización de los datos en XML DATEX II hasta la publicación de las instancias RDF generadas en Virtuoso.

1. Deserialización de XML a Objetos Java con JAXB

Los datos en bruto provenientes del Punto de Acceso Nacional (NAP) se reciben en formato XML DATEX versión 3. En esta parte del proceso, el sistema convierte los datos XML en objetos Java, facilitando así el acceso y manipulación de la información mediante la técnica de deserialización o unmarshalling de JAXB.

La conversión de datos XML a objetos Java permite estructurar la información de una manera que optimiza su manejo dentro de la aplicación, ya que cada elemento del XML se mapea a una clase correspondiente en Java. Esto no solo agiliza el acceso a los datos, sino que también permite implementar validaciones y manipulaciones específicas, lo cual es esencial para garantizar que la información se integre correctamente en el flujo de procesamiento.

El uso de JAXB en este contexto ofrece una solución robusta y eficiente para deserializar datos XML complejos como los que se encuentran en DATEX II. Al convertir el XML en una estructura de objetos Java, el sistema facilita la extracción de información relevante y reduce la complejidad en el manejo de estos datos en las etapas posteriores del procesamiento.

Esta etapa de carga de datos es fundamental, ya que establece la base para el procesamiento semántico que sigue en el pipeline del sistema. Con los datos ya deserializados en objetos Java, se pueden aplicar transformaciones y conversiones adicionales hacia formatos RDF, apoyando así la integración de los datos en un entorno de Datos Abiertos Enlazados. El proceso de deserialización puede observarse gráficamente en la ilustración 95 dentro del proceso completo de conversión.

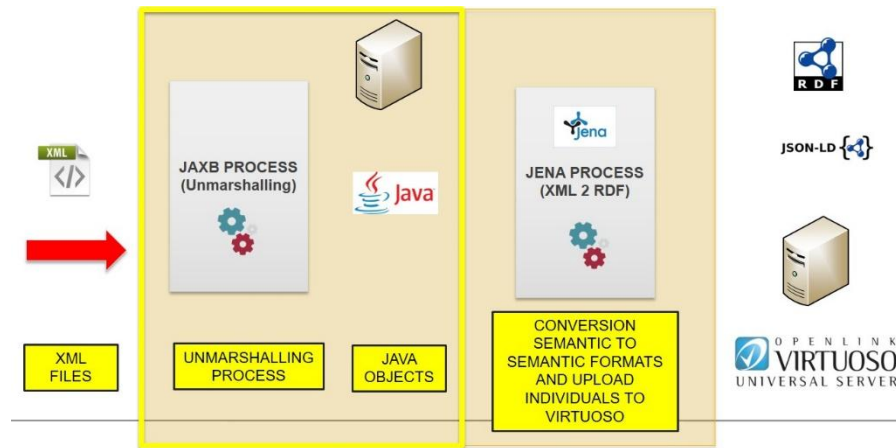


Ilustración 95: Proceso de deserialización de XML a objetos Java.

2. Conversión de Datos a Formatos Semánticos con Apache Jena

Una vez que la información de DATEX II se ha convertido en objetos Java, el proceso de lectura de propiedades y atributos desde la ontología SRTI genera el modelo de instancia LOD utilizando librerías java de Apache Jena.

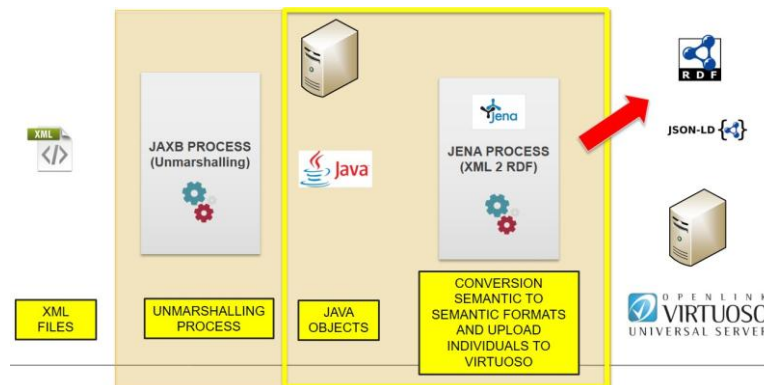


Ilustración 96 : Conversión de datos SRTI a formato semántico

Durante este proceso, se recorren los objetos Java que contienen los datos estructurados y, mediante la integración con la ontología previamente definida, se generan instancias RDF que representan estos datos en un modelo semántico de LOD. Apache Jena, una potente librería de código abierto para trabajar con datos RDF, permite no solo mapear las propiedades y atributos relevantes, sino también definir relaciones semánticas que enriquecen el modelo y facilitan su interoperabilidad.

Las instancias generadas a través de este proceso se almacenan en archivos en diferentes formatos de LOD, tales como RDF, JSON-LD, NTriples o Turtle (ilustración 96). Estos formatos están diseñados para cumplir con los estándares de Datos Abiertos Enlazados, lo que permite que los datos sean compartidos y reutilizados fácilmente en entornos de web semántica. Cada formato ofrece características específicas que facilitan su uso en distintas aplicaciones:

- RDF es el estándar básico para representar datos en la web semántica.
- JSON-LD facilita la integración de datos en aplicaciones web.
- NTriples es ideal para grandes conjuntos de datos debido a su simplicidad.

- Turtle permite una sintaxis compacta y legible.

Este enfoque asegura que las instancias LOD generadas sean accesibles en una amplia variedad de aplicaciones y plataformas, promoviendo la interoperabilidad y el acceso abierto a los datos de tráfico estructurados semánticamente. Esta conversión de datos a formatos semánticos es fundamental para garantizar que la información de tráfico esté disponible y lista para consultas y análisis avanzados en un entorno de Datos Abiertos Enlazados.

3. Carga de instancias semánticas en Virtuoso

Con el modelo de instancias obtenido en el paso anterior, la última parte del proceso de conversión consiste en cargar las instancias LOD en el endpoint SPARQL utilizando Virtuoso Jena Provider (ilustración 97).

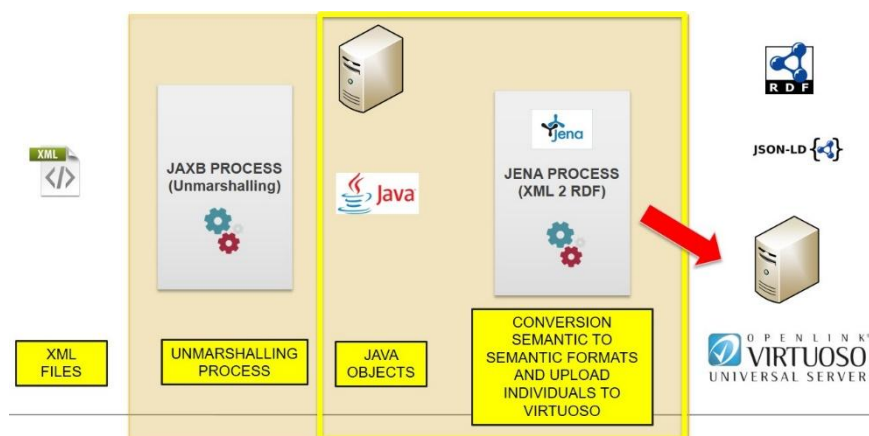


Ilustración 97 : Carga de instancias LOD SRTI en Virtuoso

En este paso final, las instancias de LOD, que ya han sido generadas y almacenadas en formato RDF, JSON-LD, NTriples o Turtle, se cargan en un servidor Virtuoso configurado como un endpoint SPARQL. La integración con el proveedor Jena de Virtuoso facilita esta operación, permitiendo que el sistema transfiera eficientemente los datos semánticos al servidor para que puedan ser consultados y explorados mediante consultas SPARQL.

El uso de Virtuoso como endpoint SPARQL es fundamental en este proceso, ya que proporciona una plataforma robusta para la gestión y acceso a grandes volúmenes de datos RDF. Gracias a esta infraestructura, los datos de tráfico en formato LOD están disponibles para consultas en tiempo real, lo que permite que aplicaciones externas, investigadores y usuarios puedan interactuar con los datos mediante consultas federadas y directas.

Además, la configuración del proveedor Jena en Virtuoso asegura que las instancias LOD cargadas mantengan todas las relaciones y atributos semánticos definidos en la ontología, ofreciendo un acceso estructurado y contextualizado a la información. Este acceso basado en SPARQL no solo mejora la eficiencia en la recuperación de datos, sino que también permite una integración flexible de los datos en diversas aplicaciones de análisis y visualización en el ámbito de los Datos Abiertos Enlazados.

5.3.2 Federación del grafo de incidentes en los portales de datos abiertos español y europeo

Uno de los procesos importantes en el desarrollo de la tesis consiste en federar el conjunto de datos abiertos SRTI en el Portal Europeo de Datos Abiertos. Para lograrlo, el NAP expone los

metadatos del conjunto de datos utilizando un formato compatible con la especificación **DCAT-AP**. Además, los metadatos del NAP siguen siendo conformes al **Catálogo Coordinado de Metadatos (CMC)**. Por lo tanto, se requiere un proceso de mapeo entre el CMC y DCAT-AP. Para facilitar este proceso, el grupo de trabajo del NAP (The NAP working group) ha desarrollado una extensión de DCAT-AP específica para el dominio del NAP, denominada "**napDCAT-AP**" [113] [114]. Gracias a esta extensión, es posible establecer un mapeo estandarizado entre el CMC y DCAT-AP.

La especificación napDCAT-AP puede aplicarse a la extensión DCAT para la plataforma CKAN. Se implementa un perfil personalizado en el ámbito de esta tesis para esta extensión con el fin de configurar el serializador y así generar archivos de metadatos conformes con la especificación napDCAT-AP.

Una vez que el NAP es capaz de exponer los metadatos en este formato, se configura una federación con otros portales de datos abiertos. En el caso del NAP español, la federación con el Portal Europeo de Datos Abiertos puede lograrse a través de una federación intermedia con el Portal de Datos Abiertos de España.

Este proceso no solo asegura que los datos sean interoperables y reutilizables, sino que también promueve la transparencia y fomenta el desarrollo de aplicaciones avanzadas basadas en datos abiertos. En el contexto de esta tesis, la federación de datos representa un paso esencial para la publicación de datos vinculados en línea (LOD), alineándose con los principios FAIR.

Este caso práctico, centrado en el NAP español, se utilizará como un modelo replicable en otros contextos nacionales e internacionales, contribuyendo significativamente a la estandarización de los datos de tráfico y su análisis.

5.3.3 Proceso de Integración y Semantización de Unidades Administrativas

A continuación, se detallan cada uno de los pasos para la semantización de los datos de unidades administrativas.

1. Conexión a la Fuente de Datos de Unidades Administrativas

Los datos de poblaciones, municipios, provincias y comunidades autónomas se obtienen del Instituto Nacional de Estadística (INE) [115] de España. Esta fuente proporciona información en formato tabular, habitualmente distribuida en varios archivos, cada uno representando diferentes niveles de la jerarquía administrativa:

- **Municipios:** Detalles como nombre, código INE, superficie, y población.
- **Provincias:** Información general, incluyendo nombre, extensión geográfica y relación con los municipios.
- **Comunidades Autónomas:** Datos agregados que incluyen las provincias que la componen, su población total y otras características clave.

Los datos se descargan desde la plataforma oficial del INE y se almacenan localmente en un repositorio seguro para garantizar su disponibilidad durante las etapas de transformación y validación. Este proceso de descarga y actualización se realiza anualmente, debido a la naturaleza estable de las unidades administrativas, salvo que surjan cambios extraordinarios que requieran actualizaciones adicionales a demanda.

2. Transformación de los Datos a RDF utilizando D2RQ

Los datos descargados se almacenan en una base de datos relacional MySQL, donde se organizan de acuerdo con la jerarquía administrativa. Este paso asegura una estructura clara y facilita el mapeo de los datos al modelo RDF. La transformación a RDF se lleva a cabo utilizando la herramienta D2RQ recomendación de W3C analizada en la sección 3.2.6 de la presente tesis, que permite convertir las tablas relacionales en triples RDF, conforme a la ontología de Unidades Administrativas diseñada específicamente en esta tesis. El proceso incluye:

1. Preparación del Mapeo:

Se crea un archivo de configuración mapping.ttl que define cómo las tablas y columnas de MySQL se corresponden con las clases y propiedades RDF. Algunos ejemplos de mapeo son:

- **Tabla Municipios** → Clase ex:Municipio, con propiedades como ex:nombre, ex:codigoINE, y ex:poblacion.
- **Tabla Provincias** → Clase ex:Provincia, vinculada a los municipios que contiene mediante la propiedad ex:incluyeMunicipio.
- **Tabla Comunidades Autónomas** → Clase ex:ComunidadAutonoma, relacionada con las provincias que la integran a través de la propiedad ex:componeProvincia.

2. Ejecución de la Transformación:

La configuración de mapping.ttl se utiliza para que D2RQ genere triples RDF que representen las unidades administrativas. Este proceso asegura que:

- Cada municipio se convierta en una instancia RDF con sus atributos principales.
- Las relaciones jerárquicas entre municipios, provincias y comunidades autónomas se reflejen correctamente en el modelo RDF.

3. Modelo RDF Resultante:

El resultado es un conjunto de triples RDF que modelan las unidades administrativas y sus relaciones, tales como:

- Municipios incluidos en una provincia.
- Provincias agrupadas en comunidades autónomas.
- Atributos adicionales, como población, superficie o códigos identificadores.

3. Validación del Grafo RDF

El grafo RDF generado se somete a un riguroso proceso de validación para garantizar su calidad y alineación con los estándares semánticos. Este proceso incluye:

1. Validación Sintáctica:

Se utiliza la herramienta RDF Validator para verificar que los triples RDF cumplen con las especificaciones sintácticas requeridas.

2. Pruebas de Consultas SPARQL:

Se ejecutan consultas para comprobar que el modelo refleja correctamente las relaciones y atributos definidos en el archivo `mapping.ttl`. Algunos ejemplos de consultas incluyen:

- Extraer todos los municipios pertenecientes a una provincia específica.
- Obtener comunidades autónomas y las provincias que las componen.
- Validar atributos como el código INE y la población de los municipios.

4. Almacenamiento en Virtuoso

Tras la validación, los datos RDF se cargan en Virtuoso, que actúa como repositorio central para la arquitectura semántica. Se organiza un grafo específico para unidades administrativas, accesible a través del endpoint SPARQL. Este paso asegura que los datos puedan integrarse y relacionarse con otras fuentes en el sistema, como datos meteorológicos, incidentes de tráfico y electrolineras. Este grafo se actualiza anualmente o a demanda para reflejar posibles cambios en las unidades administrativas, asegurando la coherencia con los datos oficiales del INE.

5.3.4 Proceso de Integración y Semantización de Datos de Carreteras

1. Conexión a la Fuente de Datos de Carreteras

Se accede a los datos proporcionados por el Ministerio de Transporte [116], disponibles en formato Excel y divididos en dos archivos principales: uno que detalla la información general de las carreteras, como su nombre, tipo, longitud y estado, y otro que especifica los tramos asociados a cada carretera, incluyendo atributos como kilómetros inicial y final, tipo de vía, velocidad máxima y condiciones específicas. Estos archivos se descargan desde la fuente oficial y se almacenan localmente para garantizar su disponibilidad durante las etapas posteriores de transformación y validación. Debido a la baja frecuencia de cambios en la red vial, este proceso de actualización se realiza anualmente, salvo en casos excepcionales que requieran una actualización a demanda.

2. Transformación de los Datos a RDF utilizando D2RQ

Los datos descargados se procesan inicialmente en una base de datos MySQL, donde se normalizan y estructuran para facilitar su mapeo a un modelo RDF. La herramienta D2RQ se emplea para esta transformación, permitiendo que las tablas relacionales se conviertan en triples RDF conforme a la ontología diseñada específicamente previamente en esta tesis para representar la infraestructura vial. Este proceso incluye:

1. **Preparación del Mapeo:** Se define un archivo de configuración `mapping.ttl`, que establece las relaciones entre las tablas y columnas en MySQL y las clases y propiedades RDF correspondientes. Por ejemplo:
 - La tabla Carreteras se mapea a la clase `ex:Carretera`, con propiedades como `ex:nombre`, `ex:tipo`, y `ex:longitud`.
 - La tabla Tramos se mapea a la clase `ex:Tramo`, vinculando cada tramo a su carretera correspondiente mediante la propiedad `ex:contieneTramo`.
2. **Ejecución de la Transformación:** D2RQ ejecuta la configuración establecida en el archivo `mapping.ttl`, generando triples RDF que representan cada carretera y sus tramos asociados. Este proceso asegura que:
 - Cada carretera se transforme en una instancia RDF con sus atributos principales.

- Los tramos se relacionen correctamente con las carreteras, reflejando las jerarquías y conexiones del modelo vial original.
3. **Modelo RDF Resultante:** El resultado de esta etapa es un conjunto de triples RDF que estructuran los datos de carreteras y tramos de forma semántica, representando relaciones como:
- Una carretera que contiene múltiples tramos.
 - Atributos específicos de los tramos, como kilómetros y tipo de vía .

3. Validación del Grafo RDF

Los triples RDF generados se someten a un proceso de validación exhaustivo para garantizar su calidad, consistencia y alineación con los estándares semánticos. Este proceso incluye:

1. **Validación Sintáctica:** Se utilizan herramientas como RDF Validator para verificar que los triples RDF cumplan con la especificación sintáctica requerida.
2. **Pruebas de Consultas SPARQL:** Se ejecutan consultas de prueba para comprobar que las relaciones definidas en el archivo mapping.ttl se reflejen correctamente en el grafo RDF. Por ejemplo, se verifican consultas que:
 - Extraen todas las carreteras junto con sus tramos asociados.
 - Validan atributos específicos de los tramos, como kilómetros inicial y final y tipo de vía.

4. Almacenamiento en Virtuoso

Una vez validados, los triples RDF se cargan en Virtuoso, que actúa como repositorio central para la arquitectura semántica. Los datos se organizan en un grafo específico para carreteras, accesible a través del endpoint SPARQL. Este paso asegura que los datos de carreteras puedan integrarse con otras fuentes de información, como incidentes de tráfico, electrolineras y meteorología. Este grafo se actualiza anualmente para reflejar cambios relevantes en la red vial, garantizando su alineación con la información oficial proporcionada por el Ministerio de Transporte.

Este flujo garantiza que los datos viales, originalmente en formato tabular, se transformen en un modelo semántico listo para el análisis avanzado y las consultas dinámicas en la arquitectura propuesta.

5.3.5 Lod View

La información publicada en la base de datos Virtuoso mediante el proceso del conversor LOD así como la información semantizada de unidades administrativas y carreteras puede ser accedida a través de consultas SPARQL.

Sin embargo, las URIs utilizadas, que suelen estar diseñadas con un patrón específico en la mayoría de los conjuntos de datos almacenados en estas bases de datos, generalmente no son dereferenciadas. Esto significa que cuando se intenta acceder a un identificador mediante una solicitud directa, el sistema no ofrece una respuesta y se recibe un mensaje de error 404.

Esta situación, en la que los datos sólo son accesibles por máquinas, ha motivado el surgimiento de diversos proyectos impulsados por el movimiento de LOD, cuyo objetivo principal es generar vistas de los datos accesibles a humanos a través de interfaces web.

Uno de estos proyectos es LodView, una aplicación web en Java basada en Spring y Jena. LodView es una herramienta que permite ofrecer una dereferenciación de IRIs (Identificadores de Recursos Internacionales) cumpliendo con los estándares de W3C (ilustración 97). Esto significa que los usuarios pueden hacer clic en un enlace que representa un recurso RDF y visualizarlo en un formato legible, en lugar de recibir un error o una representación no amigable.

LodView, en conjunto con un endpoint SPARQL, permite publicar datos RDF de acuerdo con todos los estándares definidos para Datos Abiertos Enlazados LOD. Este enfoque no solo facilita el acceso a los datos para consultas automáticas, sino que también permite a los usuarios explorar el contenido de manera intuitiva, promoviendo una mejor comprensión y explotación de los datos enlazados.

Además, LodView es fácil de configurar y desplegar, lo que facilita su uso por parte de cualquier desarrollador. Esta herramienta mejora significativamente la experiencia del usuario final, permitiendo el acceso a representaciones HTML de recursos RDF. Esto no solo democratiza el acceso a los datos, sino que también amplía las posibilidades de reutilización en otros contextos, como visualizaciones web y aplicaciones de análisis.

Con la implementación de LodView, los datos publicados en Virtuoso ganan una dimensión adicional, ya que pueden ser explorados tanto por personas como por aplicaciones automáticas, alineándose con la filosofía de los Datos Abiertos Enlazados y optimizando el acceso a información pública de manera estructurada y comprensible.

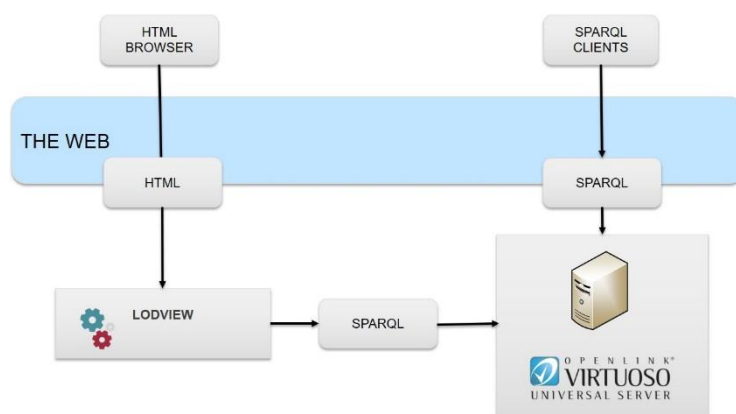


Ilustración 98: Arquitectura general de LOD VIEW

Durante el desarrollo de la tesis, se han realizado pruebas con diferentes visualizadores web de RDF, como Pubby, LODI, LODDY y LodView.

En mi opinión, LodView es la solución más sencilla de instalar y configurar, y cuenta con la interfaz web más atractiva de todas las opciones evaluadas.

LodView destaca no solo por su facilidad de uso y configuración, sino también por su capacidad para ofrecer una experiencia de usuario optimizada, lo cual es esencial en el acceso a datos semánticos. Su interfaz intuitiva facilita la navegación y comprensión de los datos RDF, especialmente para usuarios que pueden no estar familiarizados con el formato técnico subyacente de los datos enlazados.

Además, en comparación con otras herramientas, LodView permite una dereferenciación de URIs conforme a los estándares del W3C, mostrando cada recurso de manera accesible y visual.

Esto es clave para promover el uso de datos enlazados en entornos web, ya que proporciona a los usuarios una representación clara y detallada de los recursos RDF.

La implementación de LodView en la tesis ofrece una plataforma robusta para visualizar los datos RDF y permite que tanto usuarios avanzados como principiantes exploren la información sin complicaciones. Esta herramienta contribuye significativamente a la accesibilidad y al aprovechamiento de los datos semánticos, alineándose con los principios de transparencia y apertura de los Datos Abiertos Enlazados LOD.

La elección de LodView, por su simplicidad y funcionalidad, permite no solo agilizar el desarrollo, sino también asegurar una experiencia de usuario enriquecedora, facilitando la interacción con la información de manera visual y accesible.

5.3.6 Proceso de Integración y Semantización de los Datos de Electrolineras

En la ilustración 99 se muestra el flujo de los diferentes procesos para la semantización de los datos de electrolineras.

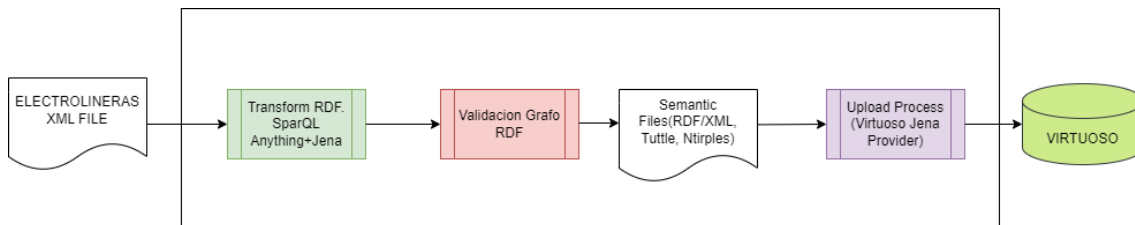


Ilustración 99: Flujo del proceso de semantización de datos de electrolineras.

1. Conexión a la Fuente de Datos de Electrolineras

Se accede a la información proporcionada por el NAP de la Dirección General de Tráfico (DGT), disponible en formato XML. Este archivo, que se actualiza cada 24 horas, contiene información detallada sobre las electrolineras, incluyendo su ubicación geográfica, estado operativo, tipo de cargadores, capacidad de carga y horarios de funcionamiento. Los datos se obtienen desde la fuente y se almacenan localmente para garantizar que estén disponibles para el proceso de transformación.

2. Transformación de los Datos a RDF utilizando SPARQL Anything

Los datos en formato XML descargados se transforman en un modelo RDF utilizando el sistema **SPARQL Anything** visto en la sección 3.2.12 de la presente tesis, integrado con **Apache Jena**.

El proceso comienza con la configuración de un archivo **SPARQL Anything Query (SAQ)**, que define cómo los datos XML se convertirán en triples RDF. Este archivo incluye:

- La especificación de prefijos RDF estándar, como `rdf:`, `geo:`, y personalizados, como `electrolineras:`.
- La ubicación del archivo XML (`fx:location`) y el formato de entrada (`fx:media-type`).
- Las rutas necesarias para extraer elementos clave del XML, como identificadores de electrolineras, ubicaciones geográficas, estados operativos, tipos de cargadores, y capacidades de carga.

Durante la ejecución, SPARQL Anything procesa el archivo XML, siguiendo las rutas configuradas para convertir los datos en triples RDF. Cada electrolinera se representa como una instancia RDF con propiedades descriptivas basadas en los datos originales. Por ejemplo:

- Los identificadores de electrolineras se mapean a la propiedad `electrolineras:id`.
- La ubicación geográfica se representa mediante la propiedad `geo:wktLiteral`.
- Los proveedores del servicio.

El motor **Apache Jena** se utiliza para gestionar la ejecución de las consultas y manejar el modelo RDF resultante. El resultado es un conjunto de triples RDF que estructuran los datos de electrolineras de forma semántica y lista para su integración.

3. Validación del Grafo RDF

Los triples RDF generados se someten a un proceso de validación para garantizar su calidad y consistencia. En esta etapa, se emplean herramientas como RDF Validator para verificar la conformidad sintáctica de los triples con los estándares RDF.

También se ejecutan consultas SPARQL de prueba para verificar que las relaciones y propiedades definidas en el archivo SAQ se reflejen correctamente en el grafo RDF. Estas consultas permiten comprobar que cada electrolinera tenga atributos completos, como identificador, ubicación, proveedor del servicio, asegurando que los datos sean accesibles y útiles.

4. Almacenamiento en Virtuoso

Los datos validados se cargan en Virtuoso, que actúa como repositorio central para la arquitectura semántica. Los triples RDF se organizan en un grafo específico para electrolineras, accesible a través del endpoint SPARQL de Virtuoso. Este paso asegura que los datos sean consultables y puedan integrarse con otras fuentes de información dentro del sistema. Este grafo se actualiza diariamente para reflejar las últimas actualizaciones proporcionadas por el NAP, garantizando que los datos sean consultables y puedan integrarse con otras fuentes de información dentro del sistema.

5.3.7 Proceso General de Integración y Semantización de los Datos de AEMET

En la ilustración 100 se muestra el flujo de los diferentes pasos para la semantización de los datos meteorológicos de AEMET.

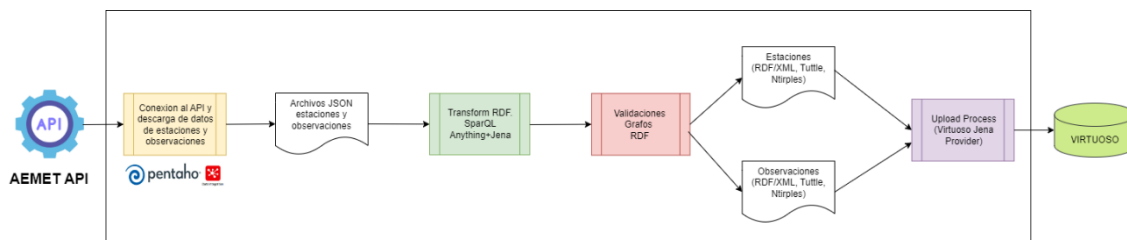


Ilustración 100: Flujo del proceso de semantización de datos meteorológicos de AEMET.

1. Conexión a la API de AEMET

En este paso, se establece una conexión con la API REST de AEMET para obtener tanto datos de observaciones meteorológicas en tiempo real como información detallada sobre las estaciones meteorológicas. La solución ETL Pentaho Data Integration (PDI) vista en la sección 3.2.8 de esta tesis, se emplea para configurar un nodo REST Client que realiza solicitudes HTTP GET. La

conexión utiliza una API Key proporcionada por AEMET para la autenticación y permite definir parámetros como el rango temporal y geográfico de los datos a consultar. Como resultado, se obtiene un archivo JSON estructurado que contiene datos como valores de temperatura, viento, precipitación, fenómenos adversos, y características de las estaciones meteorológicas, incluyendo identificadores, nombres y ubicaciones geográficas.

Los datos de observaciones meteorológicas se actualizan cada hora en la API de AEMET. Esta periodicidad garantiza que las observaciones reflejen las condiciones climáticas más recientes y estén alineadas con la frecuencia de actualización de los datos RDF de incidencias, que se generan cada 5 minutos. La integración de estas dos fuentes asegura una coherencia temporal crucial para el análisis en tiempo real.

2. Descarga de Datos Meteorológicos y de Estaciones

Los archivos JSON obtenidos de la API, que contienen tanto observaciones meteorológicas como información sobre las estaciones, se descargan y almacenan localmente en un directorio temporal. Para facilitar la trazabilidad y la organización de los datos, los archivos se nombran de manera dinámica con un timestamp, siguiendo un formato como `meteorologia_20241201T1000.json` y `estaciones_20241201T1000.json`. Estos archivos actúan como un respaldo temporal para garantizar que los datos estén disponibles para los pasos posteriores en caso de que sean necesarios.

Dado que los datos meteorológicos se actualizan cada hora, el sistema está configurado para realizar solicitudes periódicas a la API y almacenar los archivos JSON más recientes. Esto permite que las observaciones estén siempre sincronizadas con las instancias RDF de incidencias del conversor.

3. Validación de los Datos

Una vez descargados, los datos meteorológicos y de estaciones se someten a un proceso de validación para garantizar su integridad y calidad. PDI se utiliza para analizar el contenido de los archivos JSON y verificar que contengan las claves esenciales, como identificadores de estaciones, valores meteorológicos, coordenadas geográficas, y metadatos relevantes sobre las estaciones. Si se detecta un archivo vacío o con datos incompletos, se registra un error en los logs del sistema y se notifica automáticamente al administrador. Además, el sistema está configurado para reintentar la descarga en caso de fallos, asegurando la continuidad del proceso.

4. Transformación de los Datos a RDF

Los datos meteorológicos validados, tanto de observaciones como de estaciones, se transforman en un modelo RDF utilizando SPARQL Anything en combinación con Apache Jena. Este proceso permite estructurar la información en un formato semántico adecuado para su integración dentro de la arquitectura propuesta.

El proceso inicia con la creación de un archivo de configuración SPARQL Anything Query (SAQ) que especifica cómo los datos en formato JSON serán convertidos en triples RDF. Este archivo incluye los siguientes elementos esenciales.

Durante la ejecución, SPARQL Anything procesa el archivo JSON, siguiendo las configuraciones del archivo SAQ. Este procesamiento genera triples RDF que representan:

Observaciones meteorológicas: Cada observación se modela como una instancia RDF que incluye propiedades como la fecha, el tipo de fenómeno, y los valores registrados (temperatura, viento, precipitación, entre otros). Estas observaciones están vinculadas a las estaciones correspondientes mediante relaciones explícitas en el modelo RDF.

Estaciones meteorológicas: Cada estación se representa como una instancia RDF con atributos como identificador, nombre, ubicación geográfica (en formato `geo:wktLiteral`), altitud y tipo.

El programa desarrollado para este propósito utiliza Apache Jena como motor de consulta y manejo del modelo RDF resultante. Jena facilita la ejecución de las consultas SPARQL definidas, la validación de los triples generados y su gestión en memoria o almacenamiento.

El resultado final de este proceso es un conjunto de triples RDF que estructuran de manera semántica tanto las observaciones meteorológicas como los detalles de las estaciones, listas para su validación, almacenamiento en Virtuoso, y posterior análisis dentro de la arquitectura semántica. Este enfoque garantiza que los datos meteorológicos sean interoperables y cumplan con los estándares de la web semántica.

5. Validación del Grafo RDF

Los triples RDF generados se validan para garantizar que sean consistentes con la ontología definida y estén libres de errores. Este proceso incluye la validación sintáctica mediante herramientas específicas como RDF Validator, y la ejecución de consultas SPARQL de prueba. Estas consultas aseguran que las propiedades y relaciones definidas en el modelo RDF estén correctamente representadas, verificando que cada instancia de observación meteorológica esté vinculada a una estación meteorológica con atributos completos, como su ubicación y su identificador único.

6. Almacenamiento en Virtuoso

El grafo RDF validado se carga en Virtuoso, que actúa como el repositorio central de datos semánticos. La actualización de los datos meteorológicos en Virtuoso se realiza cada hora, en consonancia con la frecuencia de la API de AEMET, asegurando que los datos meteorológicos y las incidencias de tráfico estén sincronizados para análisis y consultas en tiempo real.

La conexión con Virtuoso se realiza mediante JDBC, y los datos se organizan en grafos específicos: uno para los datos meteorológicos y otro para las estaciones meteorológicas. Esto asegura que los datos sean accesibles desde el endpoint SPARQL, permitiendo consultas eficientes y optimizadas, tanto para obtener observaciones específicas como para explorar características de las estaciones meteorológicas.

5.3.8 Proceso de Unificación de Todas las fuentes y aplicación de inferencias

De definen a continuación los diferentes procesos para unificar todas las fuentes relacionadas con incidentes de tráfico SRTI.

1. Conexión y Acceso a los Datos en Virtuoso

Se establece una conexión segura al triplestore Virtuoso mediante el uso de un driver JDBC. La configuración incluye la URL del endpoint SPARQL y las credenciales de autenticación. Este acceso asegura la disponibilidad y correcta extracción de datos RDF desde los grafos de incidentes de tráfico, meteorología, unidades administrativas, carreteras y electrolineras. Este

proceso se ejecuta con una frecuencia de 5 minutos, garantizando que los datos integrados reflejen las actualizaciones más recientes de todas las fuentes.

2. Unificación de las Fuentes de Datos en un Modelo RDF Integrado

Diseño de la Consulta SPARQL para Unificación

La consulta SPARQL se ejecuta cada 5 minutos para unificar los datos más recientes de las fuentes. Esta frecuencia asegura que las condiciones meteorológicas, incidentes y datos viales estén sincronizados y preparados para consultas avanzadas y análisis en tiempo real.

La consulta SPARQL realiza las siguientes operaciones clave:

- **Vinculación de incidentes con estaciones meteorológicas cercanas:** Utilizando funciones de GeoSPARQL, se calcula la distancia entre incidentes y estaciones meteorológicas para asociar las condiciones climáticas relevantes.
- **Asociación de incidentes con tramos de carreteras:** A través de datos geométricos, se identifica la carretera afectada por cada incidente.

3. Preprocesamiento de Geometrías

Para incidentes representados como líneas (LINESTRING), se utiliza la función `bif:dist_from_point_to_line_segment` para calcular distancias. Esto requiere un procesamiento adicional para extraer las coordenadas relevantes del WKT.

4. Optimización del Cálculo de Distancias

Se restringe el cálculo a estaciones meteorológicas de la provincia del incidente y provincias colindantes, reduciendo significativamente el número de estaciones evaluadas.

5. Integración Semántica y Publicación

Los datos extraídos se transforman a un modelo RDF manejado con Apache Jena, lo que permite manipular triples de forma programática. Este modelo sirve para realizar validaciones, transformaciones adicionales y preparar los datos para inferencias.

El modelo RDF integrado, listo para consultas avanzadas, se almacena localmente en un archivo RDF/XML y para posteriormente pasar un conjunto de reglas de inferencia y enriquecer la información SRTI.

6. Aplicación de Inferencias con SWRL

Configuración del Motor de Reglas SWRL

El motor SWRL se configura mediante la integración de SWRLAPI y OWL API.

Definición de Reglas SWRL

Las reglas permiten generar conocimiento derivado, como:

- Riesgo de hielo
- Riesgo de nieve
- Riesgo de lluvia
- Visibilidad reducida
- Presiones bajas

- Presiones altas

7. Ejecución y Validación de Reglas

Se ejecutan reglas mediante el método `ruleEngine.infer()`. Posteriormente, los resultados se validan utilizando consultas SQWRL para verificar la correcta inferencia de nuevas tripletas.

8. Validación del Grafo RDF

La validación del grafo RDF comienza con una revisión sintáctica para garantizar que los triples cumplen con los estándares establecidos, utilizando herramientas como RDF Validator. Posteriormente, se realiza una validación semántica mediante consultas SPARQL, verificando que las propiedades y relaciones definidas en la ontología están correctamente representadas, incluyendo la asociación entre incidentes de tráfico y condiciones meteorológicas. Adicionalmente, se realizan pruebas de consistencia para identificar y corregir posibles valores contradictorios o propiedades faltantes.

9. Almacenamiento en Virtuoso

El grafo RDF validado se serializa en formato RDF/XML o Turtle y se prepara para su almacenamiento. La carga en Virtuoso se realiza a través de una conexión segura utilizando JDBC, organizando los datos en grafos específicos accesibles desde el endpoint SPARQL. Este proceso se ejecuta cada 5 minutos, alineándose con las frecuencias de actualización de las fuentes de datos críticas como incidentes de tráfico y meteorología. Finalmente, se ejecutan consultas SPARQL directamente en Virtuoso para confirmar que las tripletas están correctamente cargadas y disponibles para su uso. Este flujo asegura la consistencia, accesibilidad y utilidad de los datos para análisis posteriores, permitiendo que las consultas avanzadas se basen siempre en información actualizada y consistente disponible en tiempo real.

Resultados del Proceso

- **Modelo RDF Enriquecido:** Incluye relaciones entre incidentes, meteorología, y tramos viales.
- **Consultas Avanzadas Disponibles:** El modelo enriquecido está optimizado para análisis complejos que soporten la toma de decisiones en seguridad vial.

Este flujo asegura una integración eficiente y una publicación semántica de datos enriquecidos, promoviendo análisis predictivos y estratégicos en el contexto de la gestión de tráfico y seguridad vial.

5.3.9 API sobre la información almacenada en Virtuoso

El flujo de información en la construcción e interacción de las APIs REST se estructura en etapas claramente definidas para garantizar la transformación, validación y exposición de los datos semánticos. A continuación, se detalla cada fase del proceso:

1. Orígenes de los Datos

- **Fuentes Primarias:**
 - **SPARQL Endpoint en Virtuoso:** Contiene grafos RDF con datos semánticos de:
 - **Incidentes de Tráfico** (ubicación, tipo, severidad).
 - **Observaciones Meteorológicas** (temperatura, viento, precipitación).

- **Estaciones Meteorológicas** (nombre, coordenadas, provincia).
 - **Carreteras y Unidades Administrativas** (datos geográficos y administrativos).
- **Consultas SPARQL:** Diseñadas para extraer datos específicos y optimizadas para minimizar tiempos de respuesta.

2. Consulta y Recuperación de Datos

- Las **APIs REST** inician el flujo al recibir solicitudes de los usuarios o sistemas externos.
- Se ejecuta una consulta SPARQL en el endpoint configurado:
 - Parámetros dinámicos como identificadores (idema, provincia) se incluyen en las consultas.
 - El resultado se devuelve en formato JSON desde Virtuoso.

3. Procesamiento de los Datos Recuperados

- **Transformación a Estructuras Consumibles:**
 - Los datos RDF recibidos (en formato JSON-LD o similar) se procesan en la API utilizando **Python**.
 - Operaciones realizadas:
 - Simplificación de estructuras complejas.
 - Conversión de coordenadas geográficas a formatos estándar (lat, lon).
 - Enriquecimiento con información adicional desde otros grafos (por ejemplo, vincular estaciones con incidentes cercanos).
- **Validación:**
 - Asegura que todos los datos requeridos estén presentes y sean consistentes con los modelos definidos en Pydantic.
 - Los datos faltantes o inconsistentes generan errores gestionados y se registran para auditorías.

4. Estructuración y Serialización

- **Modelos de Datos:** Los datos validados se estructuran de acuerdo con los modelos definidos en Pydantic para asegurar uniformidad.
- **Serialización en JSON:** Los datos procesados se preparan en formato JSON para garantizar su compatibilidad con aplicaciones externas como:
 - Cuadros de mando en **Grafana** o **Power BI** [117].
 - Aplicaciones web desarrolladas en **Angular**.

5. Exposición a través de las APIs

- Los datos estructurados se devuelven a través de endpoints REST definidos en FastAPI como por ejemplo:
 - GET /estaciones_meteorologicas
 - GET /observaciones/{idema}
 - GET /incidentes/provincia/{provincia}
 - GET /electrolineras
- Las rutas permiten la interacción con parámetros dinámicos que filtran o personalizan los resultados.

6. Consumo y Visualización

- **Usuarios Finales:**
 - Aplicaciones web, móviles o cuadros de mando consumen los datos expuestos por las APIs.
- **Casos de Uso:**
 - Representación de datos geográficos en mapas interactivos.
 - Visualización de estadísticas meteorológicas o incidentes en tiempo real.
 - Análisis avanzado mediante herramientas de BI.

7. Monitoreo y Actualización

- **Monitoreo en Tiempo Real:**
 - Las APIs registran logs detallados para auditar solicitudes, tiempos de respuesta y errores.
- **Actualización Periódica:**
 - Las APIs sincronizan datos con el endpoint SPARQL en intervalos regulares, asegurando que la información expuesta esté siempre actualizada.

Resumen del Flujo de Información

1. **Entrada:** Solicitud de datos a través de un endpoint REST.
2. **Consulta:** Ejecución de una consulta SPARQL al endpoint de Virtuoso.
3. **Procesamiento:** Transformación y validación de los datos RDF.
4. **Salida:** Exposición de datos en formato JSON mediante APIs REST.
5. **Consumo:** Visualización o análisis por aplicaciones externas.

Este flujo asegura que los datos sean precisos, actualizados y fácilmente consumibles por los sistemas que dependen de la información semántica.

5.3.10 Mapas en angular y leaflet

El proceso de visualización de mapas interactivos de electrolineras integra tecnologías como Angular, Leaflet y APIs REST, asegurando un flujo ordenado desde la consulta de datos RDF hasta la representación geoespacial en un mapa dinámico.

1. Consulta de Datos desde el Endpoint SPARQL

Inicio del Proceso:

- Angular realiza solicitudes HTTP a las APIs REST desarrolladas con FastAPI.
- Estas APIs actúan como puente con el endpoint SPARQL de Virtuoso.

Ejecutar Consultas SPARQL:

- Las APIs envían consultas SPARQL optimizadas para recuperar datos RDF sobre electrolineras:
 - Atributos como identificador, ubicación geográfica, tipo de conexión y nombre de la electrolinera.
 - Contexto adicional como provincia o región.

Recuperación de Datos:

- El endpoint devuelve los resultados en formato RDF/JSON.

2. Transformación y Procesamiento de Datos en las APIs REST

Transformación de Datos:

- Los datos RDF se convierten a estructuras JSON simplificadas, compatibles con Angular y Leaflet.
- Operaciones realizadas:
 - Conversión de coordenadas WKT a latitud/longitud.
 - Enriquecimiento de datos con relaciones adicionales de otros grafos RDF.

Respuesta a Angular:

- Los datos transformados y validados se envían en formato JSON a la aplicación Angular.

3. Preparación y Configuración en Angular

Recepción de Datos:

- Angular almacena los datos JSON en componentes específicos para su procesamiento.

Preparación para Visualización:

- Los datos se estructuran en objetos que contienen atributos relevantes:
 - Coordenadas geográficas.
 - Provincia
 - Potencia disponible.

4. Renderizado del Mapa con Leaflet

Capa Base del Mapa:

- Leaflet utiliza servicios como OpenStreetMap para renderizar el mapa base.

Creación de Marcadores:

- Cada electrolinera se muestra como un marcador en el mapa.
- Los iconos personalizados reflejan atributos como tipo de conexión y potencia.

5. Interacción con el Mapa

Pop-ups Informativos:

- Al interactuar con un marcador, se despliega un pop-up con detalles de la electrolinera:
 - Nombre, provincia, ubicación exacta, entre otros.

Herramientas de Navegación:

- Leaflet ofrece zoom y pan para explorar las ubicaciones de manera intuitiva.

Filtros Dinámicos:

- Los usuarios pueden ajustar los datos visibles en el mapa según criterios específicos.

Resultados del Proceso

- **Mapas Interactivos:** Representación geoespacial clara y dinámica de las electrolineras.
- **Actualización en Tiempo Real:** Datos siempre sincronizados con el endpoint SPARQL.
- **Facilidad de Uso:** Herramientas visuales que optimizan la interacción del usuario con la información geoespacial.

Este proceso garantiza una visualización eficiente y dinámica de las electrolineras, alineándose con los principios de interoperabilidad y accesibilidad de los datos semánticos en tiempo real.

5.3.11 Informes en POWER BI

Se accede a la información enriquecida y semantizada almacenada en Virtuoso mediante APIs REST previamente definidas como en el caso de los mapas en Angular y Leaflet. Estas APIs actúan como una capa intermedia que simplifica el acceso a los datos desde Power BI, proporcionando una interfaz estandarizada y eficiente. Este enfoque permite que Power BI consuma datos semánticos estructurados en formatos compatibles sin necesidad de realizar consultas SPARQL directamente.

1. Datos de Incidencias de Tráfico

Los datos de incidentes de tráfico, enriquecidos con información inferida a través de reglas SWRL, son expuestos mediante una API REST. Esta API ofrece información clave como ubicación, tipo de incidente, hora del evento y su nivel de severidad inferido. Los datos están diseñados para ser fácilmente consultados y visualizados en Power BI, permitiendo análisis detallados de patrones de tráfico y factores asociados.

2. Información Meteorológica

Los datos meteorológicos, que incluyen observaciones en tiempo real y detalles de estaciones meteorológicas, son accesibles mediante una API específica. Esta API proporciona atributos como coordenadas geográficas, temperatura, precipitaciones y velocidad del viento, vinculados a sus respectivas estaciones. Además, permite relacionar cada observación meteorológica con incidentes de tráfico cercanos, facilitando la visualización de cómo las condiciones ambientales afectan los eventos viales.

3. Datos de Electrolineras

La API REST para electrolineras expone información estructurada sobre la ubicación, estado operativo, tipos de cargadores disponibles y capacidad de carga de cada estación. También incluye datos geoespaciales que permiten vincular electrolineras con incidentes de tráfico cercanos o áreas con alta demanda de infraestructura de carga eléctrica.

4. Consumo de Datos en Power BI

Power BI utiliza estas APIs REST como fuentes de datos, configuradas para realizar solicitudes periódicas y mantener los informes actualizados. Este flujo garantiza que Power BI acceda a datos en tiempo real o casi en tiempo real, presentando información clave como mapas de incidentes de tráfico con condiciones meteorológicas asociadas, ubicación y disponibilidad de electrolineras, y análisis detallados de patrones viales.

Este flujo asegura que los datos almacenados en Virtuoso y expuestos mediante APIs REST sean fácilmente accesibles para Power BI, proporcionando una integración fluida entre la arquitectura semántica y las herramientas de visualización y análisis.

5.4 Conclusiones

La arquitectura propuesta en este capítulo demuestra una solución eficiente y escalable para la gestión de datos de tráfico como LOD. Las principales conclusiones incluyen:

1. Eficiencia en la integración de datos heterogéneos: La implementación de procesos específicos para cada fuente, junto con el uso del Lod Converter, asegura una transformación precisa y consistente de los datos a formatos RDF.
2. Enriquecimiento semántico mediante inferencias: La unificación de datos a través de reglas de inferencia permite generar conocimiento adicional, mejorando la utilidad y aplicabilidad de la información para los usuarios finales.
3. Publicación y federación en portales de datos abiertos: La arquitectura garantiza que los datos sean accesibles y reutilizables, alineándose con los principios FAIR y promoviendo la interoperabilidad a nivel nacional e internacional.
4. Visualización avanzada de datos: Las herramientas de mapas interactivos y los cuadros de mando en Power BI permiten explorar y analizar los datos de manera intuitiva, proporcionando un valor añadido para la toma de decisiones.
5. Flexibilidad y escalabilidad: La arquitectura es modular, lo que facilita la incorporación de nuevas fuentes de datos y la adaptación a diferentes contextos y requerimientos.

En resumen, la arquitectura diseñada en este capítulo establece una base sólida para la gestión de datos de tráfico como LOD, contribuyendo al desarrollo de soluciones innovadoras para la movilidad inteligente y la seguridad vial.

6 IMPLEMENTACION Y DESPLIEGUE DE UN TIS LOD MEJORADO

6.1 Introducción

Como se describió en detalle en la sección de arquitectura del sistema de esta tesis, la mejora del NAP español con LOD constituye un paso significativo hacia la integración y optimización de datos semánticos relacionados con incidentes de tráfico en el ámbito de la seguridad vial. La implementación del sistema se ha llevado a cabo en varias fases clave, orientadas a transformar los datos existentes en recursos semánticos enriquecidos y accesibles, siguiendo los principios de interoperabilidad y reutilización de la web semántica.

El desarrollo comenzó con la creación de un conversor semántico especializado para transformar los datos de incidentes de tráfico en formato DATEX II v3. Este conversor utiliza tecnologías como JAXB y Jena para procesar los datos, generando representaciones en formato RDF y enriqueciendo la información con datos geográficos y contextuales provenientes de fuentes externas, como el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Esto garantiza no solo la interoperabilidad de los datos sino también su valor agregado para los usuarios.

Además de la conversión semántica, se desarrolló una interfaz SPARQL avanzada integrada en el NAP, diseñada para facilitar el acceso y análisis de datos mediante consultas tanto directas como federadas. Esta interfaz incluye ejemplos prácticos y funcionalidades interactivas que permiten a los usuarios explorar los datos sin necesidad de conocimientos avanzados en SPARQL, promoviendo así un uso más amplio y eficiente de la información disponible.

En paralelo, se incorporaron funcionalidades basadas en napDCAT-AP que permiten la federación con otros sistemas de LOD mediante la publicación de metadatos estandarizados. Este componente asegura que los datos estén documentados y sean accesibles de manera estructurada, fomentando la interoperabilidad con plataformas nacionales e internacionales.

Para complementar estas capacidades, se desarrolló una API REST utilizando FastAPI, que permite a los usuarios consumir datos semánticos de manera sencilla y estructurada. Esta API ofrece acceso parametrizado a información como incidentes de tráfico, condiciones meteorológicas y disponibilidad de electrolineras, eliminando la necesidad de interactuar directamente con el endpoint SPARQL y extendiendo el alcance del sistema a aplicaciones externas y usuarios no técnicos.

Otro elemento clave de la implementación fue la integración de reglas SWRL (Semantic Web Rule Language) para derivar nuevo conocimiento a partir de los datos existentes. Estas reglas permiten realizar inferencias automáticas, como la identificación de incidentes críticos bajo condiciones adversas o la detección de zonas de alta siniestralidad. Este enfoque no solo enriquece los datos almacenados en el sistema, sino que también proporciona a los usuarios herramientas analíticas avanzadas para la toma de decisiones.

Finalmente, el sistema incorpora una capa de visualización interactiva desarrollada con Angular y Leaflet, que representa la información en mapas dinámicos y accesibles. Esta capa permite a los usuarios visualizar en tiempo real la ubicación de incidentes, estaciones meteorológicas y electrolineras cercanas, facilitando un entendimiento más intuitivo y práctico de los datos.

En conjunto, la implementación de este TIS LOD mejorado consolida al NAP español como un modelo avanzado en la gestión de datos abiertos enlazados, promoviendo la accesibilidad, la interoperabilidad y el análisis en el contexto de la seguridad vial. Este sistema no solo responde

a las necesidades actuales de integración y análisis de datos, sino que también establece una base sólida para futuras extensiones y aplicaciones en otros dominios.

En las siguientes secciones se describe cada uno de los componentes de la arquitectura desde la perspectiva de la construcción de la solución semántica.

6.2 Conversor LOD

El conversor LOD desarrollado en esta tesis utiliza el lenguaje de programación Java junto con las bibliotecas JAXB y Jena para transformar datos de incidentes de tráfico en formato XML DATEX II en instancias de Datos Abiertos Enlazados (LOD). Este conversor semántico permite estructurar y enriquecer la información de incidentes, facilitando su interoperabilidad con otros sistemas y su acceso mediante estándares de la web semántica.

Para el desarrollo de la solución, se empleó Eclipse como entorno de desarrollo integrado (IDE). Eclipse proporciona una plataforma robusta y personalizable que facilita la organización y el manejo de las diversas clases y paquetes necesarios para implementar las funcionalidades del convertidor. Las bibliotecas JAXB y Jena juegan un papel fundamental en este proceso: JAXB se encarga de deserializar el XML a objetos Java, mientras que Jena permite la transformación de estos objetos en formatos RDF, siguiendo los principios de LOD.

En la ilustración 101, se presenta el proyecto Java en el IDE de Eclipse, mostrando la estructura de los paquetes y clases que componen el conversor. Esta organización modular permite una fácil extensión y mantenimiento del código, garantizando que la solución sea escalable y adaptable a futuras actualizaciones del estándar DATEX II o a nuevas necesidades de datos de tráfico en el ámbito de los Datos Abiertos Enlazados.

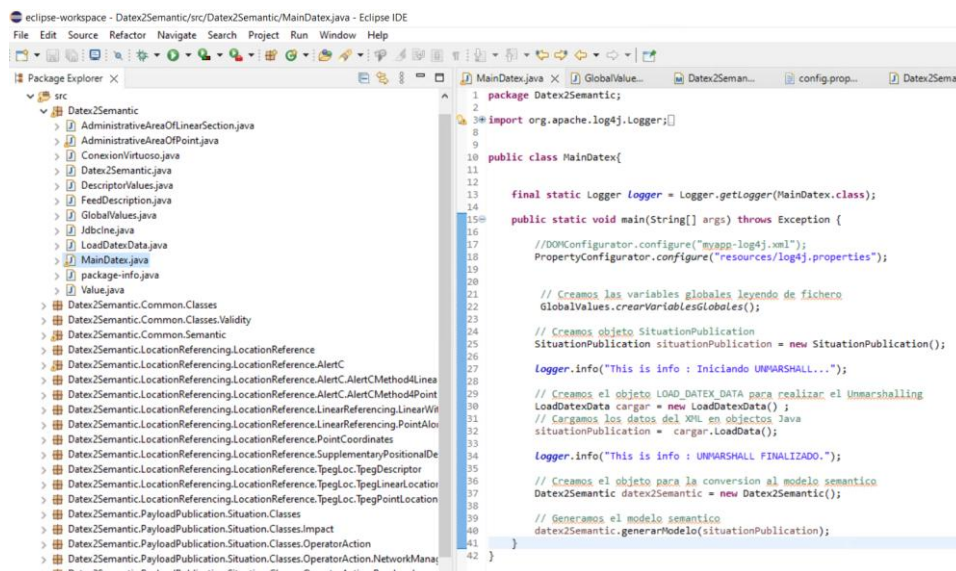


Ilustración 101 : Paquetes y clases del conversor DTEX II LOD

Log4j es una biblioteca de código abierto desarrollada en Java por la Apache Software Foundation que permite a los desarrolladores de software escribir mensajes de registro (logs) para documentar transacciones específicas durante la ejecución de un programa. Log4j facilita la organización y el seguimiento de eventos importantes en el sistema, permitiendo filtrar los mensajes en función de su nivel de importancia, como información, advertencia o error.

En la ilustración 102 se muestra la configuración de Log4j utilizada en los procesos de prueba del convertidor LOD. Esta configuración permite capturar detalles críticos del flujo de procesamiento, garantizando un registro preciso y eficiente de los eventos que ocurren durante las pruebas y ayudando a identificar posibles problemas de rendimiento o errores en el sistema.

```

1 # Root logger option
2 log4j.rootLogger=DEBUG, stdout, file
3
4 # Redirect log messages to console
5 log4j.appender.stdout=org.apache.log4j.ConsoleAppender
6 log4j.appender.stdout.Target=System.out
7 log4j.appender.stdout.layout=org.apache.log4j.PatternLayout
8 log4j.appender.stdout.layout.ConversionPattern=%d{yyyy-MM-dd HH:mm:ss} %-5p %c{1}:%L - %m%n
9
10 # Redirect log messages to a log file, support file rolling.
11 log4j.appender.file=org.apache.log4j.RollingFileAppender
12 log4j.appender.file.File=C:\\Users\\julian\\eclipse-workspace\\Datex2Semantic\\log4j-application.log
13 log4j.appender.file.MaxFileSize=5MB
14 log4j.appender.file.MaxBackupIndex=10
15 log4j.appender.file.layout=org.apache.log4j.PatternLayout
16 log4j.appender.file.layout.ConversionPattern=%d{yyyy-MM-dd HH:mm:ss} %-5p %c{1}:%L - %m%n

```

Ilustración 102 : Configuración log4j del conversor DATEX II LOD

El conversor LOD dispone de varios parámetros de entrada que pueden ser configurados, tales como la ruta del archivo XML en formato DATEX II v3, la ruta del archivo de ontología y las rutas de salida para los archivos semánticos generados por la aplicación. Estos parámetros permiten personalizar la operación del conversor para adaptarse a distintos conjuntos de datos y necesidades de procesamiento sin modificar el código fuente.

Para evitar la codificación fija de estos valores dentro del código del programa lo cual requeriría cambiar y recompilar el código cada vez que se modifica un parámetro, se ha creado un archivo de propiedades donde se definen estos y otros parámetros de configuración (ver ilustración 103). Este archivo de propiedades facilita la administración y la personalización de la aplicación, permitiendo a los usuarios ajustar rutas de archivos y otros detalles de configuración de forma externa y dinámica, sin necesidad de modificar el código ni realizar procesos de compilación adicionales.

Esta estructura configurable no solo hace que el convertidor sea más flexible y fácil de mantener, sino que también permite su rápida adaptación a diferentes entornos y fuentes de datos. Además, al centralizar todos los parámetros de entrada en un único archivo, se mejora la trazabilidad y la organización del sistema, simplificando tanto el despliegue como la resolución de problemas.

```

1  ## FICHERO CON LOS DATOS DE DATEX
2  #####
3  path.datex_xml=C:\\PROYECTOS_EUROPEOS\\DATEX_PROFILE_SRTI\\2022-09-06\\incidenciasV3_1650.xml
4
5  ## FICHERO DE LA ONTOLOGIA DE DATEX
6  #####
7  path.datex_ontology=C:\\PROYECTOS_EUROPEOS\\DATEX_PROFILE_SRTI\\dtx_srti_CEF_extendedFINAL030822.owl
8
9  ## FICHERO DE DATOS CARRETERAS Y ADM UNITS
10 #####
11 path.roads_individuals=C:\\PROGRAMAS\\d2rq-0.8.1\\carreteras_dump_2.xml
12 path.adm_unit_individuals=C:\\PROGRAMAS\\d2rq-0.8.1\\muni_pob_dump.xml
13
14 ## URL
15 #####
16 url.url_datex_ontology=http://cef.uv.es/loroadtran18/def/transporte/dtx_srti
17 url.url_recurso_datex=https://cef.uv.es/loroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti
18 url.url_recurso_carreteras=https://cef.uv.es/loroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads
19 url.url_recurso_adm_units=https://cef.uv.es/loroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit
20
21 ## FICHEROS SALIDA RDF
22 #####
23 path.datex_rdf_output=C:\\PROYECTOS_EUROPEOS\\DATEX_PROFILE_SRTI\\output\\DATEX_RDF_OUTPUT.rdf
24 path.datex_json_output=C:\\PROYECTOS_EUROPEOS\\DATEX_PROFILE_SRTI\\output\\DATEX_JSON_OUTPUT.json
25 path.datex_ntriples_output=C:\\PROYECTOS_EUROPEOS\\DATEX_PROFILE_SRTI\\output\\DATEX_NTRIPLES_OUTPUT.n3
26 path.datex_turtle_output=C:\\PROYECTOS_EUROPEOS\\DATEX_PROFILE_SRTI\\output\\DATEX_TURTLE_OUTPUT.ttl
27
28 ## VIRTUOSO
29 #####
30 virt.endpoint=jdbc:virtuoso://147.156.222.116:1111
31 virt.graph_name=http://localhost:8890/DATEX
32 virt.user_name=dba
33 virt.password=loroadtran18
34
35
36 ## DB JDBC
37 #####
38 mysql.url_jdbc=jdbc:mysql://localhost:3306/codigos_in
39 mysql.user_name=root
40 mysql.password=root

```

Ilustración 103 : Configuración general del conversor DATEX II LOD

En el proyecto desarrollado en la tesis, existe una clase llamada GlobalValues (ilustración 104) que carga los distintos parámetros de archivo en variables globales para su uso en la aplicación. Esta clase centraliza y gestiona todos los parámetros configurables, proporcionando un acceso eficiente y organizado a la configuración de la aplicación en tiempo de ejecución.

```

public class GlobalValues {

    static String PATH_XML_FILE;

    static String PATH_DATEX_ONTOLOGY;
    static String PATH_ROADS_INDIVIDUALS;
    static String PATH_ADM_UNIT_INDIVIDUALS;

    static String URL_DATEX_ONTOLOGY;
    static String URL_RECURSO_DATEX;
    static String URL_RECURSO_CARRETERAS;
    static String URL_RECURSO_ADM_UNITS;

    static String PATH_DATEX_RDF_OUTPUT;
    static String PATH_DATEX_JSON_OUTPUT;
    static String PATH_DATEX_NTRIPLES_OUTPUT;
    static String PATH_DATEX_TURTLE_OUTPUT;

    static String VIRT_ENDPOINT;
    static String VIRT_GRAPH_NAME;
    static String VIRT_USER_NAME;
    static String VIRT_PASSWORD;

    static String JDBC_URL;
    static String JDBC_USER_NAME;
    static String JDBC_PASSWORD;

    public static void crearVariablesGlobales() {

        // Ruta Fichero de properties
        String fileName = "resources/config.properties";

        try (InputStream input = new FileInputStream(fileName)) {
            Properties prop = new Properties();

```

Ilustración 104 : Variables globales del conversor DATEX II LOD

Compilación, Instalación y Ejecución del Conversor LOD

La construcción del conversor LOD incluye varias etapas técnicas que aseguran la transformación eficiente de datos XML en instancias RDF interoperables. Para garantizar una organización clara

de la tesis, los detalles técnicos relativos a la **compilación del proyecto**, la **instalación de dependencias** y la **ejecución del conversor** han sido trasladados al **Anexo I: Configuración Técnica e instalación del Conversor LOD**.

6.3 Construcción de la federación de incidentes en el portal de datos español y europeo

Integración de Funcionalidades DCAT en NAP Español:

Durante el análisis e investigación de las tesis se desarrollaron funcionalidades DCAT en el Punto Nacional de Acceso (NAP) español para generar metadatos RDF estandarizados desde cualquier publicación en el portal, añadiendo ".rdf? profiles=nap_dcat_ap" o ".rdf? profiles=datos_gob_es" para la federación en el portal de datos abiertos español al final de la URL como se muestra en las ilustraciones 105,106 y 107.

The screenshot shows the 'Incidentes de Tráfico (SRTI) en formato LOD DATEX II' dataset page on the NAP Spanish portal. The page includes a sidebar with the DGT logo and social media links, and a main content area with the dataset title and a table of additional information.

Campo	Valor
Fuente	DGT
Autor	DGT
Mantenedor	DGT
Fecha de metadatos	28.10.2022 CET 11:00
Idioma de metadatos	ENG-SPA
Información de contacto de metadatos	Dirección General de Tráfico C/ Josefa Valcárcel 44, Madrid nap@dgt.es http://nap.dgt.es
Nombre de publicación	Incidentes de Tráfico (SRTI) en formato LOD DATEX II
Descripción de publicación	Conjunto de datos de Incidentes de Tráfico (SRTI) en formato LOD DATEX II
Categoría de los datos	Unexpected road events and conditions

Ilustración 105: Ejemplo de la publicación de incidencias SRTI en el NAP español. Fuente: [46]

The screenshot shows the URL bar of a web browser with the URL: https://nap.dgt.es/dataset/incidencias-de-traffic-srti-en-formato-lod-dtex-ii.rdf?profiles=nap_dcat_ap. The page content below the URL bar shows the dataset title and a table of additional information.

Campo	Valor
Fuente	DGT
Autor	DGT
Mantenedor	DGT
Fecha de metadatos	28.10.2022 CET 11:00
Idioma de metadatos	ENG-SPA
Información de contacto de metadatos	Dirección General de Tráfico C/ Josefa Valcárcel 44, Madrid nap@dgt.es http://nap.dgt.es
Nombre de publicación	Incidentes de Tráfico (SRTI) en formato LOD DATEX II
Descripción de publicación	Conjunto de datos de Incidentes de Tráfico (SRTI) en formato LOD DATEX II
Categoría de los datos	Unexpected road events and conditions

Ilustración 106: Acceso al fichero de metadatos de una publicación de incidencias SRTI: Fuente: [46]


```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<rdf:RDF
  xmlns:foaf="http://xmlns.com/foaf/0.1/"
  xmlns:napdcap="https://eneip.github.io/napDCAT-AP/"
  xmlns:icon="http://www.w3.org/ns/icon#"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:dcap="http://www.w3.org/ns/dcat#"
  xmlns:dot="http://purl.org/dc/terms/"
  xmlns:vcard="http://www.w3.org/2006/vcard/ns#"
>
  <dcap:Dataset rdf:about="https://nap.dgt.es/dataset/6f539ff0-4d51-4e20-ae06-b9fe27df2462">
    <dcap:description>Conjunto de datos de Incidencias de Tráfico (SRTI) en formato LOD DAREX II</dcap:description>
    <napdcap:qualityDescription>Información de origen validada por Centros de Gestión de la Dirección General de Tráfico y por la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil.</napdcap:qualityDescription>
    <dcap:spatial>
      <dot:Location rdf:nodeID="Nea040a031fec42fcb5fec1f62638c5c6">
        <dot:Address rdf:resource="http://nmts.geovocab.org/id/B51"/>
      </dot:Location>
      <dot:spatial>
        <dot:Location rdf:nodeID="Nea4f59eb256964806bdf3146f4b33d76f">
          <dot:Address rdf:resource="http://nmts.geovocab.org/id/B524"/>
        </dot:Location>
      </dot:spatial>
      <napdcap:networkCoverage rdf:resource="https://eneip.github.io/napDCAT-AP/vocabularies/functionalroadclasses#Motorways"/>
      <dcap:theme rdf:resource="http://publications.europa.eu/resource/authority/data-theme/TRAN"/>
      <dcap:spatial>
        <dot:Location rdf:nodeID="Nea5678f3d29cd4d0d8779173a6fbc95b">
          <dot:Address rdf:resource="http://nmts.geovocab.org/id/B54"/>
        </dot:Location>
      </dot:spatial>
      <dot:spatial>
        <dot:Location rdf:nodeID="Nea8cb133d0ce4a509e029dbbfc90d17a">
          <dot:Address rdf:resource="http://nmts.geovocab.org/id/B523"/>
        </dot:Location>
      </dot:spatial>
      <dcap:creator>
        <foaf:Agent rdf:about="https://nap.dgt.es/organization/about/4a0c29d3-8a3e-484c-91d6-936e02f32e397">
          <foaf:name>DGT</foaf:name>
          <foaf:mbox><foaf:mbox>
        </foaf:Agent>
      </dcap:creator>
      <napdcap:networkCoverage rdf:resource="https://eneip.github.io/napDCAT-AP/vocabularies/functionalroadclasses#Regionalroads"/>
    </dcap:Dataset>
  </rdf:RDF>
```

Ilustración 107: Segmento de código archivo de metadatos publicación incidentes SRTI: Fuente: [46]

Los metadatos generados cumplen con el perfil napDCAT-AP, alineados con el Coordinated Metadata Catalogue (CMC).

Federación con el Portal Europeo de Datos Abiertos:

La federación se realiza en dos etapas:

- Federación Intermedia con el Portal de Datos Abiertos Español: Este portal utiliza un formato específico distinto al napDCAT-AP, adaptándose a sus requerimientos.
- Federación Final: El Portal de Datos Abiertos Español convierte automáticamente estos datos para su cosecha por el Portal Europeo.

Implementación de Campos Adicionales de Metadatos:

Se adaptaron formularios y estructuras en CKAN para cumplir con los requisitos europeos de metadatos (DCAT-AP v2.0 y napDCAT-AP), agregando campos obligatorios definidos por el CMC.

Uso del Plugin CKANext-DCAT:

El complemento CKANext-DCAT[33] permite la exposición y consumo de metadatos RDF en formatos estandarizados como DCAT-AP y napDCAT-AP, fundamentales para garantizar la interoperabilidad en el ecosistema de datos abiertos. Además, esta herramienta ofrece la capacidad de generar archivos RDF individuales para cada dataset o archivos RDF que representen catálogos completos, simplificando la integración con otros portales de datos abiertos.

Se desarrollaron perfiles personalizados en CKAN para extender las funcionalidades básicas del plugin, adaptándolo a los requisitos específicos del NAP español y del Portal Europeo de Datos Abiertos. Estos perfiles permiten generar metadatos conforme a las especificaciones de DCAT-AP y napDCAT-AP, lo que asegura el cumplimiento con estándares europeos y facilita la transferencia de datos entre portales. Gracias a estas extensiones, se garantiza que los datos cosechados cumplan con las normativas de interoperabilidad, contribuyendo a la federación eficiente de la información entre los sistemas nacionales y europeos.

Cumplimiento con Herramientas de Calidad de Metadatos:

Se verificó la conformidad con las herramientas de aseguramiento de calidad del Portal Europeo utilizando los archivos RDF generados en formato RDF/XML [118].

Estándares Utilizados:

Se emplearon perfiles como DCAT-AP v2.0, napDCAT-AP y SPA CMC para garantizar la interoperabilidad entre NAPs europeos y el Portal Europeo de Datos Abiertos

Metodología de Federación:

La federación implica configuraciones en interfaces de usuario de los portales destino, donde se proporciona un enlace directo a los archivos RDF generados. Se priorizan perfiles como napDCAT-AP y DCAT-AP, con énfasis en asegurar que los metadatos sean compatibles con los estándares requeridos.

Este proceso asegura que los datos publicados en los portales NAP puedan integrarse efectivamente en sistemas de datos abiertos, cumpliendo con normativas y estándares europeos, y promoviendo la reutilización de información a nivel internacional.

6.4 Construcción e integración de la información de Unidades Administrativas

La integración de los datos de unidades administrativas (municipios, provincias y comunidades autónomas) es un componente clave de la arquitectura semántica desarrollada. Los datos se obtienen del Instituto Nacional de Estadística (INE) de España en formato tabular y se distribuyen en varios archivos, cada uno representando diferentes niveles de la jerarquía administrativa. Estos archivos incluyen información esencial como nombres, códigos INE, población y extensión geográfica. El proceso de integración implica la transformación de estos datos a RDF mediante D2RQ para su consulta y análisis semántico.

1. Descarga y Análisis de los Archivos de Datos

Los archivos descargados desde el INE se almacenan localmente y se analizan para identificar atributos relevantes y relaciones jerárquicas. Entre ellos:

- **Municipios.xlsx:** Contiene detalles como nombre, código INE, población y superficie.
- **Provincias.xlsx:** Incluye nombres, extensión geográfica y la relación con los municipios.
- **Comunidades_Autónomas.xlsx:** Agrupa provincias, con información sobre población total y características clave.

Estos archivos reflejan una estructura jerárquica donde los municipios forman parte de provincias y estas a su vez están agrupadas en comunidades autónomas.

2. Carga de los Datos en Tablas MySQL

Los datos se cargan en una base de datos MySQL para su normalización y estructuración:

Preparación del Esquema Relacional:

- **Tabla Municipios:** Almacena los detalles de los municipios, incluyendo su relación con provincias mediante una clave foránea provincia_id.
- **Tabla Provincias:** Detalla información de las provincias, vinculándolas a sus comunidades autónomas a través de comunidad_id.
- **Tabla Comunidades Autónomas:** Contiene información general sobre cada comunidad autónoma.

Esquema del modelo Relacional:

En la ilustración 108 se muestra el esquema de la base de datos en Mysql de unidades administrativas.

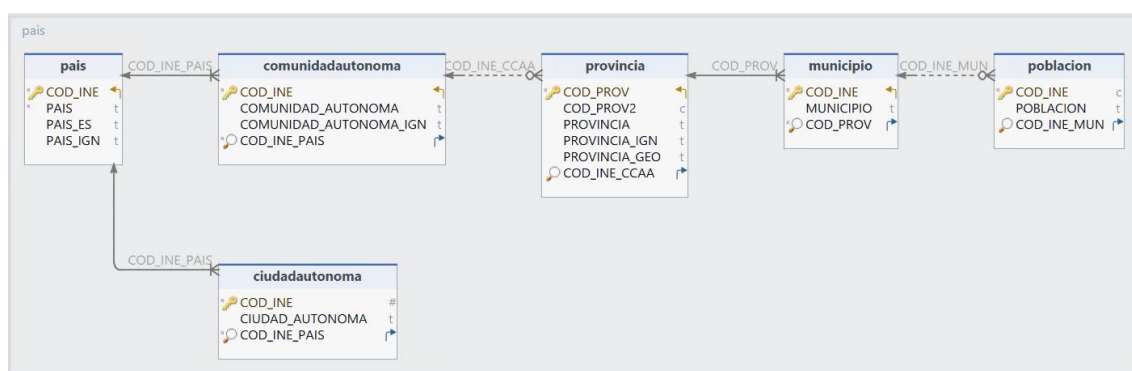


Ilustración 108: Modelo relacional de la base de datos de unidades administrativas.

Importación de los Datos:

Se emplean scripts SQL para cargar y organizar los datos de los archivos Excel en las tablas correspondientes.

Validación Inicial de los Datos:

Se realizan verificaciones para garantizar que:

- Cada municipio tenga una referencia válida a su provincia correspondiente.
- Cada provincia esté correctamente vinculada a una comunidad autónoma.
- No existan errores tipográficos ni registros duplicados.

3. Configuración de D2RQ

El siguiente paso es configurar un archivo de mapeo **codigos_ine.ttl**, definiendo cómo las tablas relacionales se transforman en un modelo RDF:

1. Mapeo de Tablas a Clases RDF:

- Tabla Municipios → Clase ex:Municipio con propiedades como ex:nombre, ex:codigoINE, y ex:poblacion.
- Tabla Provincias → Clase ex:Provincia, vinculando provincias con sus municipios mediante la propiedad ex:incluyeMunicipio.
- **Tabla Comunidades Autónomas → Clase ex:ComunidadAutonoma, relacionada con sus provincias mediante ex:componeProvincia`.

2. Mapeo de Relaciones entre Clases:

Las relaciones jerárquicas se representan mediante propiedades RDF:

- `ex:incluyeMunicipio` para vincular provincias con municipios.
- `ex:componeProvincia` para asociar provincias a comunidades autónomas.

En el listado 25 se muestra un fragmento del archivo de configuración D2RQ para la integración semántica de unidades administrativas.

```
@prefix dtx_srti: <> .
@prefix admunit_rec: <> .
@prefix rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> .
@prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> .
@prefix xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> .
@prefix d2rq: <http://www.wiwiwss.fu-berlin.de/suhl/bizer/D2RQ/0.1#> .
@prefix jdbc: <http://d2rq.org/terms/jdbc/> .
@prefix adu: <http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/administrativeUnit#> .
@prefix esadm: <http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#> .
@prefix dcterms: <http://purl.org/dc/terms/> .
@prefix owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> .

dtx_srti:database a d2rq:Database;
  d2rq:jdbcDriver "com.mysql.jdbc.Driver";
  d2rq:jdbcDSN "jdbc:mysql://127.0.0.1/codigos_ine";
  d2rq:username "root";
  d2rq:password "root";
  jdbc:zeroDateTimeBehavior "convertToNull";
  jdbc:autoReconnect "true";
  .

# Table Municipio
dtx_srti:Municipio a d2rq:ClassMap;
  d2rq:dataStorage dtx_srti:database;
  d2rq:uriPattern "Municipio/@@Municipio.COD_INE|urlify@";
  d2rq:class esadm:Municipio;
  d2rq:classDefinitionLabel "Municipio";
  .

dtx_srti:Municipio_label a d2rq:PropertyBridge;
  d2rq:belongsToClassMap dtx_srti:Municipio;
  d2rq:property rdfs:label;
  d2rq:pattern "Municipio #@@Municipio.COD_INE@";
  .

dtx_srti:Municipio_COD_INE a d2rq:PropertyBridge;
  d2rq:belongsToClassMap dtx_srti:Municipio;
  d2rq:property esadm:codigoINE ;
  d2rq:propertyDefinitionLabel "Municipio COD_INE";
  d2rq:column "Municipio.COD_INE";
  #d2rq:datatype xsd:integer;
  .

dtx_srti:Municipio_MUNICIPIO a d2rq:PropertyBridge;
  d2rq:belongsToClassMap dtx_srti:Municipio;
  d2rq:property dcterms:title;
  d2rq:propertyDefinitionLabel "Municipio MUNICIPIO";
  d2rq:column "Municipio.MUNICIPIO";
  .

dtx_srti:Municipio_SAMEAS a d2rq:PropertyBridge;
  d2rq:belongsToClassMap dtx_srti:Municipio;
  d2rq:property owl:sameAs;
  d2rq:uriSqlExpression "CONCAT('https://datos.ign.es/recurso/btn100/municipio/', Municipio.COD_INE)";
  d2rq:propertyDefinitionLabel "MUNICIPIO";
  .

dtx_srti:Municipio_PROV__ref a d2rq:PropertyBridge;
  d2rq:belongsToClassMap dtx_srti:Municipio;
  d2rq:property adu:belongToProvince;
  d2rq:refersToClassMap dtx_srti:Provincia;
  d2rq:join "Municipio.COD_PROV=> Provincia.COD_PROV";
```

Listado 25: Fragmento del archivo de configuración D2RQ para la integración semántica de unidades administrativas.

4. Ejecución de D2RQ

El archivo de configuración **codigos_ine.ttl** se utiliza para ejecutar D2RQ, generando triples RDF a partir de las tablas MySQL. El proceso garantiza que:

- Cada municipio se transforme en una instancia RDF con sus propiedades.
- Cada provincia esté correctamente vinculada a sus municipios.
- Cada comunidad autónoma agrupe correctamente a sus provincias.

5. Carga en Virtuoso

Tras la ejecución del proceso, los triples RDF se cargan en Virtuoso, creando un grafo específico para unidades administrativas accesible desde el endpoint SPARQL. Esto permite integrar los datos con otras fuentes como incidentes de tráfico, meteorología y electrolíneas, ofreciendo una visión semántica e interoperable.

6.5 Construcción e integración de la información de carreteras

La integración de los datos proporcionados por el Ministerio de Transporte es un componente esencial de la arquitectura semántica. Los datos, disponibles en formato Excel, se organizan en dos archivos: uno que describe las carreteras y otro que detalla los tramos. Esta división refleja la estructura jerárquica de la red vial, donde las carreteras agrupan múltiples tramos con características específicas. El proceso de integración incluye la transformación de estos datos a RDF mediante D2RQ, asegurando que se conviertan en un modelo semántico interoperable para su análisis y consulta.

1. Descarga y Análisis de los Archivos de Excel

Los datos en Excel se dividen en dos archivos principales:

- Carreteras.xlsx: Contiene información general sobre las carreteras, como:
 - Nombre y tipo de carretera (autopista, carretera secundaria, etc.).
 - Longitud total de la carretera.
 - Clasificación administrativa (nacional, autonómica, local, etc.).
 - Estado actual de la vía.
- Tramos.xlsx: Incluye información más detallada de cada tramo que compone una carretera:
 - Identificador del tramo y la carretera a la que pertenece.
 - Kilómetro inicial y final del tramo.
 - Tipo de vía y velocidad máxima permitida.
 - Condiciones específicas del tramo (curvas peligrosas, pendientes, etc.).

Estos archivos contienen datos complementarios que deben integrarse para ofrecer una visión completa de la red vial.

2. Carga de los Datos en Tablas MySQL

El primer paso consiste en cargar los datos de los archivos Excel en una base de datos MySQL para normalizar y estructurarlos.

Preparación del Esquema Relacional:

1. Se crea una tabla Carreteras para almacenar la información general sobre las carreteras.
2. Se crea una tabla Tramos que detalla los tramos asociados a las carreteras, incluyendo relaciones mediante claves foráneas.
Por ejemplo, la columna carretera_id en Tramos referencia la tabla Carreteras.

Modelo relacional:

La ilustración 109 se muestra el esquema de la base de datos en Mysql de unidades administrativas.

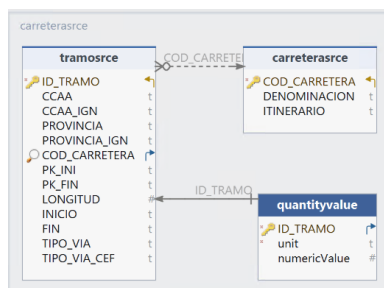


Ilustración 109: Modelo relacional de la base de datos carreteras.

Importación de los Datos:

Se utilizan scripts SQL personalizados como en el caso de las unidades administrativas para cargar los datos de los archivos Excel en las tablas correspondientes.

Validación Inicial de los Datos:

Antes de proceder, se realizan verificaciones para garantizar que los datos cargados sean correctos y consistentes:

3. Verificar que cada tramo tenga una referencia válida a su carretera correspondiente.
4. Revisar que los valores numéricos (como longitud o kilómetros) no contengan errores tipográficos.
5. Eliminar filas duplicadas o inconsistentes.

3. Configuración de D2RQ

Una vez cargados los datos en MySQL, se configura **D2RQ** para mapear las tablas a un modelo RDF. Este paso requiere la creación de un archivo de configuración mapping.ttl que define cómo las tablas y columnas se transforman en clases y propiedades RDF.

1. Mapeo de Tablas a Clases RDF:

- La tabla Carreteras se mapea a la clase Carretera.
- La tabla Tramos se mapea a la clase Tramo.

2. Mapeo de Relaciones entre Clases:

Las relaciones entre carreteras y tramos se representan mediante propiedades RDF.

En el listado 26 se muestra un fragmento del archivo de configuración D2RQ para la integración semántica de carreteras.

```
@prefix dtx_stri: <> .
@prefix roads_rec: <> .
@prefix rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> .
@prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> .
@prefix xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> .
@prefix d2rq: <http://www.wiwiiss.fu-berlin.de/suhl/bizer/D2RQ/0.1#> .
@prefix jdbc: <http://d2rq.org/terms/jdbc/> .
@prefix dbpedia: <http://dbpedia.org/ontology/> .
@prefix qudt: <http://qudt.org/schema/qudt#> .
@prefix roads: <http://cef.uv.es/iodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/roads#> .

dtx_stri:database a d2rq:Database;
  d2rq:jdbcDriver "com.mysql.jdbc.Driver";
  d2rq:jdbcDSN "jdbc:mysql://localhost:3306/carreteras?characterEncoding=utf8";
  d2rq:username "root";
  d2rq:password "root";
  jdbc:zeroDateTimeBehavior "convertToNull";
  jdbc:autoReconnect "true";
  .

# Table quantityvalue
dtx_stri:quantityvalue a d2rq:ClassMap;
  d2rq:dataStorage dtx_stri:database;
  d2rq:bNodeIdColumns "quantityvalue.ID_TRAMO";
  #d2rq:uriPattern "quantityvalue/@@quantityvalue.ID_TRAMO|urlify@";
  d2rq:class qudt:quantityvalue;
  d2rq:classDefinitionLabel "QuantityValue";
  .

dtx_stri:quantityvalue_UNIT a d2rq:PropertyBridge;
  d2rq:belongsToClassMap dtx_stri:quantityvalue;
  d2rq:property qudt:unit;
  #d2rq:column "quantityvalue.unit";
  d2rq:uriSqlExpression "CONCAT('http://qudt.org/vocab/unit#',quantityvalue.unit)";
  .

dtx_stri:quantityvalue_NUMERIC_VALUE a d2rq:PropertyBridge;
  d2rq:belongsToClassMap dtx_stri:quantityvalue;
  d2rq:property qudt:numericValue;
  d2rq:column "quantityvalue.numericValue";
  d2rq:datatype xsd:float;
  .

# Table CarreterasRCE
dtx_stri:CarreterasRCE a d2rq:ClassMap;
  d2rq:dataStorage dtx_stri:database;
  d2rq:uriPattern "CarreterasRCE/@@CarreterasRCE.COD_CARRETERA|urlify@";
  d2rq:class roads:CarreterasRCE;
  d2rq:classDefinitionLabel "CarreterasRCE";
  .

dtx_stri:carreteras__label a d2rq:PropertyBridge;
  d2rq:belongsToClassMap dtx_stri:CarreterasRCE;
  d2rq:property rdfs:label;
  d2rq:pattern "CarreterasRCE #@@CarreterasRCE.COD_CARRETERA@";
  .
```

Listado 26: Fragmento del archivo de configuración D2RQ para la integración semántica carreteras.

4. Ejecución de D2RQ

El archivo de configuración se utiliza para ejecutar D2RQ, generando triples RDF a partir de las tablas MySQL. Se verifica que:

- Cada carretera esté correctamente representada como una instancia de la clase Carretera.
- Cada tramo esté vinculado a su carretera correspondiente mediante la propiedad ex:contieneTramo.

5. Carga en Virtuoso

Una vez validados, los triples RDF se cargan en Virtuoso, creando un grafo específico para los datos de carreteras y tramos. Este grafo se configura para consultas desde el endpoint SPARQL.

6.6 Construcción e integración de la información de electrolineras

El proceso de integración de la información de electrolineras proporcionada por el NAP de la Dirección General de Tráfico (DGT) se realiza utilizando **SPARQL Anything** como en el caso de las observaciones y estaciones meteorológicas. Este enfoque garantiza que los datos en formato XML se conviertan en un modelo semántico que facilite su interoperabilidad y análisis dentro de la arquitectura propuesta.

1. Descripción de los Datos Originales

Los datos de electrolineras se encuentran disponibles en formato **XML**, estructurados jerárquicamente. Incluyen atributos clave como:

- El **identificador** de la electrolinera
- La **ubicación geográfica** de cada electrolinera.
- El **operador del servicio**.

Esta estructura es útil para representar los datos en sistemas convencionales, pero no es directamente compatible con el modelo RDF necesario para la integración semántica.

2. Preparación del Proceso de Transformación

El primer paso en el uso de SPARQL Anything consiste en definir un archivo de configuración SAQ (SPARQL Anything Query) que sirva como intermediario entre el formato XML y los triples RDF. Este archivo incluye:

- El **mapeo de elementos XML a clases y propiedades RDF**.
- La **definición de prefijos RDF**, como `rdf:`, `rdfs:`, y los prefijos específicos de la ontología (por ejemplo, `ex:` para propiedades y clases propias del dominio).
- **Consultas SPARQL** que extraen los datos relevantes del archivo XML y los estructuran como triples.

3. Ejecución de SPARQL Anything

Con el archivo de configuración SAQ definido, se ejecuta SPARQL Anything en un entorno local o en un servidor, proporcionando como entrada:

- El archivo XML con los datos originales.
- La consulta definida en el archivo SAQ.

El resultado de esta ejecución es un conjunto de triples RDF que representan los datos de electrolineras de acuerdo con la ontología previamente diseñada.

4. Módulo de semantización de los datos.

Se implementa un desarrollo en Java que automatiza el proceso de transformación de datos en formato XML a RDF utilizando las bibliotecas Jena y SPARQL Anything. Este programa se configura para manejar los datos de electrolineras proporcionados por la DGT y consta de las siguientes tareas y componentes clave:

Configuración Inicial del Programa

El programa establece la configuración necesaria para que SPARQL Anything se integre con el modelo RDF de Jena. Esto incluye:

- La inicialización del motor de consulta de SPARQL Anything como extensión de Jena, asegurando que las consultas definidas en el archivo SAQ puedan ejecutarse sin problemas.
- La creación de un espacio de datos (Dataset) genérico en el que se almacenarán los resultados de las consultas.

Carga y Ejecución de la Consulta SAQ

El programa carga el archivo de configuración SAQ previamente diseñado, el cual define cómo los elementos del archivo XML se transforman en triples RDF. Durante esta etapa:

1. Carga del Archivo XML: El programa localiza el archivo XML proporcionado por la DGT, que contiene los datos estructurados de las electrolineras, como ubicación, operador y provincia donde se encuentra instalada la electrolienra
2. Ejecución de la Consulta CONSTRUCT: Utilizando las capacidades de SPARQL Anything, el programa transforma los datos XML en triples RDF basándose en la estructura definida en la consulta SAQ. Esto incluye la extracción de valores jerárquicos, como coordenadas de ubicación o información del operador, y su mapeo a las propiedades RDF.

Generación del Modelo RDF

El resultado de la ejecución de la consulta se almacena en un modelo RDF gestionado por Jena. Este modelo:

- Representa a cada electrolinera como una instancia de la clase `electrolineras:id`.
- Incluye propiedades como `electrolineras:operatorData`, `electrolineras:provincia`, `electrolineras:latitud_decimal`, `electrolineras:longitud_decimal`, extraídas del archivo XML.
- Genera triples que pueden ser serializados en varios formatos, como RDF/XML o Turtle, según las necesidades del sistema.

8. Validación de los Datos RDF

Antes de integrar los datos en Virtuoso, se realiza un paso de validación para garantizar la consistencia y la calidad de los triples RDF generados. Este paso incluye:

- **Validación de la sintaxis RDF** utilizando herramientas como `rdf-validator`.
- **Verificación del modelo semántico** para asegurar que las instancias generadas corresponden correctamente a las clases y propiedades definidas en la ontología.
- **Pruebas de consultas SPARQL** para garantizar que los datos puedan ser accedidos correctamente.

9. Carga en Virtuoso

Una vez validados, los triples RDF se almacenan en Virtuoso, creando un grafo específico para la información de las electrolineras. Este grafo se configura para consultas desde el endpoint SPARQL.

Resultados

Al finalizar este proceso, los datos de electrolineras se encuentran disponibles en formato RDF dentro de Virtuoso, listos para ser consultados e integrados con otras fuentes de datos. Esta transformación permite:

- Consultar información específica de una electrolinera, como su ubicación y operador.
- Relacionar las electrolineras con incidentes de tráfico cercanos.
- Proporcionar una base estructurada para análisis avanzados y aplicaciones que requieren datos sobre infraestructura de carga eléctrica.

El uso de SPARQL Anything en este proceso asegura una integración eficiente, escalable y alineada con los estándares de la web semántica, contribuyendo al objetivo general de esta arquitectura semántica.

6.7 Construcción e integración de la información de AEMET

6.7.1 Descarga de la información meteorológico con Pentaho Data Integration

La integración de los datos meteorológicos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) constituye un paso esencial en la arquitectura semántica, ya que estos datos son críticos para enriquecer el análisis de los incidentes de tráfico y su relación con las condiciones ambientales. Este proceso incluye tanto las observaciones meteorológicas como la información detallada de las estaciones meteorológicas. Se inicia con la descarga automática de ambos conjuntos de datos en tiempo real utilizando Pentaho Data Integration (PDI), una herramienta que facilita la creación de procesos ETL (Extract, Transform, Load) robustos y automatizados.

1. Descripción de la Información de AEMET

La API de AEMET ofrece datos meteorológicos en formato JSON, actualizados en tiempo real, e incluye atributos como:

- Temperatura.
- Precipitación.
- Velocidad y dirección del viento.
- Fenómenos adversos como tormentas, niebla o nieve.
- Localización geográfica de las estaciones meteorológicas.
- Detalles adicionales de las estaciones, como nombres, altitud y tipo.
- Timestamps que indican la fecha y hora de las observaciones.

Estos datos, aunque ricos en detalle, necesitan ser estructurados y procesados antes de su integración semántica.

2. Configuración del Proceso ETL en Pentaho Data Integration

El proceso comienza con el diseño de una transformación en PDI para automatizar la descarga y el almacenamiento temporal de los datos JSON de la API de AEMET. Este flujo incluye tanto las observaciones meteorológicas como la información detallada de las estaciones meteorológicas. La configuración incluye los siguientes pasos:

3. Conexión a la API de AEMET

En el nodo REST Client, se configura la URL de la API proporcionada por AEMET. Este nodo permite realizar una solicitud HTTP GET para obtener los datos en formato JSON. Adicionalmente, se definen los parámetros necesarios para la autenticación y la especificación del rango temporal o geográfico de los datos a descargar. Durante este paso, se configuran dos solicitudes paralelas: una para las observaciones meteorológicas y otra para la información de las estaciones.

4. Validación y almacenamiento de los datos

Una vez obtenidos, los datos JSON se validan para asegurar que se hayan descargado correctamente. Esto incluye verificar que los archivos JSON no estén vacíos y que contengan las claves necesarias, tanto para las observaciones meteorológicas como para las estaciones meteorológicas. Los datos validados se almacenan temporalmente en un directorio local en archivos estructurados con nombres dinámicos que incluyen el timestamp de la descarga, por ejemplo:

- observaciones_20241130T1000.json
- estaciones_20241130T1000.json

5. Gestión de Errores

Para garantizar la robustez del proceso, se implementa un flujo de manejo de errores. Si la descarga falla o los datos no son válidos, el sistema:

1. Registra un mensaje de error en un log.
2. Notifica al administrador del sistema.
3. Reintenta la descarga en un intervalo definido.

6. Programación del Proceso

El proceso de descarga se programa para ejecutarse a intervalos regulares, por ejemplo, cada 10 minutos, utilizando un job en Pentaho. Esto asegura que tanto las observaciones meteorológicas como la información de las estaciones estén siempre actualizadas y disponibles para su procesamiento posterior.

7. Transformación y Enriquecimiento Previo

Antes de la semantización, se realiza un paso de preprocesamiento para estructurar los datos JSON y extraer la información relevante tanto de las observaciones meteorológicas como de las estaciones meteorológicas. Para ello, se utiliza el nodo JSON Input de PDI, que permite mapear las claves del archivo JSON a columnas específicas. Este paso genera dos esquemas tabulares independientes:

8. Esquema para las Observaciones Meteorológicas

- Identificador de la estación meteorológica asociada a la observación.
- Coordenadas geográficas (latitud y longitud) correspondientes a la ubicación de la estación.
- Valores específicos de las observaciones meteorológicas, como temperatura, precipitación y velocidad del viento.
- Fecha y hora de cada observación.

9. Esquema para las Estaciones Meteorológicas

- Identificador único de la estación meteorológica.
- Nombre de la estación.
- Coordenadas geográficas (latitud y longitud) que identifican su ubicación.
- Operador

Ambos esquemas tabulares se verifican para detectar valores nulos, inconsistencias o datos fuera de rango, los cuales se corrigen o eliminan en esta etapa. Este paso asegura que los datos de las observaciones y las estaciones sean consistentes y estén listos para su transformación a RDF en la siguiente fase.

10. Resultados de la Descarga

Al final del proceso de descarga, se obtienen archivos JSON validados y estructurados que contienen tanto los datos meteorológicos actualizados de las observaciones como la información detallada de las estaciones meteorológicas. Estos archivos se almacenan de manera que:

- Permitan su integración inmediata en el flujo de procesamiento de datos.
- Sirvan como respaldo para auditorías o verificaciones futuras.

Este enfoque garantiza una descarga automática, confiable y continua de los datos meteorológicos y de las estaciones desde AEMET, proporcionando información crucial que se utilizará para enriquecer los análisis y las consultas sobre los incidentes de tráfico en la arquitectura semántica.

6.7.2 Sparql Anything para la integración de AEMET

Una vez que los datos meteorológicos y la información de las estaciones proporcionados por la API de AEMET han sido descargados y estructurados en formato JSON, el siguiente paso en la arquitectura semántica consiste en transformar estos datos en triples RDF utilizando SPARQL Anything. Este proceso asegura que tanto las observaciones meteorológicas como los detalles de las estaciones se integren con el resto de las fuentes de información dentro de un modelo semántico interoperable, permitiendo su posterior consolidación y análisis.

1. Descripción de los Datos JSON

Los archivos JSON descargados contienen información meteorológica organizada en una estructura jerárquica que incluye tanto detalles de las observaciones meteorológicas como información de las estaciones meteorológicas. Los principales atributos incluyen:

- Identificadores únicos de las estaciones meteorológicas.
- Coordenadas geográficas (latitud y longitud) de las estaciones.
- Observaciones meteorológicas como temperatura, precipitación y velocidad del viento.
- Fenómenos adversos registrados, como niebla, tormentas o nieve.
- Fecha y hora de las observaciones.
- Detalles adicionales de las estaciones, como nombres, altitud y tipo.

Aunque este formato es legible por sistemas convencionales, no está diseñado para interoperar con tecnologías de la web semántica. Por lo tanto, su conversión a RDF es esencial para integrarlos en el modelo semántico de la arquitectura.

2. Configuración del Archivo SPARQL Anything (SAQ)

El proceso comienza con la definición de un archivo de configuración SAQ para SPARQL Anything, que mapea la estructura del JSON a un modelo RDF, permitiendo representar tanto las observaciones meteorológicas como los detalles de las estaciones meteorológicas. Este archivo incluye:

- La ruta al archivo JSON descargado.
- Las clases y propiedades RDF que se usarán para modelar los datos de observaciones y estaciones.
- Consultas SPARQL que extraen los valores relevantes del JSON y los transforman en triples RDF.

En el listado 27 se muestra la consulta SPARQL Anything para la obtención semántica de los datos de observaciones meteorológicas.

```
PREFIX dv: <http://rdf.data-vocabulary.org/#>
PREFIX xyz: <http://sparql.xyz/facade-x/data/>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX fx: <http://sparql.xyz/facade-x/ns/>
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX geof: <http://www.opengis.net/def/function/geosparql/>
PREFIX estaciones: <http://nap.dgt.es/recursos/estaciones#>
PREFIX estacionesAemet: <http://aemet.linkeddata.es/ontology#>
PREFIX estacionesAemetObserv: <http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#>
CONSTRUCT
{
    ?observacion a "http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation" ;

    estacionesAemet:indsinop ?idema;
    geo:wktLiteral ?pointEstacion;
    estacionesAemet:ubi ?ubi;
    estacionesAemetObserv:TemperatureAmbientProperty ?ta;
    estacionesAemetObserv:WindAmbientProperty ?vv;
    estacionesAemetObserv:Visibility ?vis;
    estacionesAemetObserv:PressureAmbientProperty ?pres;
    estacionesAemetObserv:PrecipitationAmbientProperty ?prec;
    estacionesAemetObserv:HumidityAmbientProperty ?hr;
    estacionesAemetObserv:SnowDepth ?nieve.
}
WHERE {

    SERVICE <x-sparql-anything:> {
        fx:properties fx:location "todas_obsevaciones.json" .
        #fx:properties fx:location "dos_observaciones_misma_estacion_dos_fechas.json" .

        # ?s a "http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observacion".
        ?record xyz:idema ?idema ;
        xyz:lon ?lon;
        xyz:lat ?lat;
        xyz:ubi ?ubi;
        xyz:fint ?fint;
        xyz:prec ?prec;
        xyz:alt ?alt;
        xyz:vv ?vv;
        xyz:vmax ?vmax;
        xyz:dv ?dv;
        xyz:dmax ?dmax;
        xyz:hr ?hr;
        xyz:ta ?ta;
        xyz:tamin ?tamin;
        xyz:tamax ?tamax.
        OPTIONAL {?record xyz:pres ?pres.}
        OPTIONAL {?record xyz:vis ?vis.}
        OPTIONAL {?record xyz:nieve ?nieve.}
```

```

        BIND(STRDT(CONCAT("POINT(", STR(?lon), " ", STR(?lat), " )"), geo:wktLiteral) AS ?pointEstacion).

# Filtrar por la fecha máxima obtenida
FILTER (?fint = ?maxDate && ?idema = ?idema2)

# Obtenemos la maxima fecha
{
  SELECT ?idema2 (MAX(?fint) AS ?maxDate)
  WHERE {
    ?record xyz:fint ?fint;
    xyz:idema ?idema2.
  }
  GROUP BY ?idema2
}
BIND(IRI(CONCAT("http://nap.dgt.es/recursos/observacionesMeteorologicas#", ?idema)) AS ?observacion)
}
}

```

Listado 27: Consulta SPARQL Anything para la obtención semántica de los datos de observaciones meteorológicas.

En el listado 28 se muestra la consulta SPARQL Anything para la obtención semántica de los datos de estaciones meteorológicas.

```

PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX xyz: <http://sparql.xyz/facade-x/data/>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX fx: <http://sparql.xyz/facade-x/ns/>
PREFIX esadm: <http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX geof: <http://www.opengis.net/def/function/geosparql/>
PREFIX estaciones: <http://nap.dgt.es/recursos/estaciones#>
PREFIX estacionesAemet: <http://aemet.linkeddata.es/ontology#>

CONSTRUCT
{
  ?estacion a "http://aemet.linkeddata.es/ontology/WeatherStation" ;

  rdfs:subClassOf "http://valenciaanchorstation/vas#Terrestrial_Station";

  estacionesAemet:stationName ?nombre;
  estacionesAemet:locatedInProvince ?provincia;
  esadm:codigoINE ?codIne;

  geo:wktLiteral ?pointEstacion;
  estacionesAemet:indsinop ?indicativo.

  # ?pointEstacion rdf:datatype "http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral".
}
WHERE {

  SERVICE <x-sparql-anything:> {
    fx:properties fx:location "estaciones.json".

    ?s xyz:latitud ?latitud.
    ?s xyz:longitud ?longitud.

    ?s xyz:provincia ?provincia.
    ?s xyz:altitud ?altitud.

    ?s xyz:indicativo ?indicativo.
    ?s xyz:nombre ?nombre.
    ?s xyz:indsinop ?indsinop.

    ### Codificación de la provincia
    BIND(IF(?provincia = 'A CORUÑA', '15',
      IF(?provincia = 'ALBACETE', '2',
      IF(?provincia = 'ALICANTE', '3',
      # RESTO DE PROVINCIAS
      # ...
      ))))))) as ?codIne)

  # Extraer grados, minutos y segundos de la latitud
  BIND(SUBSTR(?latitud, 1, 2) AS ?latDegrees)
  BIND(SUBSTR(?latitud, 3, 2) AS ?latMinutes)
}

```

```

BIND(SUBSTR(?latitud, 5, 2) AS ?latSeconds)
BIND(SUBSTR(?latitud, 7, 1) AS ?latDirection)

# Convertir la latitud a decimal
BIND(xsd:float(?latDegrees) + xsd:float(?latMinutes)/60 + xsd:float(?latSeconds)/3600 AS ?latitudeDecimal)

# Ajustar según la dirección (N o S)
BIND(IF(?latDirection = "S", -?latitudeDecimal, ?latitudeDecimal) AS ?latitudeDecimal2)

# Extraer grados, minutos y segundos de la longitud
BIND(SUBSTR(?longitud, 1, 2) AS ?longDegrees)
BIND(SUBSTR(?longitud, 3, 2) AS ?longMinutes)
BIND(SUBSTR(?longitud, 5, 2) AS ?longSeconds)
BIND(SUBSTR(?longitud, 7, 1) AS ?longDirection)

# Convertir la longitud a decimal
BIND(xsd:float(?longDegrees) + xsd:float(?longMinutes)/60 + xsd:float(?longSeconds)/3600 AS
?longitudDecimal)

BIND(IF(?longDirection = "W", -?longitudDecimal, ?longitudDecimal) AS ?longitudDecimal2)

BIND(STRDT(CONCAT("POINT(", STR(?longitudDecimal2), " ", STR(?latitudeDecimal2), ")"), geo:wktLiteral) AS
?pointEstacion)
BIND(IRI(CONCAT("http://nap.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#", ?indicativo)) AS ?estacion)

}
}

```

Listado 28: Consulta SPARQL Anything para la obtención semántica de los datos de estaciones meteorológicas.

3. Ejecución de SPARQL Anything

El archivo SAQ se ejecuta mediante SPARQL Anything en un entorno local o en un servidor, transformando los archivos JSON descargados en un conjunto de triples RDF. Durante este proceso:

- Se verifican las relaciones entre las observaciones meteorológicas, las estaciones meteorológicas y sus ubicaciones.
- Se generan instancias RDF para cada observación meteorológica, vinculadas con sus atributos relevantes como temperatura, precipitación, velocidad del viento y el identificador de la estación correspondiente.
- Se generan instancias RDF para cada estación meteorológica, asociadas a sus atributos como nombre y coordenadas geográficas.

Este proceso asegura que tanto las observaciones como las estaciones se representen adecuadamente en el modelo RDF, permitiendo su posterior integración en la arquitectura semántica.

4. Módulo de Semantización de Datos Meteorológicos

Se desarrolla un programa en Java para automatizar la transformación de datos meteorológicos, tanto de observaciones como de estaciones, desde el formato JSON a RDF, utilizando las bibliotecas Jena y SPARQL Anything. Este programa está diseñado para manejar los datos proporcionados por la API de AEMET y sigue un flujo estructurado que incluye los siguientes componentes clave:

Inicialización y Configuración del Programa

El programa configura un entorno en el que SPARQL Anything se integra de manera nativa con las funcionalidades de Jena, asegurando una ejecución eficiente de las consultas y la generación de modelos RDF. Este paso abarca:

- La configuración del motor de consultas de SPARQL Anything como una extensión personalizada en Jena, habilitando la ejecución fluida de las consultas definidas en el archivo SAQ.
- La creación de un espacio de datos genérico (Dataset), en el que se almacenan y gestionan los resultados de las consultas para su posterior validación y análisis.

Procesamiento y Ejecución de la Consulta SAQ

El programa carga un archivo de configuración SAQ previamente diseñado, que define cómo los datos meteorológicos en formato JSON deben ser transformados en triples RDF. Este procesamiento incluye:

1. Carga del Archivo JSON: El programa localiza el archivo JSON descargado desde la API de AEMET, que contiene tanto datos de estaciones meteorológicas como observaciones asociadas. Este archivo es analizado para garantizar su estructura antes de la transformación.
2. Ejecución de la Consulta SPARQL: Utilizando las capacidades de SPARQL Anything, el programa transforma los datos JSON en triples RDF. Durante esta etapa, las rutas configuradas en el SAQ permiten mapear las claves específicas del JSON a clases y propiedades RDF. Por ejemplo:
 - Los atributos de las estaciones, como identificadores, nombres y coordenadas, se vinculan a propiedades como `meteorologia:estacion` y `geo:wktLiteral`.
 - Las observaciones meteorológicas, incluyendo temperatura, viento y fenómenos adversos, se transforman en instancias RDF vinculadas a sus estaciones correspondientes.

Creación del Modelo RDF

Los datos transformados se almacenan en un modelo RDF gestionado por Jena, que organiza la información de manera estructurada. Este modelo:

- Representa cada estación meteorológica como una instancia RDF, con propiedades como su identificador, provincia en la que se encuentra ubicada y localización geográfica.
- Crea observaciones meteorológicas como instancias separadas, asociadas a propiedades específicas como `estacionesAemetObserv:PrecipitationAmbientProperty` y `estacionesAemetObserv:PrecipitationAmbientProperty`, y las vincula con las estaciones correspondientes.
- Genera triples RDF que pueden ser exportados en diversos formatos, como Turtle o RDF/XML, para su posterior integración en el sistema.

Validación de los Datos RDF Generados

Una vez generados, los triples RDF de las observaciones y estaciones meteorológicas se someten a un proceso de validación para garantizar su consistencia y calidad:

- Validación sintáctica: Se utiliza un validador RDF para verificar que los triples estén correctamente formateados y que no existan errores en la estructura de los datos generados para observaciones y estaciones.
- Pruebas de consultas SPARQL: Se ejecutan consultas para verificar que los datos puedan ser accedidos correctamente desde los grafos RDF.

4. Carga de los Datos en Virtuoso

Los datos RDF validados de las observaciones meteorológicas y las estaciones meteorológicas se cargan en Virtuoso mediante su conexión JDBC. Durante este proceso:

- Se crea un grafo RDF específico para las observaciones meteorológicas, donde se almacenan los datos como temperatura, precipitación, velocidad del viento, ubicación y fecha, vinculados a las estaciones correspondientes.
- Se crea un grafo RDF específico para las estaciones meteorológicas, donde se registran detalles como nombre, coordenadas geográficas, altitud y tipo.
- Ambos grafos se configuran para ser accesibles desde el endpoint SPARQL de Virtuoso, permitiendo consultas independientes para las observaciones y las estaciones o combinadas según sea necesario.

Este enfoque asegura que los datos RDF se almacenen de manera organizada y estén listos para integrarse con otras fuentes de información dentro de la arquitectura semántica.

Resultados de la Integración Semántica

Tras la ejecución de SPARQL Anything y la carga en Virtuoso, los datos RDF de las observaciones meteorológicas y las estaciones meteorológicas se integran de forma semántica con el resto de las fuentes de información en la arquitectura. Esto permite:

- Consultar información meteorológica asociada a estaciones específicas o ubicaciones geográficas: Las observaciones meteorológicas están vinculadas a estaciones definidas, lo que facilita el acceso a datos de temperatura, precipitación, viento y fenómenos adversos asociados a una ubicación geográfica determinada.
- Relacionar condiciones meteorológicas con incidentes de tráfico y otros factores viales: Los datos de estaciones y observaciones pueden cruzarse con los incidentes de tráfico registrados, permitiendo analizar cómo las condiciones climáticas influyen en la ocurrencia de accidentes.
- Proporcionar una base para el análisis y la inferencia de patrones: Los datos permiten identificar patrones recurrentes, como estaciones con mayor frecuencia de condiciones adversas o eventos meteorológicos asociados a un mayor número de incidentes de tráfico.

Este paso asegura que los datos meteorológicos y de estaciones, ricos en detalle y actualizados en tiempo real, se conviertan en recursos interoperables y alineados con los estándares de la web semántica, preparados para enriquecer los análisis y apoyar decisiones dentro de la arquitectura semántica.

6.8 Construcción del proceso de unificación de las fuentes

Una vez que todas las fuentes de datos están cargadas y disponibles en Virtuoso como grafos RDF, el siguiente paso consiste en unificar la información en un único modelo RDF que integre datos de incidentes de tráfico, meteorología y carreteras. Este proceso de unificación se lleva a cabo mediante una consulta SPARQL diseñada específicamente para combinar los datos. Aprovechando funcionalidades avanzadas como GeoSPARQL, se realizan análisis geoespaciales para determinar las relaciones entre los datos. El modelo RDF resultante se prepara como entrada para el siguiente proceso en la arquitectura: la inferencia basada en reglas SWRL.

6.8.1 Definición de la Consulta GEOSPARQL

La consulta SPARQL es el núcleo del proceso de unificación. Su diseño tiene como objetivo combinar la información dispersa en diferentes grafos RDF en una única representación semántica. Esta consulta realiza las siguientes operaciones clave:

- **Vincula cada incidente de tráfico con la estación meteorológica más cercana.**
Se utilizan funciones geoespaciales de **GeoSPARQL** para calcular la distancia entre la ubicación del incidente y las estaciones meteorológicas disponibles. La estación más cercana se selecciona y se asocia al incidente, permitiendo identificar las condiciones climáticas en el momento y lugar del evento.
- **Relaciona el incidente con la carretera y el tramo vial correspondiente.**
A partir de los datos de infraestructura vial, se identifica la carretera en la que ocurrió el incidente y se vinculan los tramos específicos afectados.

El resultado de esta consulta es un conjunto de tripletas RDF que representan estas relaciones de manera estructurada.

6.8.1.1 Consideraciones geoespaciales de la consulta

Los incidentes de tráfico pueden representarse geométricamente como puntos (por ejemplo, un accidente en un lugar específico) o líneas (por ejemplo, un tramo de carretera afectado por obras). Virtuoso, el sistema de almacenamiento semántico utilizado en esta tesis, proporciona funciones específicas para calcular distancias dependiendo del tipo de geometría. Esto implica que, para calcular la distancia entre un incidente representado como una línea y una estación meteorológica (punto), es necesario un preprocesamiento adicional de los datos geométricos.

6.8.1.2 Cálculo de distancias

Cuando el incidente se representa como una línea (LINESTRING), se utiliza la función `bif:dist_from_point_to_line_segment` para calcular la distancia más corta entre un punto (la ubicación de la estación meteorológica) y el segmento de línea. Esta función requiere extraer las coordenadas de los extremos del segmento de línea.

El siguiente segmento de código SPARQL (listado 29) describe el preprocesamiento necesario para convertir las geometrías LINESTRING en coordenadas utilizables y calcular la distancia:

```
### Coordenadas de la estacion
BIND(bif:st_x(?coordenadas) as ?x0).
BIND(bif:st_y(?coordenadas) as ?y0).

## GEOMETRIA TIPO DEL INCIDENTE
BIND( bif:GeometryType(?GeometriesWKT) as ?tipoGeo )
##Obtener el WKT del LINESTRING
BIND(bif:st_asText(?GeometriesWKT) AS ?wkt) .
#####
### SI ES LINEA
#####

BIND( IF (?tipoGeo = 'LINESTRING', STRBEFORE(STRAFTER(?wkt, "LINESTRING("), ")") , UNDEF )
AS ?coordinates)
BIND( IF (?tipoGeo = 'LINESTRING', STRDT(STR(?coordinates), xsd:string) , UNDEF ) AS
?pointsString)

### Primer punto
BIND( IF (?tipoGeo = 'LINESTRING', STRBEFORE(?coordinates, ",") , UNDEF ) AS ?point1)
BIND( IF (?tipoGeo = 'LINESTRING', STRBEFORE(?point1, " ") , UNDEF ) AS ?x1)
BIND( IF (?tipoGeo = 'LINESTRING', STRAFTER(?point1, " ") , UNDEF ) AS ?y1)
```

```
# Resto de los puntos (eliminar el primer punto y la coma)
BIND( IF (?tipoGeo = 'LINESTRING', STRAFTER(?coordinates, ",") , UNDEF ) AS
?remainingPoints1)
# Segundo punto
BIND( IF (?tipoGeo = 'LINESTRING', STRBEFORE(?remainingPoints1, " ") , UNDEF ) AS ?x2)
BIND( IF (?tipoGeo = 'LINESTRING', STRAFTER(?remainingPoints1, " "), UNDEF ) AS ?y2)
BIND(xsd:float(?x0) as ?x0F).
BIND(xsd:float(?y0) as ?y0F).
BIND(xsd:float(?x1) as ?x1F).
BIND(xsd:float(?y1) as ?y1F).
BIND(xsd:float(?x2) as ?x2F).
BIND(xsd:float(?y2) as ?y2F).
BIND( IF (?tipoGeo = 'LINESTRING',
bif:dist_from_point_to_line_segment(?x0F,?y0F, ?x1F, ?y1F,
?x2F, ?y2F) ,
bif:st_distance(?GeometriesWKT, ?coordenadas)
)
as ?distancia).
```

Listado 29: Segmento de código SPARQL para la conversión de coordenadas de LINESTRING en coordenadas para el cálculo de distancias.

Este proceso asegura que se utilicen las funciones adecuadas para calcular la distancia, dependiendo del tipo de geometría. En el caso de incidentes representados como puntos, se aplica directamente la función `bif:st_distance`.

Este método permite integrar datos meteorológicos precisos en los análisis relacionados con incidentes de tráfico. Al identificar la estación meteorológica más cercana, es posible determinar las condiciones climáticas exactas en el momento y lugar del incidente. Esto es fundamental para estudios sobre el impacto del clima en la seguridad vial, mejorando así la capacidad de predicción y prevención en el ámbito de la gestión del tráfico.

6.8.1.3 Optimización del Cálculo de Distancias a Estaciones Meteorológicas

Uno de los aspectos fundamentales para garantizar el rendimiento en la ejecución de consultas relacionadas con la identificación de estaciones meteorológicas cercanas es limitar el conjunto de estaciones sobre el cual se calcula la distancia. Si para cada incidente se calcula la distancia a todas las estaciones meteorológicas del país, el rendimiento de las consultas se ve gravemente afectado, alcanzando tiempos de ejecución superiores a los 10 minutos, debido a que el conjunto de estaciones es muy elevado, con aproximadamente 947 registros.

6.8.1.4 Limitación Basada en Provincias Colindantes

Restringir el cálculo a las estaciones de la provincia donde ocurre el incidente podría dar lugar a resultados incorrectos. Esto se debe a que, en algunos casos, una estación meteorológica más cercana puede encontrarse en una provincia colindante en lugar de la propia provincia del incidente.

Para solucionar este problema y mantener un balance entre precisión y rendimiento, se creó un conjunto de datos RDF que incluye información sobre las provincias colindantes de cada incidente (listado 30). Esto permite calcular la distancia a las estaciones meteorológicas de la provincia del incidente y de las provincias colindantes, evitando la necesidad de realizar cálculos innecesarios con todas las estaciones del país.

```
@prefix prov_colin: <http://nap.dgt.es/territorio/adm_unit#> .
@prefix rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> .
@prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> .

# Álava
prov_colin:ProvinceColindante_01 rdf:type prov_colin:ProvinceColindante ;
prov_colin:ineCode "1" ;
```



```

    prov_colin:description "Álava" ;
    prov_colin:bordersWith prov_colin:ProvinceColindante_01, prov_colin:ProvinceColindante_20,
    prov_colin:ProvinceColindante_48, prov_colin:ProvinceColindante_09,
    prov_colin:ProvinceColindante_26 .

# Albacete
prov_colin:ProvinceColindante_02 rdf:type prov_colin:ProvinceColindante ;
    prov_colin:ineCode "2" ;
    prov_colin:description "Albacete" ;
    prov_colin:bordersWith prov_colin:ProvinceColindante_02, prov_colin:ProvinceColindante_03,
    prov_colin:ProvinceColindante_13, prov_colin:ProvinceColindante_16,
    prov_colin:ProvinceColindante_18, prov_colin:ProvinceColindante_19,
    prov_colin:ProvinceColindante_23, prov_colin:ProvinceColindante_30,
    prov_colin:ProvinceColindante_46 .

# Alicante
prov_colin:ProvinceColindante_03 rdf:type prov_colin:ProvinceColindante ;
    prov_colin:ineCode "3" ;
    prov_colin:description "Alicante" ;
    prov_colin:bordersWith prov_colin:ProvinceColindante_03, prov_colin:ProvinceColindante_30,
    prov_colin:ProvinceColindante_46, prov_colin:ProvinceColindante_02 .

```

Listado 30: Segmento de código RDF de las provincias colindantes de las diferentes provincias de España.

6.8.1.5 Estrategia RDF para Provincias Colindantes

El siguiente código SPARQL (listado 31) muestra cómo se modeló y consultó esta información, asegurando un rendimiento óptimo sin perder precisión:

```

#Provincia DATEX
#BIND( IF (!BOUND(?AdmAreaOfPoint), ?AdmAreaOfLinearSection , ?AdmAreaOfPoint ) AS
?provinciaDatex)
BIND(COALESCE(?AdmAreaOfPoint, ?AdmAreaOfLinearSection) AS ?provinciaDatex)

?provinciaDatex adm_unit:codigoINE ?codigoINE.

?provColin a prov_colin:ProvinceColindante;
    prov_colin:ineCode ?codigoINE;
    prov_colin:description ?provinDesc;
    prov_colin:bordersWith ?provColindantes.

?provColindantes    prov_colin:ineCode ?codIneColin;
                    prov_colin:description ?provinDescColin.

?estacion estacionesAemet:stationName ?estaciones1;
    estacionesAemet:locatedInProvince ?provinciaEstacion;
    adm_unit:codigoINE ?codIneColin;
    estacionesAemet:indsinop ?indicativoEstacion;
    geosparql:wktLiteral ?coordenadas.

?obsevacion estacionesAemet:indsinop ?indicativoEstacion;
    estacionesAemet:ubi ?ubicacion;
    geosparql:wktLiteral ?coordenadasEstacionObserv;
    aemet_observ:WindAmbientProperty ?velViento;
    aemet_observ:TemperatureAmbientProperty ?temperature.
...

```

Listado 31: Segmento de código de la consulta SPARQL de integración con la fuente AMET en el que se establece el enlace del incidente con la información meteorológica a través de las provincias colindantes

6.8.1.6 Impacto de la Optimización

Al emplear este enfoque, el cálculo de distancias se limita a las estaciones de la provincia donde ocurre el incidente y las provincias colindantes. Esto reduce significativamente el número de estaciones consideradas, manteniendo la precisión en los resultados y evitando la ejecución de consultas costosas a nivel nacional.

Por ejemplo:

- Para un incidente en una provincia con 50 estaciones y cuatro provincias colindantes con 40 estaciones cada una, el cálculo se realiza sobre 210 estaciones en lugar de 947. Esto representa una reducción del 77% en el conjunto de datos procesado.

Beneficios

1. **Rendimiento Mejorado:** La reducción en el conjunto de datos procesado disminuye drásticamente los tiempos de consulta, garantizando una ejecución eficiente incluso en sistemas con grandes volúmenes de datos.
2. **Precisión Geográfica:** Asegura que se consideren estaciones cercanas incluso si se encuentran en provincias colindantes, evitando resultados incorrectos.
3. **Interoperabilidad Semántica:** El modelado RDF de las provincias colindantes y estaciones meteorológicas se integra de manera natural con las ontologías desarrolladas, promoviendo la reutilización de datos en otros contextos.

Este enfoque demuestra la importancia de optimizar tanto el modelado de los datos como las consultas para garantizar un rendimiento adecuado sin comprometer la precisión en los análisis. La integración semántica y el uso de RDF refuerzan la capacidad del sistema para manejar grandes volúmenes de datos de manera eficiente y escalable.

6.8.2 Proceso Java para la integración de las fuentes

La consulta SPARQL se ejecuta desde una aplicación Java, que actúa como el componente de integración para extraer, procesar y transformar los datos en un modelo unificado. Este proceso incluye los siguientes pasos:

1. Conexión a Virtuoso:

Se configura la conexión al endpoint SPARQL de Virtuoso utilizando un driver JDBC. La configuración incluye:

- La URL del endpoint.
- Las credenciales de usuario y contraseña.

Esto garantiza un acceso seguro y eficiente a los datos almacenados en Virtuoso.

2. Ejecución de la Consulta SPARQL:

La consulta SPARQL se ejecuta en el endpoint mediante el programa Java. Los resultados de la consulta se recuperan como un conjunto de tripletas RDF o en un formato estructurado como un ResultSet, dependiendo de los requerimientos del flujo de trabajo.

3. Conversión a un Modelo Jena:

Los datos recuperados de Virtuoso se transforman en un modelo de **Apache Jena**, que permite manipular los tripletes RDF de forma programática. Este modelo se utiliza como representación intermedia para:

- Realizar validaciones.
- Aplicar transformaciones adicionales.
- Preparar los datos para su uso en el proceso de inferencia.

El modelo Jena actúa como una base unificada que consolida todos los datos provenientes de las diversas fuentes.

4. Creación del Modelo RDF Integrado

El modelo Jena generado representa la integración completa de las fuentes de datos. A diferencia de la información original almacenada en grafos individuales en Virtuoso, este modelo unificado combina relaciones y datos de todas las fuentes, listos para su uso en el siguiente paso de la arquitectura.

Este modelo no se sube a Virtuoso, sino que se pasa directamente al componente encargado de aplicar las reglas de inferencia. Esto evita redundancias y asegura que los datos sean procesados directamente en su forma más rica y completa.

5. Envío al Proceso de Inferencia

El modelo RDF integrado se pasa como entrada al siguiente proceso de la arquitectura, donde se aplican **reglas SWRL (Semantic Web Rule Language)** para derivar nuevo conocimiento para:

- Clasificar incidentes según su severidad, teniendo en cuenta factores como condiciones meteorológicas adversas como riesgo de hielo, riesgo de nieve, riesgo de siniestralidad por fuertes vientos y lluvias y presiones atmosféricas muy altas o muy bajas.
- Identificar patrones geospaciales, como zonas con alta siniestralidad.
- Detectar relaciones implícitas entre los datos.

El modelo enriquecido resultante de este proceso se utiliza posteriormente para análisis avanzados y generación de conocimiento útil.

6. Resultados del Proceso

El resultado del proceso de unificación es un modelo RDF integrado y enriquecido que combina información de todas las fuentes. Este modelo incluye:

- Incidentes de tráfico vinculados con las condiciones meteorológicas del momento y lugar del evento.
- Relaciones detalladas entre incidentes, tramos viales y carreteras.

Este modelo unificado no solo sirve como base para la inferencia semántica, sino que también mejora significativamente la calidad y el valor de la información al proporcionar una representación consolidada y enriquecida que respalda consultas y análisis avanzados.

6.9 Construcción de la aplicación de reglas de inferencias con SWRL

El proceso de construcción e implementación de reglas SWRL (Semantic Web Rule Language) en el contexto de la tesis doctoral sigue una metodología sistemática que integra datos de tráfico, meteorología y ontologías SRTI. Cada regla diseñada tiene un propósito específico en el enriquecimiento semántico del modelo RDF unificado. A continuación, se detalla el proceso de construcción, ejecución e impacto de las reglas incluidas en el código proporcionado.

El desarrollo del sistema aprovecha una combinación de herramientas y bibliotecas para garantizar la robustez y la interoperabilidad del modelo RDF:

- **OWL API:** Biblioteca en Java utilizada para manipular ontologías en el formato OWL.

- **SWRLAPI:** Extensión de OWL API que permite definir y ejecutar reglas SWRL.
- **Formato RDF/XML:** Proporciona compatibilidad con sistemas como Virtuoso para la consulta y el almacenamiento.
- **Java:** Lenguaje de programación principal utilizado para implementar el sistema de reglas e inferencia.

6.9.1 Definición y Construcción de Reglas SWRL

Las reglas son diseñadas para derivar conocimiento implícito a partir de datos explícitos. Cada regla especifica una combinación de patrones de datos de entrada (antecedente) y genera nuevas tripletas RDF (consecuente). A continuación, se explican las reglas implementadas:

1. Clasificación de Riesgo de Hielo

Regla:

En el listado 32 se consta la definición de la regla de clasificación de riesgo hielo en SWRL.

```
aemet_observ:HumidityAmbientProperty(?o, ?humedad) ^
aemet_observ:TemperatureAmbientProperty(?o, ?temp) ^
swrlb:greaterThan(?humedad, 80) ^
swrlb:lessThan(?temp, 0) -> dtx_srti:riesgoHielo(?o, true).
```

Listado 32: Definición de la regla de clasificación de riesgo hielo en SWRL.

- **Objetivo:** Identificar condiciones de riesgo de hielo combinando alta humedad (>80%) y temperaturas bajo cero.
- **Impacto:** Mejora la seguridad vial mediante la generación de alertas en tiempo real para conductores y gestores de tráfico.
- **Ejemplo de aplicación:** En una carretera montañosa, donde las condiciones climáticas suelen ser extremas, esta regla podría generar una alerta indicando que la vía es peligrosa debido a formación de hielo, informando a los conductores e investigadores de la vía para que los conductores reduzcan la velocidad o tomen rutas alternativas.

2. Clasificación de Viento Fuerte

Regla:

A continuación, en el listado 33 se consta la definición de la regla de clasificación de riesgo de viento fuerte en SWRL.

```
aemet_observ:WindAmbientProperty(?o, ?viento) ^
swrlb:greaterThan(?viento, 13.89) -> dtx_srti:vientoFuerte(?o, true).
```

Listado 33: Definición de la regla de clasificación de riesgo de viento fuerte en SWRL.

- **Objetivo:** Detectar vientos fuertes (>13.89 m/s o 50 km/h) que puedan afectar la conducción.
- **Impacto:** Proporciona datos vitales para planificación y gestión de rutas en condiciones adversas.

- **Ejemplo de aplicación:** En un puente expuesto al viento, esta regla podría activar una alerta para limitar el tránsito de vehículos pesados, reduciendo el riesgo de accidentes por vuelco.

3. Clasificación de Riesgo por Nieve

Regla:

en el listado 34 se consta la definición de la regla de clasificación de riesgo de nieve en SWRL.

```
aemet_observ:TemperatureAmbientProperty(?o, ?temp) ^
aemet_observ:SnowDepth(?o, ?nieve) ^
swrlb:lessThan(?temp, 0.0) ^ swrlb:greaterThan(?nieve, 0.2) -> dtx_srti:riesgoNieve(?o, true).
```

Listado 34: Definición de la regla de clasificación de riesgo de nieve en SWRL.

- **Objetivo:** Identificar zonas con nieve acumulada (>20 cm) y temperaturas bajo cero.
- **Impacto:** Mejora la predicción de riesgos relacionados con nevadas y optimiza la respuesta de las autoridades.
- **Ejemplo de aplicación:** En un puerto de montaña, esta regla puede generar alertas para el despliegue de quitanieves y advertencias a los conductores sobre el cierre temporal de la vía.

4. Clasificación de Riesgo por Lluvia Intensa

Regla:

A continuación, en el listado 35 se consta la definición de la regla de clasificación de riesgo de lluvia intensa en SWRL.

```
aemet_observ:PrecipitationAmbientProperty(?o, ?lluvia) ^
swrlb:greaterThan(?lluvia, 15.0) -> dtx_srti:riesgoLluvia(?o, true).
```

Listado 35: Definición de la regla de clasificación de riesgo por lluvia intensa en SWRL.

- **Objetivo:** Detectar lluvias intensas (>15 mm/h) que puedan causar inundaciones o reducir la visibilidad.
- **Impacto:** Ayuda a prevenir accidentes y a planificar desvíos en zonas afectadas.
- **Ejemplo de aplicación:** En una autopista urbana con tendencia a inundarse, esta regla podría activar desvíos antes de que el agua alcance niveles críticos.

5. Clasificación de Baja Visibilidad Crítica

Regla:

A continuación, en el listado 36 se consta la definición de la regla de clasificación de riesgo de visibilidad crítica en SWRL.

```
aemet_observ:Visibility(?o, ?visibilidad) ^
swrlb:lessThan(?visibilidad, 1.0) -> dtx_srti:bajaVisibilidadCritica(?o, true).
```

Listado 36: Definición de la regla de clasificación de riesgo por lluvia intensa en SWRL.

- **Objetivo:** Identificar condiciones de visibilidad crítica (<1 km).

- **Impacto:** Genera alertas inmediatas para conductores, reduciendo riesgos de accidentes.
- **Ejemplo aplicado:** En una autopista con niebla densa, esta regla podría activar señalizaciones electrónicas para recomendar una velocidad reducida.

6. Clasificación de Presión Baja

Regla:

A continuación, en el listado 37 se consta la definición de la regla de clasificación de presión baja en SWRL.

```
aemet_observ:PressureAmbientProperty(?o, ?presion) ^  
swrlb:lessThan(?presion, 950.0) -> dtx_srti:presionBaja(?o, true).
```

Listado 37: Definición de la regla de clasificación de riesgo por lluvia intensa en SWRL.

- **Objetivo:** Detectar presiones atmosféricas bajas (<950 hPa) asociadas a tormentas severas.
- **Impacto:** Facilita la preparación ante eventos climáticos extremos.
- **Ejemplo de aplicación:** En una región costera, esta regla puede advertir sobre la posible llegada de un ciclón, activando planes de emergencia.

7. Clasificación de Presión Alta

Regla:

A continuación, en el listado 38 se consta la definición de la regla de clasificación de presión alta en SWRL.

```
aemet_observ:PressureAmbientProperty(?o, ?presion) ^  
swrlb:greaterThan(?presion, 1030.0) -> dtx_srti:presionAlta(?o, true).
```

Listado 38: Definición de la regla de clasificación de riesgo por lluvia intensa en SWRL.

- **Objetivo:** Identificar presiones altas (>1030 hPa) que puedan influir en la estabilidad atmosférica.
- **Impacto:** Aunque la alta presión suele asociarse a cielos despejados y ausencia de precipitaciones, también puede generar condiciones adversas. En invierno, favorece la formación de heladas nocturnas por enfriamiento radiativo; en verano, puede desencadenar olas de calor al impedir la circulación de masas de aire fresco. Esta regla permite identificar estos contextos de riesgo, incluso en ausencia de precipitaciones, mejorando la capacidad de predicción y respuesta ante condiciones peligrosas no evidentes.
- **Ejemplo aplicado:** Durante un episodio anticiclónico persistente en invierno, la presión elevada provoca noches despejadas con temperaturas bajo cero, generando placas de hielo en zonas sombrías de la carretera. En verano, la misma situación favorece un aumento extremo de la temperatura del asfalto, lo que puede afectar a neumáticos, frenos y provocar fatiga en el conductor. La detección de presión alta, combinada con otras variables, permite inferir un riesgo elevado tanto por hielo como por calor extremo, mejorando la prevención de accidentes.

El motor de inferencia SWRL, basado en OWL API y SWRLAPI, ejecuta las reglas mediante `ruleEngine.infer()`. Se genera un modelo RDF enriquecido con las nuevas tripletas derivadas.

El modelo resultante se guarda en formato RDF/XML para su posterior carga en Virtuoso. Esto asegura que las nuevas tripletas sean accesibles para consultas SPARQL.

6.9.2 Implementación del proceso en Apache Jena

El código Java implementa un flujo claro y eficiente para cargar la ontología, definir las reglas SWRL, ejecutarlas y guardar los resultados. Los pasos clave incluyen:

1. **Carga de Ontología:** Uso de `OWLOntologyManager` para cargar el modelo RDF desde un archivo.
2. **Definición de Reglas:** Las reglas se crean programáticamente utilizando `createSWRLRule` de SWRLAPI.
3. **Ejecución de Inferencia:** `ruleEngine.infer()` procesa las reglas para generar tripletas adicionales.
4. **Guardado del Modelo:** El modelo enriquecido se guarda en formato RDF/XML mediante `saveOntology`.

El código está optimizado para ser modular y extensible, permitiendo agregar nuevas reglas o modificar las existentes con facilidad.

6.9.3 Impacto General del Proceso

- **Derivación Automática de Conocimiento:** Las reglas SWRL generan información implícita a partir de datos explícitos.
- **Mejora en la Seguridad Vial:** Las inferencias permiten identificar y prevenir riesgos en tiempo real.
- **Centralización en Virtuoso:** Los datos originales e inferidos están disponibles en un único punto de acceso.
- **Escalabilidad:** El enfoque permite la adición de nuevas reglas para ampliar el análisis semántico.

Este enfoque asegura que el modelo RDF no solo integra datos heterogéneos, sino que también enriquece la información disponible, maximizando su valor para la gestión del tráfico y la seguridad vial.

6.10 Construcción de APIS

El desarrollo de las APIs REST que interactúan con el SPARQL Endpoint de Virtuoso, utilizando el framework **FastAPI**, ha sido un componente clave para la exposición de datos semánticos relacionados con las incidencias de tráfico en carretera y las variables meteorológicas. Este proceso, diseñado para ofrecer un acceso eficiente y estandarizado a los datos, incluye las siguientes etapas:

1. Configuración Inicial del Framework FastAPI

Se inicia creando una instancia de la aplicación **FastAPI**, que sirve como contenedor principal para las APIs.

Se configura el middleware **CORS** (Cross-Origin Resource Sharing) para permitir que las APIs puedan ser consumidas por clientes externos, como aplicaciones web desarrolladas en **Angular**. Esta configuración puede ajustarse para aceptar solicitudes de cualquier origen o restringirlas a dominios específicos, garantizando un acceso controlado y seguro.

2. Definición de Modelos de Datos

Los modelos utilizados en FastAPI para estandarizar los datos expuestos por las APIs se definen con Pydantic, una librería que facilita la validación y serialización de datos. Estos modelos garantizan que los datos manejados por las APIs sean consistentes, estructurados y adecuados para aplicaciones externas.

Modelos principales definidos:

Estación Meteorológica:

Atributos: latitud, longitud, provincia, nombre, altitud, idema (identificador de estación), entre otros.

Electrolinera:

Atributos: nombre, identificador, provincia, coordenadas geográficas, tipo de conexión, potencia disponible, entre otros.

Carreteras:

Atributos: nombre, tipo de carretera, kilómetros, estado actual, ubicación geográfica, etc.

Registros de Situación:

Atributos: tipo de incidente, nivel de gravedad, ubicación geográfica, hora de registro, estado actual, etc.

Unidades Administrativas:

Atributos: nombre, tipo (provincia, comunidad autónoma, etc.), código INE, población, etc.

Observaciones Meteorológicas:

Atributos: temperatura, viento, humedad, precipitación, idema (identificador de estación meteorológica), hora de observación, etc.

3. Integración con el Endpoint SPARQL

Se emplea SPARQLWrapper para interactuar de manera eficiente con el SPARQL Endpoint alojado en Virtuoso, permitiendo enviar consultas y recibir datos estructurados en formato JSON.

Consultas SPARQL definidas:

Cada consulta se personaliza para extraer datos específicos y se optimiza para asegurar un bajo tiempo de respuesta, considerando el volumen y complejidad de los datos RDF.

Estaciones Meteorológicas:

Recupera información básica como idema, nombre, latitud, longitud, provincia y altitud.

Observaciones Meteorológicas:

Devuelve datos en tiempo real como temperatura, humedad, viento, precipitación y su relación con el identificador de estación (idema).

Electrolineras:

Obtiene atributos como identificador, nombre, provincia, tipo de conexión y potencia.

Carreteras:

Consulta datos sobre el estado, tipo de carretera, ubicación y nombre de la vía.

Registros de Situación:

Recupera información detallada sobre incidencias de tráfico, incluyendo el tipo de incidente, nivel de gravedad y su ubicación geográfica.

Unidades Administrativas:

Extrae datos como el nombre, código INE y tipo de unidad administrativa.

Configuración del Endpoint:

- La URL del endpoint se define de manera centralizada y se autentica para garantizar un acceso seguro.
- Se utiliza el formato SELECT en las consultas, optimizando las cláusulas para limitar los datos devueltos solo a los necesarios.

Optimización del procesamiento de datos:

Las consultas recuperan datos en su forma RDF, que luego son procesados para:

- Simplificar estructuras complejas en representaciones JSON legibles.
- Transformar coordenadas y valores geográficos en formatos estándar compatibles con visualizaciones cartográficas.
- Enriquecer los resultados con datos adicionales provenientes de otros grafos RDF relacionados.

Ejecución y Procesamiento de Consultas SPARQL

Las consultas SPARQL se envían al endpoint configurando el formato de retorno como JSON.

- Los resultados se procesan para:
 - Simplificar la estructura de los datos.
 - Transformar valores relevantes (como coordenadas geográficas) a formatos estándares compatibles con aplicaciones externas.
- Los datos procesados se serializan en formato JSON, asegurando su portabilidad para su consumo por diferentes plataformas analíticas y visuales.

4. Definición de Rutas API

Se han implementado en las tareas de las tesis las siguientes rutas API:

1. Estaciones Meteorológicas:
 - GET /estaciones_meteorologicas: Obtiene todas las estaciones meteorológicas.
 - GET /estaciones_meteorologicas/provincia/{cod_ine_var}: Filtra estaciones meteorológicas por provincia (cod_ine_var).
2. Observaciones Meteorológicas:
 - GET /observations: Recupera todas las observaciones meteorológicas.
 - GET /observations/by_station/{idema}: Filtra observaciones meteorológicas por estación (idema).
3. Carreteras:
 - GET /carreteras: Devuelve información de todas las carreteras.
 - GET /carreteras/provincia/{cod_ine_var}: Filtra carreteras por provincia.
4. Unidades Administrativas:
 - GET /unidades_administrativas: Lista todas las unidades administrativas.
 - GET /unidades_administrativas/ccaa/{cod_ine_var}: Filtra unidades administrativas por provincia.
5. Electrolineras:
 - GET /electrolineras: Recupera todas las electrolineras.
 - GET /electrolineras/provincia/{provincia}: Filtra electrolineras por provincia.
6. Registros de Situación Vial:
 - GET /situation_records: Devuelve todos los registros de situación vial.
 - GET /situation_records/by_province/{provincia}: Filtra registros de situación vial por provincia.

5. Gestión de Resultados

Los resultados de las APIs están diseñados para:

- Facilitar su integración en aplicaciones móviles, web y herramientas de análisis.
- Garantizar compatibilidad con plataformas de visualización como Power BI, Power BI y aplicaciones desarrolladas en Angular.

Los datos formateados en JSON permiten una interoperabilidad eficiente con aplicaciones externas.

6. Generación Automática de Documentación con Swagger

Uno de los beneficios de utilizar **FastAPI** es la generación automática de documentación interactiva basada en los estándares **OpenAPI** y **Swagger UI**.

Cada vez que se define una ruta o un modelo en FastAPI, se genera automáticamente una representación en un formato legible para máquinas y seres humanos. Esto incluye:

- **Descripción de los endpoints:** Cada ruta de la API se documenta con detalles sobre sus parámetros, tipos de datos requeridos, respuestas esperadas, y códigos de estado HTTP.
- **Exploración interactiva:** Swagger UI permite a los desarrolladores probar las rutas directamente desde un navegador web, facilitando la verificación del funcionamiento de las APIs sin necesidad de escribir código adicional.

La documentación está disponible de forma predeterminada en las siguientes rutas del servicio API:

- **Swagger UI:** /docs
- **OpenAPI JSON:** /openapi.json

Esta funcionalidad es crucial para:

- Proporcionar una guía clara a los desarrolladores que integren estas APIs en sus aplicaciones.
- Reducir el esfuerzo necesario para la documentación manual.
- Facilitar el mantenimiento y la extensión de las APIs en el futuro.

En ilustración 110 se puede observar la documentación referente a cada uno de los servicios API de la arquitectura semántica.



Ilustración 110: Documentación de la API de arquitectura semántica de incidentes y variables meteorológicas en Swagger

9. Ventajas de la Infraestructura API

- Exposición de datos semánticos enriquecidos con alto nivel de interoperabilidad.
- Uso de estándares abiertos y tecnologías como SPARQL y JSON.
- Generación automática de documentación interactiva con Swagger, optimizando el desarrollo y el mantenimiento.
- Integración eficiente con plataformas visuales y analíticas.

Las APIs representan un componente central para la provisión de información en el contexto de la gestión de incidencias de tráfico y variables meteorológicas alienado la publicación de datos con las diferentes normativas europeas vistas en capítulos anteriores.

6.11 Construcción de mapas con Angular y Leaflets

Dentro de la batería de módulos y aplicaciones desarrolladas en esta tesis, se implementa un **módulo de mapas** basado en **Angular** utilizando la biblioteca de mapas interactivos **Leaflet**. Este módulo consume datos proporcionados por la API REST creada con **FastAPI** descritas en el apartado anterior, que expone información semántica sobre electrolineras obtenida de un endpoint SPARQL en **Virtuoso**.

Arquitectura del Módulo de Mapas

El módulo está estructurado en tres capas principales:

Capa de Datos:

- La API REST en **FastAPI** consulta el servidor Virtuoso mediante consultas SPARQL.
- Los datos se transforman y se exponen en formato JSON para facilitar su consumo por la aplicación Angular.

Capa de Servicio en Angular:

- Se crea un servicio en Angular para realizar solicitudes HTTP a la API REST.
- Las respuestas JSON se procesan y transforman en objetos de datos geoespaciales compatibles con Leaflet.

Capa de Presentación (Front-End):

- El módulo utiliza componentes de Angular y la biblioteca Leaflet para representar los datos de electrolineras en un mapa interactivo.
- Los marcadores de ubicación representan las electrolineras, mostrando información relevante como el nombre de la electrolinera, operador, ubicación y coordenadas geográficas.

6.12 Construcción de informes en Power BI

La sección de construcción detalla cómo se implementan los componentes necesarios para generar los informes en Power BI utilizando las APIs REST previamente desarrolladas.

Las APIs REST, creadas previamente con FastAPI, actúan como fuentes de datos para los informes de Power BI. Estas APIs ya están optimizadas para devolver datos en formato JSON,

asegurando compatibilidad directa con Power BI. Los principales endpoints configurados vistos en la sección 6.10 de esta tesis son:

1. `/siatuation_records`: Proporciona datos de incidentes de tráfico enriquecidos con información meteorológica y datos inferidos.
2. `/electrolineras`: Ofrece información detallada sobre electrolineras, incluyendo su identificador, ubicación y operador.
3. `/estaciones_meteorologicas`: Expone datos sobre estaciones meteorológicas con sus correspondientes atributos.

Power BI utiliza su conector de Web Services para acceder a estas APIs. Las URLs de los endpoints se configuran como fuentes de datos en los informes correspondientes.

6.12.1 Transformación y Modelado de Datos en Power BI

Una vez conectados a las APIs, los datos JSON se transforman dentro de Power BI para adaptarlos a un modelo tabular adecuado. Este proceso incluye:

1. Normalización y Limpieza de Datos: Asegurar que los datos provenientes de las observaciones meteorológicas y estaciones se estructuren de forma clara y consistente.
2. Relaciones entre Datos: Configurar relaciones entre tablas, como vincular incidentes de tráfico con condiciones meteorológicas y ubicaciones de electrolineras cercanas.
3. Creación de Métricas Personalizadas: Por ejemplo, métricas como la criticidad inferida de un incidente, el promedio de temperatura por estación, o el porcentaje de electrolineras operativas.

6.12.2 Diseño y Construcción de Informes

Los informes se diseñan para ofrecer visualizaciones intuitivas y análisis detallados:

- 1. Informe de Incidencias de Tráfico:**
 - Mapas interactivos que muestran la ubicación de incidentes vinculados a datos meteorológicos y carreteras afectadas.
 - Gráficos de barras y líneas que analizan tendencias, como el número de incidentes por condiciones climáticas específicas o en zonas recurrentes.
- 2. Informe de Electrolineras:**
 - Distribución geográfica de las estaciones de carga, visualizadas en un mapa.
 - Tablas dinámicas que resumen la capacidad, estado operativo y tipos de cargadores por región.
 - Indicadores clave como porcentaje de estaciones activas o carga promedio disponible.
- 3. Informe de Estaciones Meteorológicas:**
 - Mapas con las ubicaciones de estaciones meteorológicas, junto con sus observaciones recientes.
 - Gráficos que muestran variaciones climáticas, como temperaturas promedio o acumulación de precipitaciones en períodos específicos.
 - Métricas agregadas que resumen las condiciones climáticas en áreas seleccionadas.

Estos informes proporcionan una vista consolidada de los datos procesados por la arquitectura semántica, permitiendo a los usuarios realizar análisis profundos y tomar decisiones basadas en información enriquecida y actualizada.

6.13 Sparql EndPoint

La interfaz SPARQL fue instalada a través de un plugin de CKAN [119] dentro del NAP de España. En esta interfaz se ha incluido información fundamental sobre el lenguaje SPARQL, junto con un repertorio de consultas preparadas que ejemplifican su uso y funcionalidad.

Esta interfaz está diseñada para facilitar el acceso a datos semánticos almacenados en el servidor SPARQL del NAP, ofreciendo a los usuarios una herramienta intuitiva que simplifica la creación y ejecución de consultas sobre los datos de tráfico enlazados. La información introductoria sobre SPARQL cubre los conceptos básicos del lenguaje, permitiendo que incluso los usuarios con poca experiencia puedan entender cómo formular consultas efectivas para extraer la información deseada.

El repertorio de consultas preparadas sirve como una guía práctica, mostrando ejemplos de consultas comunes que abarcan diferentes tipos de datos y relaciones presentes en el modelo de datos del NAP. Estas consultas incluyen desde operaciones simples, como la recuperación de datos básicos, hasta consultas más complejas que demuestran la potencia de SPARQL para combinar y analizar datos interconectados.

Al integrar esta interfaz en el NAP, se promueve la accesibilidad y usabilidad de los datos abiertos enlazados, brindando a investigadores, autoridades y al público en general una herramienta para explorar y aprovechar los datos de tráfico en un formato semántico estructurado. Este enfoque fortalece la transparencia y fomenta el uso de datos de tráfico de manera más eficiente en la toma de decisiones y en aplicaciones de análisis avanzado.

6.14 Lodview

LodView es una aplicación web en Java que utiliza frameworks como Spring y Jena para ofrecer dereferenciación de IRIs, cumpliendo con los estándares del W3C. Esto permite transformar los datos RDF en representaciones HTML accesibles y legibles para los usuarios, mejorando la experiencia de navegación y exploración de datos semánticos.

Integrado con un endpoint SPARQL (en este caso, Virtuoso), LodView facilita la publicación de datos RDF alineados con los principios de LOD. Esta herramienta transforma los identificadores de recursos RDF en enlaces navegables, mostrando información contextualizada y enriquecida de manera intuitiva.

Rol de LodView en la Arquitectura

LodView ha sido implementado en la tesis para:

- **Visualización Accesible de Datos RDF:** Proporcionar a los usuarios representaciones claras y legibles de los datos semánticos relacionados con incidentes de tráfico, carreteras y unidades administrativas.
- **Facilitar la Dereferenciación de URIs:** Resolver las URIs utilizadas en los grafos RDF almacenados en Virtuoso, permitiendo a los usuarios acceder a los datos mediante navegadores web estándar.
- **Promover la Usabilidad de los Datos LOD:** Asegurar que tanto aplicaciones como usuarios finales puedan interactuar con la información semántica sin necesidad de conocimientos avanzados de SPARQL.

Impacto de LodView en la Arquitectura

Gracias a LodView, los datos RDF generados por el conversor y almacenados en Virtuoso son accesibles para humanos y sistemas. Esto incluye:

- **Incidentes de Tráfico:** Representación detallada de eventos relacionados con condiciones meteorológicas y viales.
- **Carreteras y Unidades Administrativas:** Visualización clara de características viales y jurisdicciones geográficas.

Al proporcionar una interfaz web intuitiva, LodView facilita la exploración de datos RDF, transformándolos en recursos reutilizables para aplicaciones de análisis y visualización. Su implementación alinea la arquitectura con los principios de interoperabilidad y accesibilidad de los Datos Abiertos Enlazados.

Detalles Técnicos (Trasladados al Anexo)

Para garantizar una organización clara y accesible del documento, los aspectos técnicos relacionados con la **instalación, configuración y despliegue de LodView** se describen en detalle en el **Anexo II: Instalación y Configuración de LodView**

7 EXPERIMENTACION Y RESULTADOS

7.1 Resultados de la ejecución del proceso Conversor LOD.

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos tras la ejecución del conversor LOD desarrollado en esta tesis. Este conversor transforma datos en formato XML DATEX II en instancias RDF conforme a las ontologías diseñadas específicamente para este proyecto, garantizando la interoperabilidad y alineación con los principios de LOD

El conversor LOD genera grafos RDF que describen los incidentes de tráfico con un nivel de detalle significativo, facilitando su integración con otras fuentes de datos semánticos, como unidades administrativas, carreteras y datos meteorológicos. Estos grafos incluyen atributos clave como:

- **Información sobre el incidente:** Tipo de incidente, probabilidad de ocurrencia, severidad y mensajes relacionados con la seguridad vial.
- **Referencias espaciales:** Ubicaciones representadas mediante geometrías en formato WKT (Well-Known Text) y puntos geográficos.
- **Vinculación jerárquica:** Relaciones explícitas entre incidentes y unidades administrativas (municipios, provincias, comunidades autónomas).
- **Validez temporal:** Períodos de validez especificados con la Ontología del Tiempo del W3C.

A continuación, se muestra un fragmento representativo de RDF generado por el conversor. Este ejemplo describe un incidente relacionado con condiciones meteorológicas adversas (listado 39).

```
<dtx_srti:WeatherRelatedRoadConditions
  rdf:about="https://nap.dgt.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_17362125_17362125">
  <dtx_srti:hasSeverityEnum rdf:resource="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#highest"/>
  <dtx_srti:hasLocationReference>
    <dtx_srti:SingleRoadLinearLocation>
      <dtx_srti:hasLinearWithinLinearElement>
        <dtx_srti:LinearWithinLinearElement>
          <dtx_srti:hasLinearElement>
            <dtx_srti:LinearElement>
              <dtx_srti:hasRoadNumber>A-4025</dtx_srti:hasRoadNumber>
            </dtx_srti:LinearElement>
          </dtx_srti:hasLinearElement>
        </dtx_srti:LinearWithinLinearElement>
      </dtx_srti:hasLinearWithinLinearElement>
    <dtx_srti:hasTpegLinearLocation>
      <dtx_srti:TpegLinearLocation>
        <dtx_srti:hasTpegPointTo>
          <dtx_srti:TpegNonJunctionPoint>
            <dtx_srti:hasPointCoordinates>
              <geo:PointCoordinates>
                <geo:lon>-3.42215</geo:lon>
                <geo:lat>37.11482</geo:lat>
              </geo:PointCoordinates>
            </dtx_srti:hasPointCoordinates>
          </dtx_srti:TpegNonJunctionPoint>
        </dtx_srti:hasTpegPointTo>
      </dtx_srti:TpegLinearLocation>
    </dtx_srti:hasTpegLinearLocation>
  </dtx_srti:SingleRoadLinearLocation>
</dtx_srti:hasLocationReference>
</rdf:Description>
```

Listado 39: Ejemplo instancia SituationRecord de condiciones meteorológicas adversas tras la conversión de XML a DATEX II LOD en formato RDF/XML.

Un ejemplo completo del RDF generado puede encontrarse en el **Anexo III: Resultados RDF del Conversor LOD**.

La ilustración 111 representa el mapeo entre un incidente en formato XML DATEX II y su transformación a RDF LOD mediante el conversor desarrollado en esta tesis. En la parte izquierda, se observa un fragmento de datos XML que describe atributos como la identificación del incidente, severidad, ubicación geográfica, validez temporal y fuente de datos. A la derecha, se muestra cómo esta información se traduce al modelo RDF, empleando la ontología desarrollada en esta tesis descrita ampliamente en la sección 4.8, que organiza los datos en clases y propiedades semánticas. El mapeo visual conecta elementos equivalentes entre ambos formatos, destacando la correspondencia entre las etiquetas XML y las propiedades RDF, como la representación de la ubicación en formato WKT o la validez temporal como recursos RDF.

Este mapeo demuestra cómo el conversor LOD transforma datos tabulares y jerárquicos en un modelo semántico interoperable, enriqueciendo la información con enlaces a vocabularios externos y asegurando su conformidad con los principios de Datos Abiertos Enlazados (LOD). La imagen subraya la capacidad del conversor para estandarizar y contextualizar los datos, facilitando su integración y consulta en arquitecturas semánticas avanzadas.

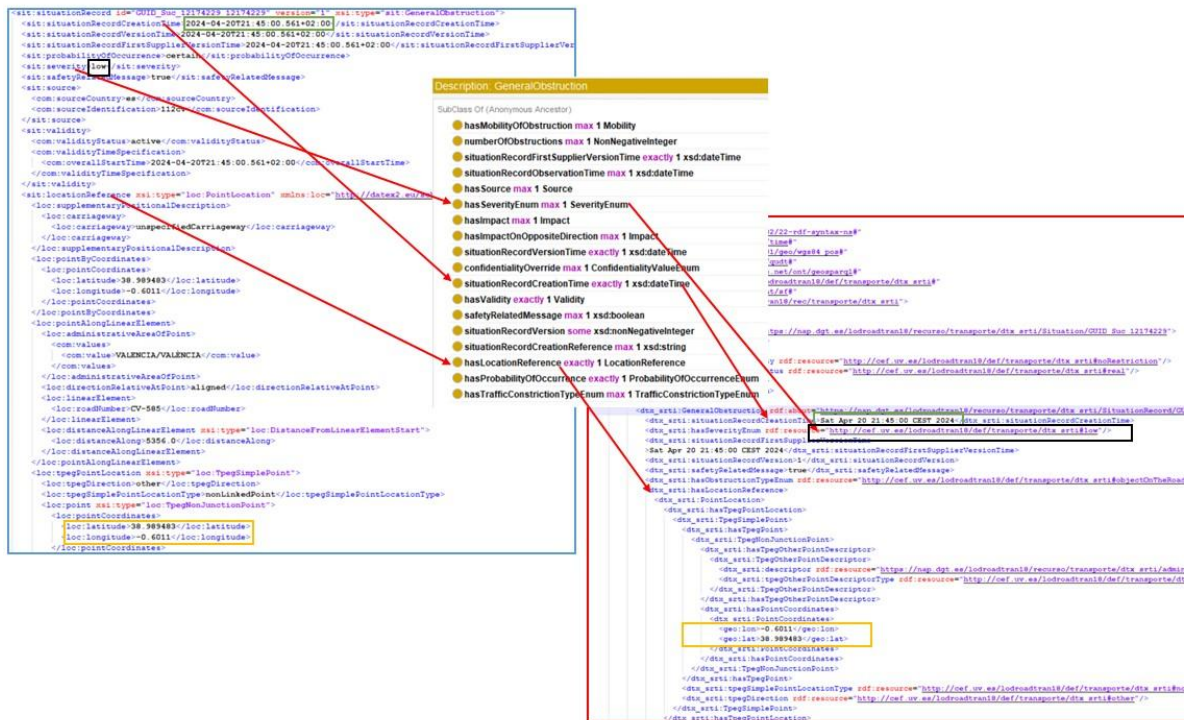


Ilustración 111: Mapeo entre instancias DATEX II XML y DATEXII LOD

Validación de los Datos RDF

Antes de cargar los datos en el servidor Virtuoso, se realiza un proceso de validación que incluye:

- **Validación de sintaxis RDF:** Verificación con herramientas como RDF Validator para garantizar la conformidad con los estándares.
- **Verificación de la información almacenada en Virtuoso:** Asegurar que todos los incidentes están correctamente cargados en virtuoso y vinculados con unidades administrativas y ubicaciones geográficas a través de consultas SPARQL.

1. Validación de sintaxis RDF

La ilustración 112 muestra la validación exitosa haciendo uso de RDF-Validator de las incidencias de tráfico SRTI en formato LOD.

Number of Subject	Predicate	Object
1	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#SituationRecord
2	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasHeaderInformation
3	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasInformationStatus
4	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasSituationRecord
5	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasLocationReference
6	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasPointAlongLinearElement
7	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasLinearWithinLinearElement
8	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasAdministrativeAreaOfPoint
9	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasAdministrativeAreaOfLinearSection
10	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasGeometry
11	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasConfidentiality
12	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasInformationStatus
13	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasSituationRecord
14	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasLocationReference
15	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasPointAlongLinearElement
16	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasLinearWithinLinearElement
17	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasAdministrativeAreaOfPoint
18	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#HasAdministrativeAreaOfLinearSection

Ilustración 112: Validación exitosa del RDF de incidentes de tráfico

Verificación en Virtuoso

Una vez cargados en Virtuoso, se ejecutan consultas SPARQL específicas para garantizar que los datos son consultables y completos. Ejemplo:

2. Validación mediante Consultas SPARQL:

La siguiente consulta (listado 40) obtiene un conjunto de atributos del RDF de incidentes de tráfico cargados en Virtuoso

```

PREFIX dtx_srti: <http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#>
PREFIX geosparql: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>

SELECT distinct ?Situation ?Confidentiality ?InformationStatus ?SituationRecord ?GeometriesWKT ?AdmAreaOfPoint
?AdmAreaOfLinearSection
WHERE
{
    OPTIONAL {?Situation dtx_srti:hasHeaderInformation / dtx_srti:hasConfidentiality ?Confidentiality.}
    OPTIONAL {?Situation dtx_srti:hasHeaderInformation / dtx_srti:hasInformationStatus
?InformationStatus.}
    OPTIONAL {?Situation dtx_srti:hasSituationRecord ?SituationRecord.}

### ADMINISTRATIVE AREA

    OPTIONAL {?SituationRecord dtx_srti:hasLocationReference / dtx_srti:hasPointAlongLinearElement /
dtx_srti:hasAdministrativeAreaOfPoint ?AdmAreaOfPoint. }
    OPTIONAL {?SituationRecord dtx_srti:hasLocationReference / dtx_srti:hasLinearWithinLinearElement /
dtx_srti:hasAdministrativeAreaOfLinearSection ?AdmAreaOfLinearSection.}

## GEOMETRY GEOSPARQL WKT
    OPTIONAL {?SituationRecord geosparql:hasGeometry / geosparql:asWKT ?GeometriesWKT.}
}
ORDER BY ?SituationRecord

LIMIT 20
    
```

Listado 40: Consulta SPARQL para la obtención de datos de incidentes de tráfico.

La ilustración 113 muestra los resultados tras la ejecución de la consulta de datos de incidentes SRTI LOD SPARQL sobre Virtuoso.

SPARQL | HTML5 table

Situation	Confidentiality	InformationStatus	SituationRecord
https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/Situation/GUID_Suc_11980864	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/noRestriction	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/real	https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/SituationRecord/GUID_Suc_11980864_119
https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/Situation/GUID_Suc_12134378	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/noRestriction	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/real	https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/SituationRecord/GUID_Suc_12134378_129
https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/Situation/GUID_Suc_12802093	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/noRestriction	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/real	https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/SituationRecord/GUID_Suc_12802093_128
https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/Situation/GUID_Suc_12746037	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/noRestriction	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/real	https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/SituationRecord/GUID_Suc_12746037_137
https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/Situation/GUID_Suc_16139013	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/noRestriction	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/real	https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/SituationRecord/GUID_Suc_16139013_161
https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/Situation/GUID_Suc_16358819	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/noRestriction	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/real	https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/SituationRecord/GUID_Suc_16358819_165
https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/Situation/GUID_Suc_16358929	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/noRestriction	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/real	https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/SituationRecord/GUID_Suc_16358929_165
https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/Situation/GUID_Suc_17362125	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/noRestriction	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/real	https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/SituationRecord/GUID_Suc_17362125_173
https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/Situation/GUID_Suc_17271499	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/noRestriction	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/real	https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/SituationRecord/GUID_Suc_17271499_173
https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/Situation/GUID_Suc_17372333	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/noRestriction	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/real	https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/SituationRecord/GUID_Suc_17372333_173
https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/Situation/GUID_Suc_17380686	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/noRestriction	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/real	https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/SituationRecord/GUID_Suc_17380686_173
https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/Situation/GUID_Suc_17612006	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/noRestriction	http://cef.uv.es/foadroadtran18/def/transporte/dth_arti/real	https://nae.dgt.es/foadroadtran18/recurso/transporte/dth_arti/SituationRecord/GUID_Suc_17612006_176

Ilustración 113: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de incidentes de tráfico generados por el conversor LOD

Análisis de los resultados obtenidos

El conversor LOD desarrollado en esta tesis transforma datos de incidentes de tráfico en formato XML DATEX II a un modelo RDF enriquecido y alineado con los principios de LOD. Este proceso asegura que los datos sean interoperables, semánticamente enriquecidos y consultables en arquitecturas avanzadas de web semántica.

El resultado de la integración permite que los incidentes de tráfico se representen como grafos RDF detallados, lo que facilita su relación con otras fuentes de datos dentro de la arquitectura semántica. Los datos transformados son accesibles a través de consultas SPARQL en el endpoint Virtuoso, proporcionando información detallada sobre cada incidente. Además, las instancias RDF están vinculadas a ubicaciones geográficas mediante geometrías en formato WKT, unidades administrativas jerárquicas y períodos de validez temporal, lo que enriquece su contexto.

Este modelo RDF semántico asegura que los datos de tráfico puedan ser reutilizados en múltiples contextos, mejorando la interoperabilidad y el análisis de la información. Los incidentes de tráfico pueden combinarse con datos meteorológicos, unidades administrativas y carreteras, posibilitando análisis multidimensionales. La capacidad de consulta y vinculación de datos asegura que los detalles específicos, como tipo de incidente, severidad, probabilidad de ocurrencia y tiempo de validez, estén disponibles de manera clara y estructurada, lo que enriquece la toma de decisiones y el análisis en tiempo real.

7.2 Resultado de la federación en los portales de datos abiertos español y europeo.

Se han desarrollado e implementado funcionalidades dentro del NAP español que permiten la publicación de archivos de metadatos estandarizados en diversos formatos y especificaciones. Estas capacidades son imprescindibles para lograr la federación con otros portales de datos abiertos, como el Portal de Datos Abiertos Español y el Portal Europeo de Datos Abiertos. Todas las aplicaciones desarrolladas e instaladas fueron probadas exitosamente en el entorno de preproducción de la DGT dentro del marco del proyecto CEF Lod-RoadTran18 y la tesis, antes de su despliegue en el entorno de producción.

Además, se llevaron a cabo las acciones necesarias para crear una federación entre el NAP español y el Portal de Datos Abiertos Español.

La ilustración 114 muestra una publicación de un dataset de incidentes de datos DATEX SRTI LOD generado dentro de los procesos de construcción de esta tesis.



Ilustración 114: Dataset DATEX II LOD publicado en el portal de datos abiertos español. Fuente: [45]

A partir de esta federación, se logró automáticamente la integración del dataset en el Portal Europeo de Datos Abiertos (EDP) [120] de manera transitiva. El 17 de septiembre de 2022 se produce la primera federación del dataset de preproducción en los portales de datos abiertos de España y Europa

La publicación resultante en el EDP obtuvo una calificación de "Buena" según la metodología de Evaluación de Calidad de Metadatos (MQA) definida por el portal (ilustración 115).

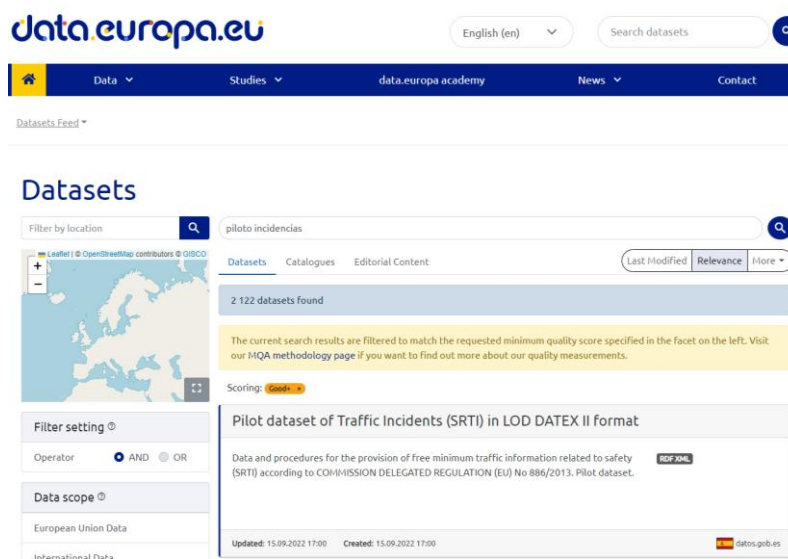


Ilustración 115: Dataset DATEX II LOD publicado en el portal de datos abiertos europeo con calificación de metadatos "Buena". Fuente: [120]

Se llevaron a cabo pruebas de MQA que fueron validadas por los oficiales de la Comisión. Para ello, se utilizaron los metadatos fuente del NAP español y se ejecutaron en el validador proporcionado por el EODP, obteniendo resultados positivos que fueron confirmados por la Comisión (ilustración 116).

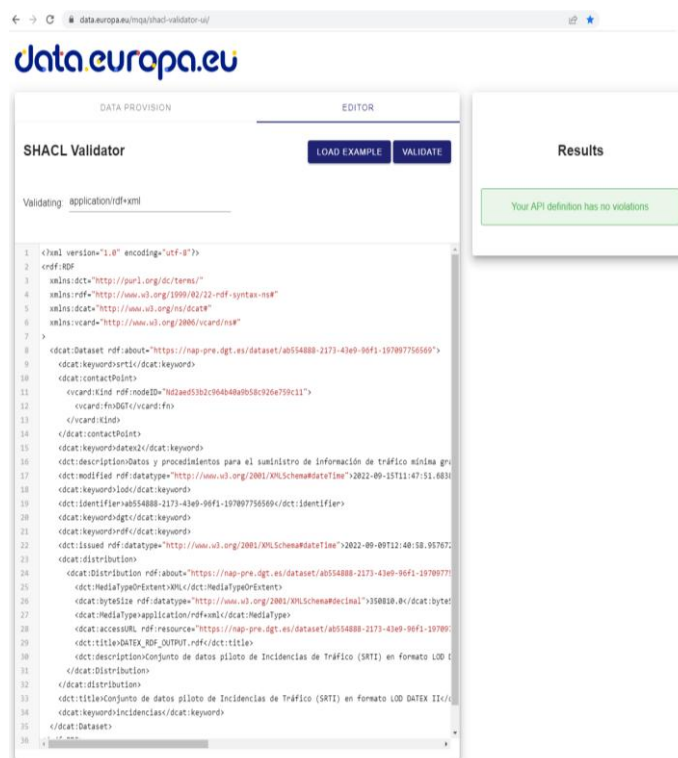


Ilustración 116: Resultados del validador MQA para los metadatos españoles, sin problemas detectados. Fuente: [120]

En resumen, la implementación y las pruebas se completaron por completo, principalmente ejecutadas en el ambito del proyecto europeo y la tesis con el apoyo de la Dirección General de Tráfico (DGT). La solución ha sido desplegada y está publicando datos de tráfico en tiempo real, mejorados con LOD, en el Portal Europeo de Datos Abiertos.

Específicamente, las funcionalidades necesarias fueron desarrolladas y probadas en el ámbito del proyecto europeo y de esta tesis en el entorno de desarrollo, y posteriormente implementadas y verificadas en el entorno de producción de la DGT, en colaboración con su equipo de soporte técnico. Actualmente, la solución está proporcionando datos de tráfico en tiempo real, mejorados con LOD, a través del NAP español e integrándolos tanto en el Portal de Datos Abiertos Español como en el Portal Europeo de Datos Abiertos. Los metadatos asociados a este conjunto de datos cumplen con las herramientas de validación MQA proporcionadas por los oficiales de la Comisión, y dicha validación ha sido confirmada con ellos.

7.3 Resultados RDF de la ejecución del proceso de integración de Unidades Administrativas.

En esta sección, se presentan los resultados RDF generados tras la ejecución del proceso de integración de datos de unidades administrativas. Los datos han sido transformados, según se describe en la sección 6.4, desde el formato tabular proporcionado por el INE a un modelo RDF conforme a la ontología de unidades administrativas diseñada específicamente para esta tesis. Este modelo semántico integra vocabularios estandarizados y propiedades definidas para garantizar su interoperabilidad, alineándose con los principios de la web semántica.

A continuación, se muestra un ejemplo representativo del RDF generado en el listado 41.


```
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:dcterms="http://purl.org/dc/terms/"
  xmlns:esadm="http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xmlns:dtx_srti="http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:dtx_srti_unit="http://cef.uv.es/lodtroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xml:base="http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/" >
  <rdf:Description rdf:about="ComunidadAutonoma/comunitat-valenciana">
    <dtx_srti:belongsToCountry rdf:resource="Pais/Spain"/>
    <dcterms:title>Comunitat Valenciana</dcterms:title>
    <owl:sameAs rdf:resource="https://datos.ign.es/recurso/btn100/comunidad-autonoma/comunitat-valenciana"/>
    <rdfs:label>ComunidadAutonoma #10</rdfs:label>
    <esadm:codigoINE>10</esadm:codigoINE>
    <rdf:type rdf:resource="http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-
publico/territorio#ComunidadAutonoma"/>
  </rdf:Description>
  <rdf:Description rdf:about="Provincia/valencia-valencia">
    <dtx_srti:belongsToAutonomy rdf:resource="ComunidadAutonoma/comunitat-valenciana"/>
    <owl:sameAs rdf:resource="https://datos.iepn.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/46"/>
    <dcterms:title>VALENCIA/VALÈNCIA</dcterms:title>
    <owl:sameAs rdf:resource="https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/valencia-valencia"/>
    <owl:sameAs rdf:resource="http://geo.linkeddata.es/resource/Provincia/Valencia"/>
    <esadm:codigoINE>46</esadm:codigoINE>
    <rdfs:label>Provincia #46</rdfs:label>
    <rdf:type rdf:resource="http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-
publico/territorio#Provincia"/>
  </rdf:Description>
  <rdf:Description rdf:about="Municipio/46260">
    <dtx_srti:belongsToProvince rdf:resource="Provincia/valencia-valencia"/>
    <rdfs:label>Municipio #46260</rdfs:label>
    <owl:sameAs rdf:resource="https://datos.ign.es/recurso/btn100/municipio/46260"/>
    <esadm:codigoINE>46260</esadm:codigoINE>
    <dcterms:title>VINALESA</dcterms:title>
    <rdf:type rdf:resource="http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-
publico/territorio#Municipio"/>
  </rdf:Description>
```

Listado 41: Ejemplo instancia de unidades administrativas tras la semantización de los datos del INE.

Validación de los Datos RDF de unidades administrativas

Antes de cargar los datos de unidades administrativas en Virtuoso, se realiza una validación de los datos en RDF para garantizar su calidad:

- **Validación de sintaxis RDF:** Utilizando la herramienta rdf-validator.
- **Verificación de la información almacenada en Virtuoso:** Asegurar que todas las unidades administrativas están correctamente cargadas en virtuoso.

1. Validación de sintaxis RDF de unidades administrativas:

La ilustración 117 muestra la validación exitosa haciendo uso de RDF-Validator de las unidades administrativas en formato LOD.

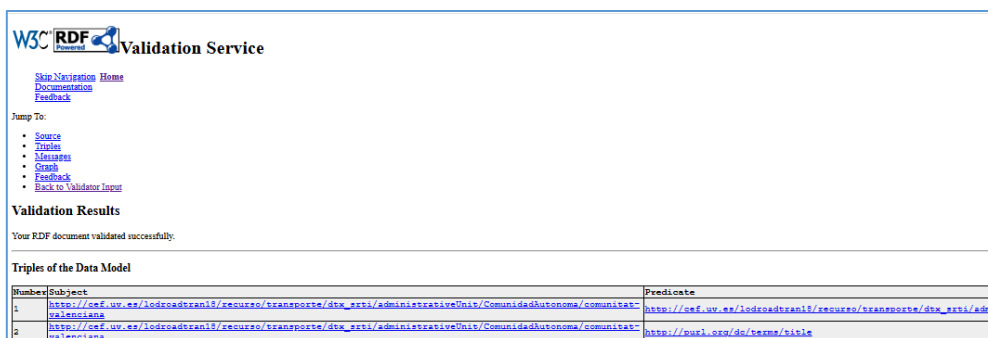


Ilustración 117: Validación exitosa del RDF de unidades administrativas

2. Verificación de la información almacenada en Virtuoso

Después de validar la información de las unidades administrativas en formato RDF, los grafos se cargan en el servidor Virtuoso SPARQL Endpoint. Para garantizar que los datos se han publicado correctamente, se ejecutan consultas SPARQL específicas como parte del proceso de verificación:

3. Validación mediante Consultas SPARQL:

Consulta de Información de poblaciones, provincias y comunidades autónomas:

El listado 42 muestra una consulta SPARQL para la obtención de poblaciones, provincias y comunidades autónomas.

```
PREFIX dcterms: <http://purl.org/dc/terms/>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX esadm: <http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#>
PREFIX dtx_srti_unit: <http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/>
select
  ?titleAutonomy ?codeINEAutonomy ?titleProvince ?codeINEProv ?titleMunicipio ?codeINEMuni ?titlePob
  ?codeINEPob
where
{
  ?town a <http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Poblacion>;
    rdfs:label ?label;
    esadm:codigoINE ?codeINEPob;
    dcterms:title ?titlePob;
    dtx_srti_unit:belongToMunicipality ?municipio.

  ?municipio dcterms:title ?titleMunicipio;
    esadm:codigoINE ?codeINEMuni;
    dtx_srti_unit:belongToProvince ?province.

  ?province dcterms:title ?titleProvince;
    esadm:codigoINE ?codeINEProv;
    dtx_srti_unit:belongToAutonomy ?autonomy.

  ?autonomy dcterms:title ?titleAutonomy;
    esadm:codigoINE ?codeINEAutonomy.

  # Poblaciones, municipios, provincia y comunidad autónoma de la Comunidad Valenciana
  FILTER(?codeINEAutonomy = "10")
}
ORDER BY ?titleProvince ?titleMunicipio ?titlePob
```

Listado 42: Consulta SPARQL para la obtención de poblaciones, provincias y comunidades autónomas.

Resultado de la ejecución de la consulta de Información de poblaciones, provincias y comunidades autónomas:

La ilustración 118 muestra los resultados tras la ejecución de la consulta de datos de poblaciones en formato LOD.

SPARQL | HTML5 table

titleAutonomy	codeNEAutonomy	titleProvince	codeNEProv	titleMunicipio	codeNEMuni	titlePob	codeNEPob
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"AGÜES/A"	"03001"	"AGÜES/A"	"03001000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"AGÜES/A"	"03001"	"FORMA"	"03001000200"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"AGÜES/A"	"03002"	"AGÜES/A"	"03002000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"AGÜES/A"	"03003"	"AGÜES/A"	"03003000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"AGÜES/A"	"03004"	"AGÜES/A"	"03004000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALBATERA"	"03005"	"ALBATERA"	"03005000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALCALALÍ"	"03006"	"ALCALALÍ"	"03006000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALCALALÍ"	"03006"	"LLOSA DE CARROCH"	"03006000200"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALCOER DE PLANES"	"03007"	"ALCOER DE PLANES"	"03007000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALCOLEJA"	"03008"	"ALCOLEJA"	"03008000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALCOY/ALECE"	"03009"	"ALCOY/ALECE"	"03009000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALFARABA"	"03010"	"ALFARABA"	"03010000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALFAS DEL PE (L.)"	"03011"	"ALFAS DEL PE (L.)"	"03011000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALGORFA"	"03012"	"ALGORFA"	"03012000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALBUÏA"	"03013"	"ALBUÏA"	"03013000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALBUÏA"	"03013"	"SOLANA (LA)"	"03013000200"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALICANTE/ALACANT"	"03014"	"ALCORAYA (LA)"	"03014000100"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALICANTE/ALACANT"	"03014"	"ALICANTE/ALACANT"	"03014000200"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALICANTE/ALACANT"	"03014"	"BACAROT (EL)"	"03014000300"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALICANTE/ALACANT"	"03014"	"CAÑADA DEL FENOLLAR"	"03014000400"
"Comunitat Valenciana"	10	"ALICANTE/ALACANT"	"3"	"ALICANTE/ALACANT"	"03014"	"FORT CALENT"	"03014000500"

Ilustración 118: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de provincias y comunidades autónomas en formato LOD

Análisis de los resultados obtenidos

El proceso de integración de unidades administrativas permite que sus datos sean consultables y se relacionen con otras fuentes de información dentro de la arquitectura semántica. Esto posibilita:

- Consultar detalles específicos de municipios, provincias y comunidades autónomas, incluidos atributos como población, extensión geográfica y códigos administrativos con su relación jerárquica.
- Analizar relaciones jerárquicas entre niveles administrativos, permitiendo entender cómo se agrupan municipios en provincias y estas en comunidades autónomas.
- Realizar consultas federadas que combinen datos de unidades administrativas con otras fuentes relevantes, como incidentes de tráfico, datos meteorológicos, información del IGN o servicios de infraestructura.

Este enfoque asegura que los datos tabulares de unidades administrativas se transformen en un modelo RDF interoperable, conforme a los estándares de la web semántica, permitiendo consultas avanzadas y análisis contextual.

7.4 Resultados RDF de la ejecución del proceso de integración de Carreteras.

En esta sección se describen los resultados RDF generados tras el proceso de integración y semantización de los datos de carreteras y tramos. Estos resultados reflejan la transformación de los datos originales, provenientes del Ministerio de Transporte, en un modelo RDF conforme a las ontologías y vocabularios utilizados en esta tesis.

A continuación, en el listado 43, se presenta un fragmento representativo del RDF generado.

```
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:qudt="http://qudt.org/schema/qudt#"
  ...
>
```

```

xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
xmlns:dbpedia="http://dbpedia.org/ontology/"
xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
xmlns:roads="http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
xml:base="http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/" >
<rdf:Description rdf:about="CarreterasRCE/N-340A">
  <roads:carretera_COD>N-340A</roads:carretera_COD>
  <roads:carretera_Denominacion>Cádiz y Gibraltar a Barcelona.</roads:carretera_Denominacion>
  <rdfs:label>CarreterasRCE #N-340A</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="CarreterasRCE"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="TramosRCE/1308">
  <roads:tramos_carretera_COD rdf:resource="CarreterasRCE/N-340"/>
  <roads:tramos_Long rdf:nodeID="A0"/>
  <rdfs:label>TramosRCE #1308</rdfs:label>
  <roads:tramos_Tipo_Via
rdf:resource="https://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti/roads#Carretera_convencional"/>
  <roads:tramos_CCAA rdf:resource="..administrativeUnit/ComunidadAutonoma/cataluna-catalunya"/>
  <roads:tramos_Inicio>Inicio proyecto Rotonda de Sant Carles</roads:tramos_Inicio>
  <roads:tramos_Longitud rdf:datatype="https://w3id.org/cdt/length">0 km</roads:tramos_Longitud>
  <roads:tramos_PK_Fin>1072+00200</roads:tramos_PK_Fin>
  <roads:tramos_Provincia rdf:resource="..administrativeUnit/Provincia/tarragona"/>
  <roads:tramos_ID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer">1308</roads:tramos_ID>
  <roads:tramos_Fin>Fin tramo separado por mediana</roads:tramos_Fin>
  <roads:tramos_PK_Inicio>1071+00260</roads:tramos_PK_Inicio>
  <rdf:type rdf:resource="TramosRCE"/>
</rdf:Description>

```

Listado 43: Ejemplo de instancia de carreteras y tramos tras la semantización de los datos excel

Validación de los Datos RDF

Antes de cargar los datos en Virtuoso, se realiza una validación exhaustiva para garantizar su calidad:

- **Validación de sintaxis RDF:** Utilizando herramientas como rdf-validator.
- **Verificación de la información almacenada en Virtuoso:** Asegurar que toda la información de carreteras están correctamente cargados en virtuoso comprobando que cada tramo esté correctamente asociado a su carretera.

1. Validación de sintaxis RDF de carreteras:

La ilustración 119 muestra la validación exitosa haciendo uso de RDF-Validator de las carreteras en formato LOD.

The screenshot shows the W3C RDF Validation Service interface. At the top, there are links for 'Home', 'Documentation', and 'Feedback'. Below this, a 'Jump To:' section lists 'Source', 'Triples', 'Messages', 'Stats', 'Feedback', and 'Back to Validator Input'. The 'Validation Results' section states 'Your RDF document validated successfully.' Below this, a table titled 'Triples of the Data Model' displays the validated data. The table has three columns: 'Index', 'Subject', and 'Object'. It lists 10 triples related to the CarreterasRCE and TramosRCE resources, including their URIs, labels, and types.

Index	Subject	Object
1	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#CarreterasRCE/N-340A	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#CarreterasRCE
2	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#CarreterasRCE/N-340A	http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer
3	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#CarreterasRCE/N-340A	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#Carretera_convencional
4	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#CarreterasRCE/N-340A	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#Carretera_convencional
5	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#CarreterasRCE/N-340A	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#Carretera_convencional
6	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#CarreterasRCE/N-340A	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#Carretera_convencional
7	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#CarreterasRCE/N-340A	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#Carretera_convencional
8	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#CarreterasRCE/N-340A	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#Carretera_convencional
9	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#CarreterasRCE/N-340A	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#Carretera_convencional
10	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#CarreterasRCE/N-340A	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads#Carretera_convencional

Ilustración 119: Validación exitosa del RDF de carreteras

2. Verificación de la información almacenada en Virtuoso

Una vez validada la información de carreteras en formato RDF se publican los grafos en el servidor de Virtuoso Sparql Endpoint, se realizan pruebas a través de consultas Sparql para validar que la información se ha publicado correctamente:

Pruebas de consultas SPARQL:

Consulta de la información de carreteras:

En el listado 44 se muestra un ejemplo de consulta para la obtención de datos de carreteras.

```
PREFIX roads: <http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/>
select *
{
  ?Road a roads:CarreterasRCE;
        rdfs:label ?etiqueta;
        roads:carretera_Denominacion ?denominacion;
        roads:carretera_Itinerario ?itinerario.
}
```

Listado 44: Consulta SPARQL para la obtención de datos de carreteras

La ilustración 120 muestra los resultados tras la ejecución de la consulta de datos de carreteras.

SPARQL HTML5 table			
Road	etiqueta	denominacion	itinerario
http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/CarreterasRCE/A-1	"CarreterasRCE #A-1"	"Autovía del Norte."	"Madrid / L.P. Burgos-Álava"
http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/CarreterasRCE/A-11	"CarreterasRCE #A-11"	"Autovía del Duero."	"Soria / Zamora / Frontera con Portugal."
http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/CarreterasRCE/A-12	"CarreterasRCE #A-12"	"Autovía del Camino de Santiago."	"Logroño / Burgos (sigue hasta Pamplona por la r
http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/CarreterasRCE/A-14	"CarreterasRCE #A-14"	"Autovía de la Ribagorza."	"Lleida / Sopeira."
http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/CarreterasRCE/A-15	"CarreterasRCE #A-15"	"Autovía de Navarra."	"Medinaceli / Soria / Tudela."
http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/CarreterasRCE/A-1A	"CarreterasRCE #A-1A"	"Travesía de El Molar."	"El Molar (Norte) / El Molar (Sur)."
http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/CarreterasRCE/A-2	"CarreterasRCE #A-2"	"Autovía del Nordeste."	"Madrid / Zaragoza / Barcelona / Frontera con Fr
http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/CarreterasRCE/A-21	"CarreterasRCE #A-21"	"Autovía de los Pirineos."	"Jaca / L.P. Zaragoza-Navarra."
http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/CarreterasRCE/A-22	"CarreterasRCE #A-22"	"Autovía del Camino Catalán."	"Lleida / Huesca."

Ilustración 120: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de datos de carreteras.

Consulta de la información de tramos de carreteras:

En el listado 45 se muestra un ejemplo de consulta para la obtención de datos de tramos de carreteras.

```
PREFIX roads: <http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/>
PREFIX qudt: <http://qudt.org/schema/qudt#>
PREFIX dcterms: <http://purl.org/dc/terms/>

select distinct ?RoadSection ?Community ?URIOfRoad ?CodeOfRoad ?Length ?unit
where
{
  ?RoadSection a roads:TramosRCE.
  ?RoadSection roads:tramos_CCAA ?Community.
  ?RoadSection roads:tramos_carretera_COD ?URIOfRoad.
  ?URIOfRoad roads:carretera_COD ?CodeOfRoad .
  ?RoadSection roads:tramos_Long ?RoadSectionLong.
  ?RoadSectionLong qudt:numericValue ?Length.
  ?RoadSectionLong qudt:unit ?unit.
} LIMIT 100
```

Listado 45: Consulta SPARQL para la obtención de datos de tramos de carreteras

La ilustración 121 muestra los resultados tras la ejecución de la consulta de datos de tramos de carreteras.

URI	Name	UICOfficial	CodeOfficial	Length	Unit
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-100	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-100	0.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-101	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-101	2.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-102	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-102	20.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-103	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-103	20.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-104	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-104	30.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-105	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-105	0.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-106	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-106	0.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-107	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-107	1.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-108	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-108	10.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-109	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-109	2.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-110	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-110	10.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-111	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-111	27.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-112	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-112	0.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-113	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-113	0.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-114	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-114	0.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-115	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-115	0.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-116	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-116	0.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-117	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-117	0.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-118	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-118	0.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-119	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-119	0.0	km
http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	Carretera N-120	http://datos.bancomundial.org/indicadores/SH.UIC.SV.NV?locations=EU	70-120	0.0	km

Ilustración 121: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de datos de tramos de carreteras

Resultados

El proceso de integración permite que los datos de carreteras y tramos sean consultables y relacionados con otras fuentes de información en la arquitectura semántica. Esto incluye:

- Consultar detalles de las carreteras y sus tramos asociados.
- Analizar cómo los incidentes de tráfico o las condiciones meteorológicas afectan a tramos específicos.
- Realizar consultas federadas que combinen datos de carreteras con otras fuentes como incidentes de tráfico, electrolineras, IGN o meteorología.

Este enfoque garantiza que los datos relacionales de carreteras se transformen en un modelo RDF interoperable, alineado con los estándares de la web semántica y preparado para enriquecer el análisis vial.

7.5 Resultados RDF de la ejecución del proceso de integración de Electrolineras.

En esta sección se describen los resultados RDF generados tras el proceso de integración y semantización de los datos de electrolineras proporcionados por la Dirección General de Tráfico (DGT). Estos resultados representan la transformación de los datos originales, en formato XML, en un modelo RDF compatible con las ontologías y vocabularios desarrollados en esta tesis.

El RDF resultante organiza y enriquece la información de las electrolineras, facilitando su consulta e interoperabilidad dentro de la arquitectura semántica propuesta. Ver listado 46.

```
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:xyz="http://sparql.xyz/facade-x/data/"
  xmlns:electrolineras="http://nap.dgt.es/electrolineras#"
  xmlns:schema="http://schema.org/"
  xmlns:geo="http://www.opengis.net/ont/geosparql#"
  xmlns:fx="http://sparql.xyz/facade-x/ns/" >
  <rdf:Description rdf:nodeID="A0">
    <geo:wktLiteral rdf:datatype="http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral">POINT(-5.666471
43.543465)</geo:wktLiteral>
    <electrolineras:longitud_decimal>-5.666471</electrolineras:longitud_decimal>
    <electrolineras:latitud_decimal>43.543465</electrolineras:latitud_decimal>
    <electrolineras:provincia>Provincia: Asturias</electrolineras:provincia>
    <electrolineras:operatorData>WENEA EMOBILITY SERVICES SL</electrolineras:operatorData>
    <electrolineras:nombre>Parking El Espigón. Gijón - Parkia</electrolineras:nombre>
    <electrolineras:id>2024004145</electrolineras:id>
  </rdf:type>http://nap.dgt.es/electrolineras/</rdf:type>
```

</rdf:Description>

Listado 46: Ejemplo de instancia de electrolineras tras la semantización con SPARQL Anything

Validación de los Datos RDF

Antes de cargar los datos en Virtuoso, se lleva a cabo una validación exhaustiva para garantizar la calidad y consistencia de los datos generados. Este paso incluye:

- **Validación de Sintaxis RDF:** Utilizando herramientas como rdf-validator para asegurar que los datos generados cumplen con los estándares RDF.
- **Verificación de Relaciones:** Comprobando que cada electrolinera incluye todas las propiedades requeridas, como ubicación geográfica, operador, y nombre.
- **Pruebas de Consultas SPARQL:** Realizando consultas de prueba para garantizar la correcta representación y acceso a los datos.

1. Validación de sintaxis RDF de electrolineras:

La ilustración 122 muestra la validación exitosa haciendo uso de RDF-Validator de las electrolineras.

The screenshot shows the W3C RDF Validation Service interface. It includes navigation links like 'Skip Navigation', 'Home', 'Documentation', and 'Feedback'. Under 'Jump To:', there are links for 'Source', 'Triples', 'Messages', 'Graph', 'Feedback', and 'Back to Validator Input'. The 'Validation Results' section states 'Your RDF document validated successfully.' Below this, a table titled 'Triples of the Data Model' displays 15 triples with columns for Number, Subject, Predicate, and Object.

Number	Subject	Predicate	Object
1	genid:UA0	http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral	"POINT(-5.666471 43.543465)"^^http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral
2	genid:UA0	http://nap.dgt.es/electrolineras#longitud_decimal	"-5.666471"
3	genid:UA0	http://nap.dgt.es/electrolineras#latitud_decimal	"43.543465"
4	genid:UA0	http://nap.dgt.es/electrolineras#provincia	"Provincia: Asturias"
5	genid:UA0	http://nap.dgt.es/electrolineras#operatorData	"WENEA MOBILITY SERVICES SL"
6	genid:UA0	http://nap.dgt.es/electrolineras#nombre	"Parking El Espigón. Gijón - Parkia"
7	genid:UA0	http://nap.dgt.es/electrolineras#id	"2024004145"
8	genid:UA0	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	"http://nap.dgt.es/electrolineras"
9	genid:UA1	http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral	"POINT(-1.665235 42.493904)"^^http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral
10	genid:UA1	http://nap.dgt.es/electrolineras#longitud_decimal	"-1.665235"
11	genid:UA1	http://nap.dgt.es/electrolineras#latitud_decimal	"42.493904"
12	genid:UA1	http://nap.dgt.es/electrolineras#provincia	"Provincia: Navarra"
13	genid:UA1	http://nap.dgt.es/electrolineras#operatorData	"IBERDROLA CLIENTES S.A.U"
14	genid:UA1	http://nap.dgt.es/electrolineras#nombre	"NA-Olite-001"
15	genid:UA1	http://nap.dgt.es/electrolineras#id	"2024000221"

Ilustración 122: Validación exitosa del RDF de electrolineras

2. Verificación de la Información Almacenada en Virtuoso

Una vez validada la información de electrolineras en formato RDF, se publican los grafos en el servidor Virtuoso SPARQL Endpoint. Para garantizar que la información se ha cargado y publicado correctamente, se realizan pruebas mediante consultas SPARQL que validan la integridad y accesibilidad de los datos generados.

Pruebas de Consultas SPARQL

A continuación, se muestra un ejemplo de consulta SPARQL para verificar la información de las electrolineras almacenada en Virtuoso. Ver listado 47.

PREFIX electrolineras: <http://nap.dgt.es/electrolineras#>

```
PREFIX geosparql: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>

Select ?idElectrolinera ?nombreElectrolinera ?operatorData ?provincia ?pointElectrolinera
where
{
  ?electrolinera electrolineras:id ?idElectrolinera;
    electrolineras:nombre ?nombreElectrolinera;
    electrolineras:operatorData ?operatorData;
    electrolineras:provincia ?provincia;
    electrolineras:latitud_decimal ?latitud_decimal;
    electrolineras:longitud_decimal ?longitud_decimal;
    geosparql:wktLiteral ?pointElectrolinera.
}
```

Listado 47: Consulta SPARQL para la obtención de datos de electrolineras.

Resultados tras la ejecución de la consulta de electrolineras

La ilustración 123 muestra los resultados tras la ejecución de la consulta de datos de obtención de datos de electrolineras LOD.

idElectrolinera	nombreElectrolinera	operatorData	provincia	pointElectrolinera
"202408045"	"Parking El Espiñón. Gijón - Parcia"	"VENIA EMOBILITY SERVICES SL"	"Provincia: Asturias"	"POINT(-5.666471 43.543465)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"202408021"	"W-OLITE-002"	"IBERDROLA CLIENTES S.A.U"	"Provincia: Navarra"	"POINT(-1.665235 42.463984)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"2024081140"	"Repsoil, Unamun Bilbao, Parking"	"REPISO COMERCIAL DE PRODUCTOS PETROLIFEROS SA"	"Provincia: Bizkaia"	"POINT(-2.932199825472 43.259968174561)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"2024083081"	"Repsoil ES, LOS REHEZAJES S.L."	"REPISO COMERCIAL DE PRODUCTOS PETROLIFEROS SA"	"Provincia: Huelva"	"POINT(-6.476219 37.351433)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"20230803445"	"Rest. Pella Nea"	"ESP CLIENTES SAU"	"Provincia: Asturias"	"POINT(-5.787290232483 43.434160769287)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"2023080416"	"K2000004500003"	"ENDESA X WAY, S.L."	"Provincia: Asturias"	"POINT(-5.668131 43.537617)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"20240804298"	"Hotel RH Barcelona Diagonal Center"	"VENIA EMOBILITY SERVICES SL"	"Provincia: Barcelona"	"POINT(2.1896789485823 41.399897442627)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"20240802020"	"Carreer Prat de la Riba, 10-16"	"Etecnic Movilidad Eléctrica, SRL"	"Provincia: Tarragona"	"POINT(1.258782828262 41.287525177882)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"20230803672"	"61920822618002"	"ENDESA X WAY, S.L."	"Provincia: Huelva"	"POINT(-7.236288 37.385437)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"20230802241"	"Hotel Casa Junco"	"ESP CLIENTES SAU"	"Provincia: Asturias"	"POINT(-4.554662 43.380356)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"2024080425"	"W-Málaga-033"	"IBERDROLA CLIENTES S.A.U"	"Provincia: Málaga"	"POINT(-4.412117 36.71921)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"20240803956"	"Hotel RH Madrid Lagasca"	"VENIA EMOBILITY SERVICES SL"	"Provincia: Madrid"	"POINT(-3.683882 40.427296)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"20240802158"	"E-46-Almussafes-005"	"IBERDROLA CLIENTES S.A.U"	"Provincia: Valencia/Valencia"	"POINT(-0.414843 39.294426)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"20230803438"	"Almarras La Gorda"	"ESP CLIENTES SAU"	"Provincia: Madrid"	"POINT(-3.612782 40.317394)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"20240802373"	"E-39-Santander-001"	"IBERDROLA CLIENTES S.A.U"	"Provincia: Cantabria"	"POINT(-3.868393 43.45854)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
"2024080570"	"A-ALICANTE-046"	"IBERDROLA CLIENTES S.A.U"	"Provincia: Alicante/Alicant"	"POINT(-0.463482 38.369853)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>

Ilustración 123: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de datos de electrolineras LOD

Análisis de resultados

El proceso de integración de los datos de electrolineras permite que esta información sea consultable y relacionada con otras fuentes de datos en la arquitectura semántica. Esto incluye:

- Consultar detalles de las electrolineras: Ubicación geográfica, operador, estado operativo y tipo de cargadores disponibles.
- Relacionar electrolineras con otras fuentes de información: Analizar cómo la proximidad de las electrolineras a incidentes de tráfico o su ubicación en relación con las condiciones meteorológicas puede impactar la planificación de rutas y la experiencia de los usuarios.
- Realizar consultas federadas: Combinar datos de electrolineras con otras fuentes, como incidentes de tráfico, carreteras, estaciones meteorológicas o servicios cercanos obtenidos de LinkedGeoData, para proporcionar análisis más ricos y contextuales.

7.6 Resultados RDF de la ejecución del proceso de integración de AEMET.

En los siguientes apartados se muestran los resultados obtenidos fruto de la integración de datos de la fuente AEMET referente a estaciones meteorológicas y observaciones derivadas de sus sensores.

7.6.1 Estaciones meteorológicas

En esta sección se describen los resultados RDF generados tras los procesos vistos en las secciones 5.3.7 y 6.7 de esta tesis, referentes a la integración y semantización de los datos de estaciones meteorológicas proporcionados por AEMET. Estos resultados representan la transformación de los datos originales en un modelo RDF compatible con las ontologías y vocabularios utilizados en esta tesis, facilitando su consulta y análisis dentro de la arquitectura semántica desarrollada.

El RDF generado (listado 48) organiza y enriquece la información de las estaciones meteorológicas, permitiendo su integración con otras fuentes de datos dentro del sistema. Este modelo RDF incluye propiedades como la identificación de la estación (código indsino), su ubicación geográfica en formato WKT (Well-Known Text), la provincia a la que pertenece y su relación con otras clases del dominio semántico.

```
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:xyz="http://sparql.xyz/facade-x/data/"
  xmlns:esadm="http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#"
  xmlns:estaciones="http://nap.dgt.es/recursos/estaciones#"
  xmlns:geo="http://www.opengis.net/ont/geosparql#"
  xmlns:fx="http://sparql.xyz/facade-x/ns/"
  xmlns:geof="http://www.opengis.net/def/function/geosparql/"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:estacionesAemet="http://aemet.linkeddata.es/ontology#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >
  <rdf:Description rdf:about="http://nap.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X">
    <estacionesAemet:indsino>6293X</estacionesAemet:indsino>
    <geo:wktLiteral rdf:datatype="http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral">POINT(-
2.7016668 36.686947)</geo:wktLiteral>
    <esadm:codigoINE>4</esadm:codigoINE>
    <estacionesAemet:locatedInProvince>ALMERIA</estacionesAemet:locatedInProvince>
    <estacionesAemet:stationName>ROQUETAS DE MAR</estacionesAemet:stationName>
    <rdfs:subClassOf>http://valenciaanchorstation/vas#Terrestrial_Station</rdfs:subClassOf>
    <rdf:type>http://aemet.linkeddata.es/ontology/WeatherStation</rdf:type>
  </rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Listado 48: Ejemplo instancia estación meteorológica tras ejecutar el proceso de transformación con SPARQL Anything

Validación de los Datos RDF de las Estaciones Meteorológicas

Antes de cargar los datos de estaciones meteorológicas en el servidor Virtuoso, se lleva a cabo un proceso exhaustivo de validación para garantizar la calidad, consistencia y usabilidad de los datos generados. Este paso es crucial para asegurar que los datos RDF cumplen con los estándares de la web semántica y que están listos para ser consultados e integrados con otras fuentes dentro de la arquitectura semántica propuesta.

Validación de Sintaxis RDF

- Se utilizó la herramienta rdf-validator para analizar los datos RDF generados y garantizar que cumplen con los estándares establecidos por la W3C.
- Este paso asegura que los datos RDF no contienen errores estructurales y que las propiedades, clases y relaciones están correctamente definidas.

Verificación de Relaciones

- Se comprueba que cada estación meteorológica incluya las propiedades necesarias según la ontología definida. Las propiedades verificadas incluyen:
 - Identificación única mediante el código indsinop.
 - Ubicación geográfica en formato WKT (Well-Known Text).
 - Provincia a la que pertenece (propiedad locatedInProvince).
 - Nombre de la estación (propiedad stationName).
- También se verifica que las estaciones están correctamente asociadas a su clase principal WeatherStation y que cumplen con las relaciones definidas en la ontología.

Pruebas de Consultas SPARQL

Se realizan consultas SPARQL de prueba para garantizar que los datos RDF están correctamente estructurados y son accesibles. Estas pruebas incluyen:

- Consultas para recuperar la ubicación de las estaciones en un formato geoespacial.
- Consultas para listar estaciones por provincia y nombre.
- Consultas para verificar la presencia de todas las propiedades requeridas.

1. Validación de Sintaxis RDF de las estaciones meteorológicas

La ilustración 124 muestra la validación exitosa haciendo uso de RDF-Validator de las estaciones meteorológicas en formato LOD.

The screenshot shows the 'RDF Validation Service' interface. It includes a navigation menu with links like 'Skip Navigation', 'Home', 'Documentation', and 'Feedback'. Below this, there's a 'Jump To:' section with links for 'Source', 'Triples', 'Messages', 'Graph', 'Feedback', and 'Back to Validator Input'. The main section is titled 'Validation Results' and states 'Your RDF document validated successfully.' Below this, it shows 'Triples of the Data Model' as a table with 16 rows, each representing a triple from the dataset.

Number	Subject	Predicate	Object
1	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://aemet.linkeddata.es/ontology#indsinop	"6293X"
2	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://www.opengis.net/ont/geosparql#WktLiteral	"POINT (-2.701666 36.686947)""http://"
3	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#codigoINE	"4"
4	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://aemet.linkeddata.es/ontology#locatedInProvince	"ALMERIA"
5	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://aemet.linkeddata.es/ontology#stationName	"ROQUELAS DE MAR"
6	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#subclassOf	"http://aemet.linkeddata.es/ontology#var#Ter"
7	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	"http://aemet.linkeddata.es/ontology#"
8	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://aemet.linkeddata.es/ontology#indsinop	"C4361"
9	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://www.opengis.net/ont/geosparql#WktLiteral	"POINT (-16.405556 28.32639)""http://"
10	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#codigoINE	"58"
11	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://aemet.linkeddata.es/ontology#locatedInProvince	"STA. CRUZ DE TENERIFE"
12	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://aemet.linkeddata.es/ontology#stationName	"CITFAGRO 54 TOPONEGRO"
13	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#subclassOf	"http://aemet.linkeddata.es/ontology#var#Ter"
14	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	"http://aemet.linkeddata.es/ontology#"
15	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://aemet.linkeddata.es/ontology#indsinop	"S103E"
16	http://nan.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#6293X	http://www.opengis.net/ont/geosparql#WktLiteral	"POINT (-3.256944 37.158337)""http://"

Ilustración 124: Validación exitosa del RDF de estaciones meteorológicas

2. Verificación en Virtuoso

Pruebas de Consultas SPARQL

En el listado 49, se muestra un ejemplo de consulta SPARQL para verificar la información de datos de estaciones meteorológicas almacenada en Virtuoso:

```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX esadm: <http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#>
PREFIX estacionesAemet: <http://aemet.linkeddata.es/ontology#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
```



```
SELECT ?station ?stationName ?codigoINE ?province ?coordinates
WHERE {

?station estacionesAemet:stationName ?stationName ;
      esadm:codigoINE ?codigoINE ;
      estacionesAemet:locatedInProvince ?province ;
      geo:wktLiteral ?coordinates .
}
```

Listado 49: Consulta SPARQL para la obtención de datos de estaciones meteorológicas.

La ilustración 125 muestra los resultados tras la ejecución de la consulta de obtención de datos de estaciones meteorológicas.

station	stationName	codigoINE	province	coordinates
http://map.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#9550c	"ANDORRA, HORCALIANA"	"44"	"TERUEL"	"POINT(-0.4077778 40.974445)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
http://map.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#0002i	"VANDELLÓS "	"43"	"TARRAGONA"	"POINT(0.8713889 40.958057)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
http://map.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#00098	"ALFORJA"	"43"	"TARRAGONA"	"POINT(0.963333 41.21389)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
http://map.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#0016A	"REUS AEROPUERTO"	"43"	"TARRAGONA"	"POINT(1.1636110544205 41.145000457764)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
http://map.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#00168	"REUS (CENTRE LECTURA)"	"43"	"TARRAGONA"	"POINT(1.1088889 41.154167)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
http://map.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#00348	"VALLS"	"43"	"TARRAGONA"	"POINT(1.2008334 41.293056)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
http://map.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#0042v	"TARRAGONA "	"43"	"TARRAGONA"	"POINT(1.2491667 41.123886)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
http://map.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#0061X	"PONTONS"	"8"	"BARCELONA"	"POINT(1.5191667 41.416946)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
http://map.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#00608	"VILAFRANCA DEL PENEDÉS"	"8"	"BARCELONA"	"POINT(1.6769445 41.330276)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
http://map.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#0073X	"STIGES"	"8"	"BARCELONA"	"POINT(1.8525001 41.24389)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
http://map.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#0076	"BARCELONA AEROPUERTO"	"8"	"BARCELONA"	"POINT(2.069999932428 41.292778015137)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>
http://map.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#00928	"BERGA"	"8"	"BARCELONA"	"POINT(1.8575001 42.191387)""<http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral>

Ilustración 125: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de datos de estaciones meteorológicas

Análisis de resultados

El proceso de integración de los datos de estaciones meteorológicas permite que esta información sea consultable y relacionada con otras fuentes de datos dentro de la arquitectura semántica propuesta. Este enfoque facilita la interoperabilidad de los datos y su utilización en análisis avanzados, proporcionando un valor significativo para aplicaciones relacionadas con la movilidad, la seguridad vial y la planificación de emergencias. Los principales beneficios obtenidos son:

1. Consultar detalles de las estaciones meteorológicas:

- Recuperar información sobre la ubicación geográfica de las estaciones en formato WKT (Well-Known Text), su nombre, código insinop, y la provincia a la que pertenecen.
- Facilitar análisis geoespaciales y obtener información sobre la distribución y cobertura de las estaciones en el territorio.

2. Relacionar estaciones meteorológicas con otras fuentes de información:

- Analizar cómo las condiciones meteorológicas observadas en estas estaciones afectan incidentes de tráfico, rutas de transporte.
- Combinar datos meteorológicos con infraestructura vial, como carreteras y electrolineras, para enriquecer los análisis de impacto en la movilidad.

3. Realizar consultas federadas:

- Integrar los datos de las estaciones meteorológicas con información de otras fuentes, como incidentes de tráfico, electrolineras y datos geoespaciales de LinkedGeoData.
- Proporcionar un contexto más rico para los análisis, como la identificación de estaciones meteorológicas cercanas a zonas afectadas por incidentes o condiciones adversas.

Contribuciones del Modelo RDF

El modelo RDF generado organiza y enriquece la información de las estaciones meteorológicas, alineándose con los estándares de la web semántica y facilitando:

- La interoperabilidad de los datos meteorológicos con otras fuentes de información.
- La ejecución de análisis avanzados que consideran tanto el contexto meteorológico como el geoespacial.
- La posibilidad de integrar estos datos con algoritmos predictivos o sistemas inteligentes para optimizar la movilidad y la seguridad vial.

Este proceso demuestra la utilidad de los datos meteorológicos semantizados como una base sólida para análisis contextual, simulaciones y aplicaciones avanzadas en dominios relacionados con la movilidad y la sostenibilidad.

7.6.2 Observaciones meteorológicas

Como en el caso de las estaciones meteorológicas, en esta sección se describen los resultados RDF generados tras el proceso de integración y semantización de las observaciones meteorológicas proporcionadas por AEMET.

El RDF generado organiza y enriquece la información de las observaciones meteorológicas, permitiendo una representación detallada de las propiedades ambientales registradas por las estaciones. Este modelo RDF incluye información clave como:

- Identificación única de cada observación mediante su código indsino.
- Variables meteorológicas como temperatura, humedad, precipitación, presión y velocidad del viento, almacenadas como propiedades semánticas.
- Ubicación geográfica de la observación en formato WKT (Well-Known Text) para su integración en análisis geoespaciales.
- Relación de la observación con la estación meteorológica que la registra, ampliando el contexto y las posibilidades de análisis.

A continuación, en el listado 50, se muestra un fragmento representativo del RDF resultante de la integración.

```
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:xyz="http://sparql.xyz/facade-x/data/"
  xmlns:estacionesAemetObserv="http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#"
  xmlns:estaciones="http://nap.dgt.es/recursos/estaciones#"
  xmlns:dv="http://rdf.data-vocabulary.org/#"
  xmlns:geo="http://www.opengis.net/ont/geosparql#"
  xmlns:fx="http://sparql.xyz/facade-x/ns/"
  xmlns:geof="http://www.opengis.net/def/function/geosparql/"
  xmlns:estacionesAemet="http://aemet.linkeddata.es/ontology#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >
  <rdf:Description rdf:about="http://nap.dgt.es/recursos/observacionesMeteorologicas#7012C">
    <estacionesAemetObserv:HumidityAmbientProperty
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#double">80.0</estacionesAemetObserv:HumidityAmbientProperty>
    <estacionesAemetObserv:PrecipitationAmbientProperty
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#double">0.0</estacionesAemetObserv:PrecipitationAmbientProperty>
    <estacionesAemetObserv:WindAmbientProperty
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#double">2.0</estacionesAemetObserv:WindAmbientProperty>
    <estacionesAemetObserv:TemperatureAmbientProperty
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#double">26.8</estacionesAemetObserv:TemperatureAmbientProperty>
    <estacionesAemet:ubi>CARTAGENA</estacionesAemet:ubi>
```

```
<geo:wktLiteral rdf:datatype="http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral">POINT(-0.987775
37.601116)</geo:wktLiteral>
<estacionesAemet:indsinop>7012C</estacionesAemet:indsinop>
<rdf:type>http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation</rdf:type>
</rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Listado 50: Ejemplo instancia de observaciones meteorológicas asociadas a una estación en AEMET.

Validación de los Datos RDF de las Observaciones Meteorológicas

Antes de cargar los datos de observaciones meteorológicas en el servidor Virtuoso, se realizó un proceso exhaustivo de validación para garantizar la calidad, consistencia y usabilidad de los datos generados. Este paso es esencial para asegurar que los datos RDF cumplen con los estándares de la web semántica y que están listos para ser consultados, integrados y utilizados en análisis avanzados dentro de la arquitectura semántica propuesta.

A continuación, se describen los diferentes procesos de validación de la información obtenida tras el proceso de semantización.

Validación de Sintaxis RDF

- Se utiliza la herramienta `rdf-validator` para analizar los datos RDF generados y verificar que cumplen con los estándares establecidos por la W3C.
- Este paso garantiza que:
 - Los datos RDF no contienen errores estructurales.
 - Las propiedades, clases y relaciones están correctamente definidas.
 - Los valores de las propiedades cumplen con los tipos de datos especificados (como `xsd:double` para propiedades numéricas).

Verificación de Relaciones

- Se comprueba que cada observación meteorológica incluye las propiedades requeridas según la ontología definida. Las propiedades verificadas incluyen:
 - **Identificación única:** Cada observación tiene un identificador único basado en el código `indsinop`.
 - **Propiedades meteorológicas:**
 - Temperatura ambiente (`TemperatureAmbientProperty`).
 - Humedad relativa (`HumidityAmbientProperty`).
 - Velocidad del viento (`WindAmbientProperty`).
 - Precipitación acumulada (`PrecipitationAmbientProperty`).
 - Presión atmosférica, cuando esté disponible (`PressureAmbientProperty`).
 - **Ubicación geográfica:** Cada observación incluye la posición en formato WKT (`geo:wktLiteral`).
 - **Ubicación administrativa:** Se incluye el contexto de la localidad (`ubi`) asociado a cada observación.
- También se verifica que cada observación esté correctamente asociada a su clase principal `Observation` dentro de la ontología definida.

Pruebas de Consultas SPARQL

- Se llevan a cabo pruebas mediante consultas SPARQL para garantizar que los datos RDF están correctamente estructurados y son accesibles. Estas pruebas incluyen:

- Consultas para recuperar observaciones específicas por identificador único (indsinop).
- Consultas para listar observaciones por localidad (ubi) o región geográfica.
- Consultas para verificar los valores de las propiedades meteorológicas, como temperaturas máximas y mínimas, o presencia de precipitación.
- Consultas geoespaciales para identificar observaciones cercanas a puntos específicos.

1. Validación de Sintaxis RDF de las observaciones meteorológicas

La ilustración 126 muestra la validación exitosa haciendo uso de RDF-Validator de las observaciones meteorológicas en formato LOD.

The screenshot shows the W3C RDF Validation Service interface. At the top, there's a navigation bar with links like 'Skip Navigation', 'Home', 'Documentation', and 'Feedback'. Below that, a 'Jump To:' section lists 'Source', 'Index', 'Messages', 'Graph', 'Feedback', and 'Back to Validator Input'. The main section is titled 'Validation Results' and states 'Your RDF document validated successfully.' Below this, a table titled 'Triples of the Data Model' displays validation results for various triples. The table has three columns: 'Number/Subject', 'Predicate', and 'Object'. It lists 22 triples, each with a unique identifier and its corresponding URI and value.

Number/Subject	Predicate	Object
1	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#humidityAmbientProperty	0.0
2	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#precipitationAmbientProperty	0.0
3	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#windAmbientProperty	2.0
4	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#temperatureAmbientProperty	24.8
5	http://aemet.linkeddata.es/ontology#ubs	"CATAGUA"
6	http://www.opengis.net/ont/geosparql#WktLiteral	"POINT(-0.987775 37.601116)"
7	http://aemet.linkeddata.es/ontology#indsinop	"7012C"
8	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	"http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation"
9	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#humidityAmbientProperty	70.0
10	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#precipitationAmbientProperty	0.0
11	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#windAmbientProperty	2.0
12	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#temperatureAmbientProperty	23.5
13	http://aemet.linkeddata.es/ontology#ubs	"ALFARDEIRE"
14	http://www.opengis.net/ont/geosparql#WktLiteral	"POINT(-5.20306 36.6325)"
15	http://aemet.linkeddata.es/ontology#indsinop	"6043X"
16	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	"http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation"
17	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#humidityAmbientProperty	66.0
18	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#precipitationAmbientProperty	0.0
19	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#pressureAmbientProperty	915.7
20	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#windAmbientProperty	2.9
21	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#temperatureAmbientProperty	19.8
22	http://aemet.linkeddata.es/ontology#ubs	"ZOB/VZGDR" "ZL" "ZMRD"

Ilustración 126: Validación exitosa del RDF de observaciones meteorológicas

2. Pruebas de Consultas SPARQL

A continuación, en el listado 51, se muestra un ejemplo de consulta SPARQL para verificar la información almacenada en Virtuoso de observaciones meteorológicas.

```

PREFIX prov_colin: <http://nap.dgt.es/territorio/adm_unit#>
PREFIX adm_unit: <http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#>
PREFIX estaciones: <http://aemet.linkeddata.es/ontology#>
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX aemet_observ: <http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#>
Select *
where
{
    ?obsevacion estaciones:indsinop ?idema;
    estaciones:ubi ?ubicacion;
    geo:wktLiteral ?coordenadasEstacion;
    aemet_observ:WindAmbientProperty ?velViento;
    aemet_observ:TemperatureAmbientProperty ?temperature.
    OPTIONAL{?obsevacion aemet_observ:Visibility ?vis.}
    OPTIONAL{?obsevacion aemet_observ:PressureAmbientProperty ?pres.}
    OPTIONAL{?obsevacion aemet_observ:PrecipitationAmbientProperty ?prec.}
    OPTIONAL{?obsevacion aemet_observ:HumidityAmbientProperty ?hr.}
    OPTIONAL{?obsevacion aemet_observ:SnowDepth ?nieve.}
}

```

Listado 51: Consulta SPARQL para la obtención de observaciones meteorológicas.

La ilustración 127 muestra los resultados tras la ejecución de la consulta de obtención de datos de observaciones meteorológicas.

[illegible]

Ilustración 127: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de datos de observaciones meteorológicas

Análisis de los resultados obtenidos

El proceso de integración de los datos de observaciones meteorológicas permite que esta información sea consultable y vinculada con otras fuentes de datos dentro de la arquitectura semántica propuesta. Este enfoque facilita la interoperabilidad de los datos y su uso en análisis avanzados, proporcionando un valor significativo para aplicaciones relacionadas con la movilidad, la gestión de emergencias y el análisis ambiental. Los principales beneficios obtenidos son:

Consultar detalles de las observaciones meteorológicas:

- **Recuperar datos específicos de las observaciones:**
 - Acceder a propiedades como temperatura ambiente, humedad relativa, precipitación acumulada, presión atmosférica y velocidad del viento.
 - Obtener la ubicación geográfica precisa de cada observación en formato WKT (Well-Known Text) para análisis geoespaciales.
 - Relacionar cada observación con el identificador único de la estación meteorológica que la generó (indsinop).
- **Facilitar análisis temporales y espaciales:**
 - Analizar cómo varían las condiciones meteorológicas en diferentes regiones y su impacto en el entorno.
 - Estudiar tendencias en las propiedades meteorológicas registradas en un área específica.

Relacionar observaciones meteorológicas con otras fuentes de información:

- **Impacto en la movilidad y la seguridad vial:**
 - Evaluar cómo las condiciones meteorológicas observadas (como alta humedad, fuertes vientos o precipitaciones intensas) afectan el comportamiento del tráfico y la planificación de rutas.

- Relacionar las observaciones con incidentes de tráfico y carreteras cercanas para enriquecer los análisis y prever situaciones críticas.
- **Integración con infraestructura vial y electrolineras:**
 - Combinar los datos meteorológicos con datos de carreteras, electrolineras y otros servicios, como estaciones de carga, para ofrecer un análisis integral del entorno.

Realizar consultas federadas:

- **Integración con datos externos:**
 - Combinar las observaciones meteorológicas con otras fuentes, como incidentes de tráfico, datos geospaciales de LinkedGeoData, para proporcionar un contexto más rico y análisis más completos.
- **Identificar observaciones en áreas clave:**
 - Consultar datos meteorológicos relevantes en zonas específicas, como áreas afectadas por incidentes o con condiciones climáticas adversas.

Contribuciones del Modelo RDF

El modelo RDF generado organiza y enriquece la información de las observaciones meteorológicas, alineándose con los estándares de la web semántica y facilitando:

- **Interoperabilidad de los datos meteorológicos:**
 - Permite la integración de las observaciones con otras fuentes de información en la arquitectura semántica, mejorando la cohesión y el alcance de los análisis.
- **Ejecución de análisis avanzados:**
 - Facilita estudios que combinan datos meteorológicos, geospaciales y de tráfico, proporcionando un contexto más amplio y útil para la toma de decisiones.
- **Preparación para predicción y simulación:**
 - Posibilita la integración de estos datos con sistemas predictivos basados en inteligencia artificial, lo que puede optimizar la movilidad, la seguridad vial y la respuesta a emergencias climáticas.

Este proceso demuestra la utilidad de los datos de observaciones meteorológicas semantizados como una base sólida para análisis contextual, estudios geospaciales y aplicaciones avanzadas en los dominios de la movilidad, la sostenibilidad y la gestión ambiental.

7.7 Resultados RDF de la ejecución del proceso de integración de todas las fuentes y reglas SWRL

En esta sección se presentan los resultados RDF generados tras la integración de datos de incidentes de tráfico con información meteorológica proporcionada por AEMET, junto con las inferencias aplicadas mediante reglas definidas en la ontología. Este proceso enriquece los

datos, permitiendo analizar incidentes en el contexto de condiciones meteorológicas específicas y generar conocimiento adicional, como la detección de riesgos de hielo en carreteras.

El RDF resultante vincula cada incidente con atributos clave, como su severidad, probabilidad de ocurrencia, características meteorológicas observadas (temperatura, humedad, viento, entre otros) y su ubicación geográfica representada mediante geometrías WKT. Las estaciones meteorológicas relacionadas se identifican por su código, nombre y ubicación administrativa, garantizando una integración completa y alineada con los principios de los Datos Abiertos Enlazados (LOD).

A continuación, en el listado 52, se muestra un ejemplo RDF que describe un incidente en el que se ha inferido la propiedad de riesgo de hielo tras la aplicación de la regla correspondiente, detallada en la sección 6.9.1 de esta tesis. El ejemplo está enriquecido con datos meteorológicos y geográficos relevantes, destacando la interoperabilidad y el valor añadido que aporta el enfoque semántico implementado en la arquitectura.

```
<NamedIndividual
rdf:about="https://nap.dgt.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409">
  <rdf:type rdf:resource="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#MaintenanceWorks"/>
  <dtx_srti:hasProbabilityOfOccurrence
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#certain"/>
  <dtx_srti:hasSeverityEnum
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#highest"/>
  <Observation:HumidityAmbientProperty
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal">90.0</Observation:HumidityAmbientProperty>
  <Observation:PrecipitationAmbientProperty
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal">0.0</Observation:PrecipitationAmbientProperty>
  <Observation:TemperatureAmbientProperty rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal">-
4.6</Observation:TemperatureAmbientProperty>
  <Observation:WindAmbientProperty
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal">0.0</Observation:WindAmbientProperty>
  <dtx_srti:riesgoHielo
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean">true</dtx_srti:riesgoHielo>
  <ontology:indsinop>3100B</ontology:indsinop>
  <ontology:locatedInProvince>MADRID</ontology:locatedInProvince>
  <ontology:stationName>ARANJUEZ</ontology:stationName>
  <ontology:ubi>ARANJUEZ</ontology:ubi>
  <dtx_srti:admArea
rdf:resource="https://nap.dgt.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/toledo
"/>
  <dtx_srti:hasRoadNumber
rdf:resource="https://nap.dgt.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/roads/CarreterasRCE/N-400"/>
  <dtx_srti:hasStation rdf:resource="http://nap.dgt.es/recursos/estacionesMeteorologicas#3100B"/>
  <dtx_srti:pointDestinoX rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal">-
3.6074991</dtx_srti:pointDestinoX>
  <dtx_srti:pointDestinoY
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal">39.993732</dtx_srti:pointDestinoY>
  <dtx_srti:pointOrigenX rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal">-
3.6074991</dtx_srti:pointOrigenX>
  <dtx_srti:pointOrigenY
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal">39.993732</dtx_srti:pointOrigenY>
  <territorio:codigoINE
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer">45</territorio:codigoINE>
  <territorio:codigoINEStation
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer">28</territorio:codigoINEStation>
  <territorio:provinciaSR
rdf:resource="https://nap.dgt.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/toledo
"/>
  <geosparql:hasGeometry>LINESTRING(-3.6074991226196 39.993732452393, -3.6074991226196
39.993732452393)</geosparql:hasGeometry>
</NamedIndividual>
```

Listado 52: Ejemplo de instancia de incidentes de tráfico enlazada con información meteorológica de AEMET e información inferida de riesgos meteorológicos.

7.7.1 Validación de los Datos RDF de Incidencias Inferidas

Antes de cargar los datos RDF inferidos sobre incidencias en el servidor Virtuoso, se lleva a cabo un proceso de validación exhaustivo para garantizar su calidad, consistencia y conformidad con

los estándares de la web semántica. Este paso asegura que los datos están correctamente estructurados y preparados para su consulta e integración con otras fuentes en la arquitectura semántica.

Validación de Sintaxis RDF

Se utiliza la herramienta RDF Validator para analizar los datos RDF generados y verificar que cumplen con los estándares establecidos por la W3C. Este paso garantiza que las propiedades, relaciones y clases estén correctamente definidas y libres de errores estructurales.

Verificación de Relaciones

Se comprueba que cada incidencia inferida incluye las propiedades necesarias según la ontología definida, tales como:

- **Información básica del incidente:** Severidad, probabilidad de ocurrencia y tipo de incidencia.
- **Condiciones meteorológicas:** Temperatura, humedad, viento y precipitaciones observadas.
- **Inferencia de riesgos:** Propiedades de riesgos generadas mediante la ejecución de reglas SWRL.
- **Ubicación y relaciones administrativas:** Asociación de cada incidencia con su respectiva unidad administrativa y ubicación geográfica en formato WKT.
- **Vinculación con estaciones meteorológicas:** Relación directa entre las condiciones inferidas y la estación meteorológica correspondiente.

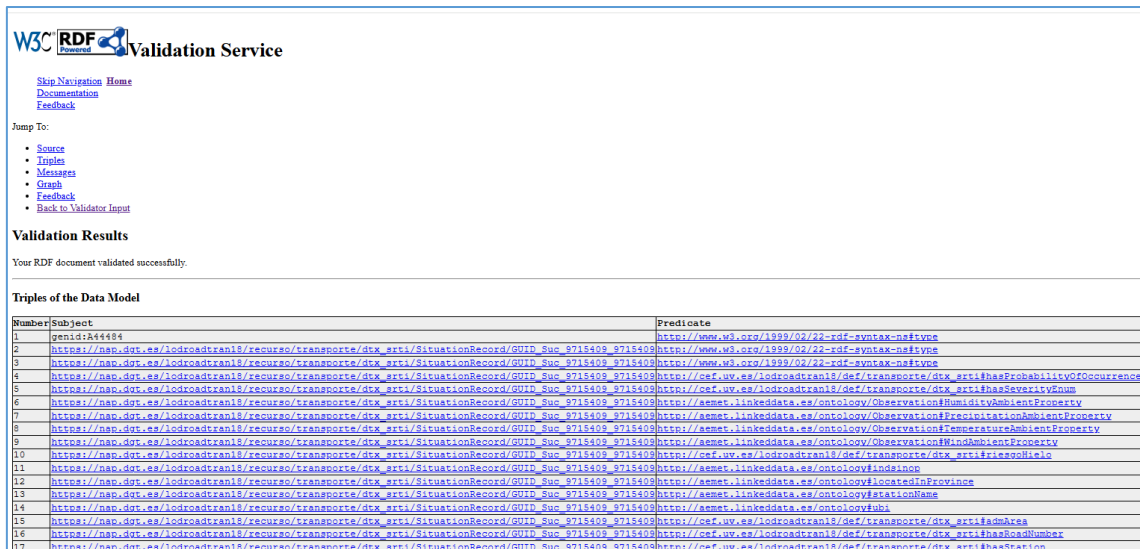
Pruebas de Consultas SPARQL

Se realizan consultas SPARQL de prueba para garantizar que los datos RDF están correctamente estructurados y son accesibles. Estas consultas incluyen:

- Recuperación de detalles sobre las incidencias inferidas, incluyendo su severidad, probabilidad y condiciones meteorológicas.
- Verificación de la vinculación entre las incidencias y las estaciones meteorológicas relacionadas.
- Listado de ubicaciones geográficas asociadas a las incidencias.

1. Validación de Sintaxis RDF

La ilustración 128 muestra la validación exitosa de los datos RDF inferidos utilizando RDF Validator.



The screenshot shows the W3C RDF Validation Service interface. At the top, there's a navigation bar with links like 'Skip Navigation', 'Home', 'Documentation', and 'Feedback'. Below this, a 'Jump To:' section lists links for 'Source', 'Triples', 'Messages', 'Graph', 'Feedback', and 'Back to Validator Input'. The main section is titled 'Validation Results' and states 'Your RDF document validated successfully.' Below this, a table titled 'Triples of the Data Model' displays 17 rows of RDF triples. Each row contains a 'Number', a 'Subject', and a 'Predicate'.

Number	Subject	Predicate
1	genid:A44484	
2	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type
3	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type
4	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://cef.uv.es/ldroadtran18/def/transporte/dtx_srti#hasProbabilityOfOccurrence
5	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://cef.uv.es/ldroadtran18/def/transporte/dtx_srti#hasSeverityEnum
6	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#HumidityAmbientProperty
7	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#PrecipitationAmbientProperty
8	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#TemperatureAmbientProperty
9	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#WindAmbientProperty
10	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://cef.uv.es/ldroadtran18/def/transporte/dtx_srti#hasRoadNumber
11	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://aemet.linkeddata.es/ontology#indsinop
12	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://aemet.linkeddata.es/ontology#locatedInProvince
13	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://aemet.linkeddata.es/ontology#stationName
14	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://aemet.linkeddata.es/ontology#ubi
15	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://cef.uv.es/ldroadtran18/def/transporte/dtx_srti#hasArea
16	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://cef.uv.es/ldroadtran18/def/transporte/dtx_srti#hasRoadNumber
17	https://nsp.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_9715409_9715409	http://cef.uv.es/ldroadtran18/def/transporte/dtx_srti#hasStation

Ilustración 128: Validación exitosa del RDF de incidentes de tráfico con información meteorológica y aplicación de reglas de inferencia.

2. Verificación en Virtuoso

Las consultas SPARQL se utilizan para validar que los datos RDF cargados en Virtuoso son consultables y completos. A continuación, se presenta un ejemplo de consulta SPARQL en el listado 53.

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX dtx_srti: <http://cef.uv.es/ldroadtran18/def/transporte/dtx_srti#>
PREFIX Observation: <http://aemet.linkeddata.es/ontology/Observation#>
PREFIX ontology: <http://aemet.linkeddata.es/ontology#>
PREFIX territorio: <http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#>
PREFIX geosparql: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>

SELECT
*
WHERE {{
  GRAPH <http://localhost:8890/DATEX/OLAP> {{
    ?situationRecord rdf:type ?type .
    FILTER(?type != <http://www.w3.org/2002/07/owl#NamedIndividual>) # Excluye este tipo
    ?situationRecord dtx_srti:hasProbabilityOfOccurrence ?probabilityOfOccurrence .
    ?situationRecord dtx_srti:hasSeverityEnum ?severityEnum .

    # Propiedades inferidas
    OPTIONAL {{ ?situationRecord dtx_srti:riesgoHielo ?riesgoHielo . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord dtx_srti:vientoFuerte ?vientoFuerte . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord dtx_srti:riesgoNieve ?riesgoNieve . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord dtx_srti:riesgoLluvia ?riesgoLluvia . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord dtx_srti:bajaVisibilidadCritica ?bajaVisibilidadCritica . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord dtx_srti:presionBaja ?presionBaja . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord dtx_srti:presionAlta ?presionAlta . }}

    #Atributos meteorológicos
    OPTIONAL {{ ?situationRecord Observation:HumidityAmbientProperty ?humidity . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord Observation:PrecipitationAmbientProperty ?precipitation . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord Observation:TemperatureAmbientProperty ?temperature . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord Observation:WindAmbientProperty ?wind . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord Observation:PressureAmbientProperty ?pressure . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord Observation:Visibility ?visibility . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord Observation:SnowDepth ?snowDepth . }}

    OPTIONAL {{ ?situationRecord ontology:indsinop ?indsinop . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord ontology:locatedInProvince ?province . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord ontology:stationName ?stationName . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord ontology:ubi ?ubi . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord dtx_srti:admArea ?admArea . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord dtx_srti:hasRoadNumber ?roadLiteral . FILTER(isLiteral(?roadLiteral)) }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord dtx_srti:hasRoadNumber ?roadURI . FILTER(isIRI(?roadURI)) }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord dtx_srti:hasStation ?station . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord dtx_srti:pointDestinoX ?pointDestinoX . }}
    OPTIONAL {{ ?situationRecord dtx_srti:pointDestinoY ?pointDestinoY . }}
  }}
}

```

```
OPTIONAL { { ?situationRecord dtx_srti:pointOrigenX ?pointOrigenX . } }
OPTIONAL { { ?situationRecord dtx_srti:pointOrigenY ?pointOrigenY . } }
OPTIONAL { { ?situationRecord territorio:codigoINE ?codigoINE . } }
OPTIONAL { { ?situationRecord territorio:codigoINEStation ?codigoINEStation . } }
OPTIONAL { { ?situationRecord territorio:provinciaSR ?provinciaSR . } }
OPTIONAL { { ?situationRecord territorio:provinciaSR "{provincia}" . } }
OPTIONAL { { ?situationRecord geosparql:hasGeometry ?geometry . } }
} }
ORDER BY ?situationRecord
```

Listado 53: Consulta SPARQL la obtención de información incidentes de tráfico enlazada con información meteorológica de AEMET e información inferida de riesgos meteorológicos.

La ilustración 129 muestra los resultados de esta consulta, destacando la información inferida y vinculada.

provSRName	roadNumber	riesgoHielo	vientoFuerte	riesgoHieve	riesgoLuvia	bajaVisibilidad	presionBaja	presionAlta	humidity	precipitation	temperature	wind	pressure	visibility	SnowDepth	indsinop	province	stationName	ubi
lugo	"110-722"	No	No	No	No	No	No	No	62	0	3.8	3.2	"N/A"	"N/A"	"N/A"	"1522X"	"LUGO"	"BECERREA"	"BECERREA-PENAMAZOR"
lugo	"110-933"	No	No	No	No	No	No	No	68	0	4.1	1.7	"N/A"	"N/A"	"N/A"	"1207E"	"LUGO"	"CERVANTES"	"CERVANTES-BADAL"
asturias	"76-625"	No	No	No	No	No	No	No	98	0	8.9	8.1	"N/A"	"N/A"	"N/A"	"1186P"	"ASTURIAS"	"AMIEVA, PANIZALES"	"AMIEVA, PANIZALES"
huesca	"A-1227"	SI	No	No	No	No	No	No	188	0	-2	8.3	964.4	"N/A"	"N/A"	9898	"HUESCA, AEROPUERTO"	"HUESCA, AEROPUERTO"	"HUESCA, AEROPUERTO"
huesca	"A-2238"	SI	No	No	No	No	No	No	94	0	-8.3	8.3	"N/A"	"N/A"	"N/A"	"9866C"	"HUESCA"	"BARASTRO"	"BARASTRO"
burgos	"80-556"	SI	No	No	No	No	No	No	97	0	-5.3	8	"N/A"	"N/A"	"N/A"	"9888C"	"ARABA/ALBUA"	"LALASTRA"	"LALASTRA"
burgos	"80-556"	SI	No	No	No	No	No	No	97	0	-5.3	8	"N/A"	"N/A"	"N/A"	"9888C"	"ARABA/ALBUA"	"LALASTRA"	"LALASTRA"
granada	"A-4825"	No	No	No	No	No	No	No	86	0	1.3	8.4	"N/A"	"N/A"	"N/A"	"5153X"	"GRANADA"	"GRANADA-CARTUSA"	"GRANADA-CARTUSA"
malaga	"A-7287"	No	No	No	No	No	No	No	67	0	11	3.6	1027.1	"N/A"	"N/A"	"6295X"	"MALAGA"	"TORROX"	"TORROX FARO"
malaga	"A-366"	No	No	No	No	No	No	No	84	0	7.1	8.8	"N/A"	"N/A"	"N/A"	"6127X"	"MALAGA"	"ALORA"	"ALORA LAS PELONAS"
malaga	"A-7878"	No	No	No	No	No	No	No	84	0	7.1	8.8	"N/A"	"N/A"	"N/A"	"6127X"	"MALAGA"	"ALORA"	"ALORA LAS PELONAS"
a-coruna	"GP-1601"	No	No	No	No	No	No	No	89	0	8.5	5.2	1088.3	18	"N/A"	1488	"A CORUÑA"	"FISTERRA"	"FISTERRA"
almeria	"A-134"	No	No	No	No	No	SI	No	96	0	8.3	1.1	937.2	4.8	"N/A"	"5047E"	"GRANADA"	"BADA"	"BADA CRUZ ROSA"
canaria-cruc-de-tenerez	"LP-1"	No	No	No	No	No	No	No	51	0	13.2	8.8	"N/A"	"N/A"	"N/A"	"C117A"	"STA. CRUZ DE TENEREZE"	"PUNTAGORDA"	"PUNTAGORDA"
asturias	"AP-66"	No	No	No	No	No	No	No	62	0	1.3	4.7	"N/A"	"N/A"	"N/A"	"1228D"	"ASTURIAS"	"PASARES-VALGRANDE"	"PASARES - VALGRANDE"

Ilustración 129: Resultados de la consulta SPARQL para la obtención de datos de incidentes integrados con información meteorológica e inferencias sobre riesgos climatológicos

Análisis de Resultados

El proceso de inferencia aplicado sobre el grafo RDF integrado representa un avance significativo en el ámbito de la gestión de datos semánticos para el análisis de incidentes de tráfico. Mediante el uso de reglas SWRL, se logra enriquecer los datos existentes generando nuevas tripletas RDF que aportan conocimiento derivado. Este enriquecimiento no solo refuerza la calidad de la información, sino que también habilita análisis más avanzados y contextualizados, alineados con un enfoque de investigación orientado a la seguridad vial y a la gestión inteligente del tráfico.

El modelo enriquecido permite la identificación de relaciones implícitas entre los datos, como la conexión entre incidentes de tráfico, condiciones meteorológicas adversas y características específicas de los tramos viales afectados. Por ejemplo, se derivan atributos adicionales para incidentes clasificados como "graves" o "riesgos", basados en factores como visibilidad reducida o presencia de condiciones climáticas extremas. Este tipo de inferencia no solo es útil para estudios descriptivos, sino que también abre la puerta a análisis predictivos en los que los patrones geoespaciales y temporales pueden ser utilizados para anticipar incidentes futuros.

Desde un punto de vista de investigación, el grafo RDF resultante se convierte en una herramienta clave para la exploración de hipótesis y la validación de teorías en el contexto de la gestión del tráfico. La representación semántica permite formular consultas complejas, como la identificación de zonas con alta siniestralidad bajo ciertas condiciones meteorológicas. Además, el modelo es altamente interoperable, lo que facilita su reutilización en otros proyectos de investigación o su integración con sistemas externos.

El enfoque semántico y el uso de reglas SWRL también refuerzan el rigor metodológico, ya que las inferencias están basadas en un conjunto predefinido de reglas lógicas que aseguran

consistencia y reproducibilidad en los resultados. La capacidad de representar tanto datos explícitos como derivados dentro del mismo grafo RDF subraya la robustez de este enfoque y su potencial para transformar grandes volúmenes de datos en conocimiento accionable.

En resumen, el proceso de inferencia no solo mejora la calidad de los datos disponibles, sino que también establece una base sólida para futuras investigaciones. Los resultados del grafo enriquecido ofrecen una visión más profunda y detallada del ecosistema de tráfico, potenciando tanto la capacidad de análisis como las oportunidades de desarrollo de nuevas líneas de investigación en el ámbito de la seguridad vial y la gestión inteligente del tráfico.

7.8 Resultados accesos a las APIs.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos al interactuar con las APIs desarrolladas en FastAPI, las cuales se conectan al triple store Virtuoso mediante consultas SPARQL para acceder a datos RDF semantizados. Las pruebas se realizaron utilizando Postman, un entorno de desarrollo que permite realizar peticiones HTTP y analizar las respuestas. Se incluyen capturas de pantalla representativas que ilustran la estructura de las consultas y los resultados obtenidos, destacando la relevancia de cada API en el marco de esta investigación.

7.8.1 Obtención de Resultados en el Acceso al API de Unidades Administrativas

La API de unidades administrativas permite acceder a la información jerárquica de municipios, provincias y comunidades autónomas registradas en el sistema. Las solicitudes realizadas a través de Postman incluyeron parámetros como códigos INE de la Comunidad Autónoma (ilustraciones 130 y 131). Las respuestas JSON devueltas presentan una estructura clara que describe la organización territorial, destacando atributos esenciales como población, superficie y relaciones administrativas. Esto muestra el valor de la API para aplicaciones de análisis geográfico, gestión administrativa y toma de decisiones basada en datos.

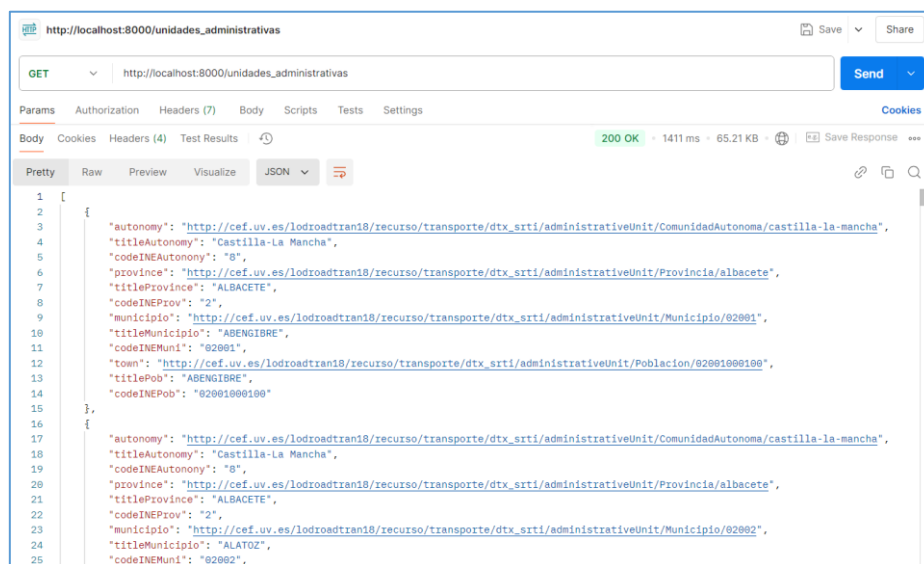


Ilustración 130: Resultado general API Unidades Administrativas en Postman

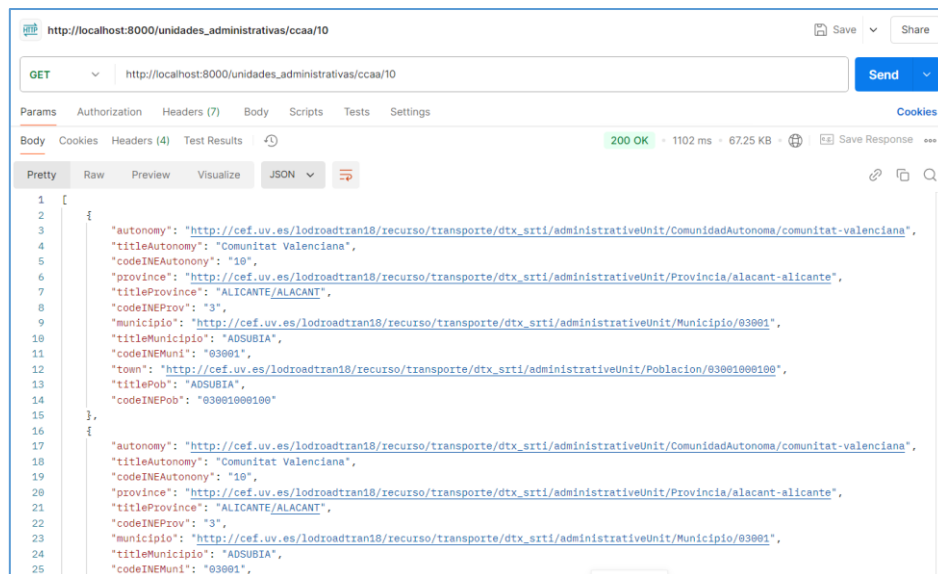


Ilustración 131: Resultado API Unidades Administrativas por comunidad autónoma en Postman

7.8.2 Obtención de resultados en el acceso al API de carreteras.

La API de carreteras permite consultar la infraestructura viaria registrada en el sistema, incluyendo información detallada de tramos de carretera y su relación con provincias y comunidades autónomas. Las peticiones enviadas a través de Postman incluyeron parámetros como provincias específicas (ilustraciones 132 y 133). Las respuestas JSON muestran la estructura de la red viaria, resaltando atributos clave como longitudes de tramos y clasificaciones administrativas, lo que subraya el potencial de la API para aplicaciones de gestión y análisis territorial.

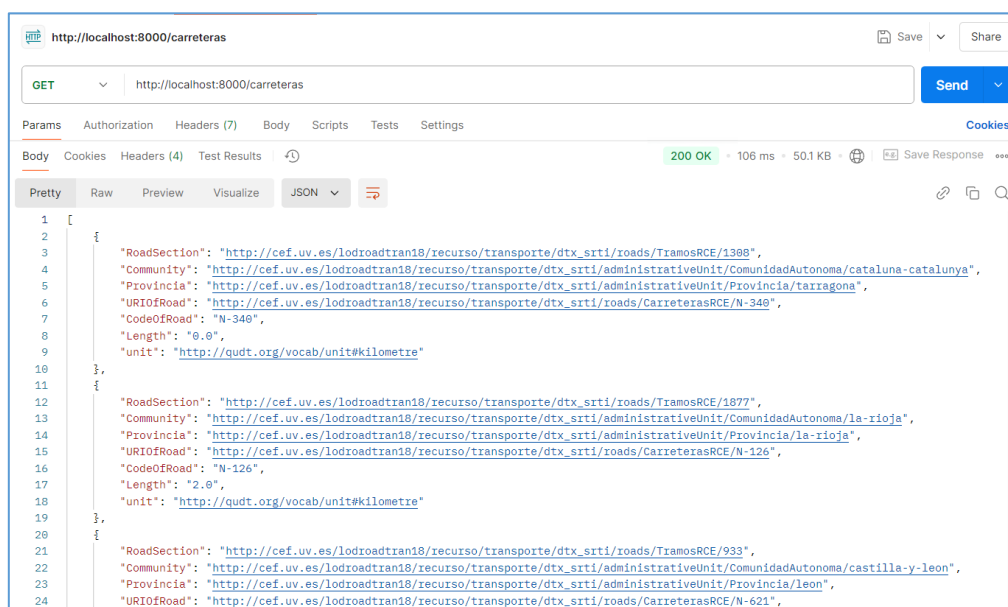


Ilustración 132: Resultado general API carreteras en Postman

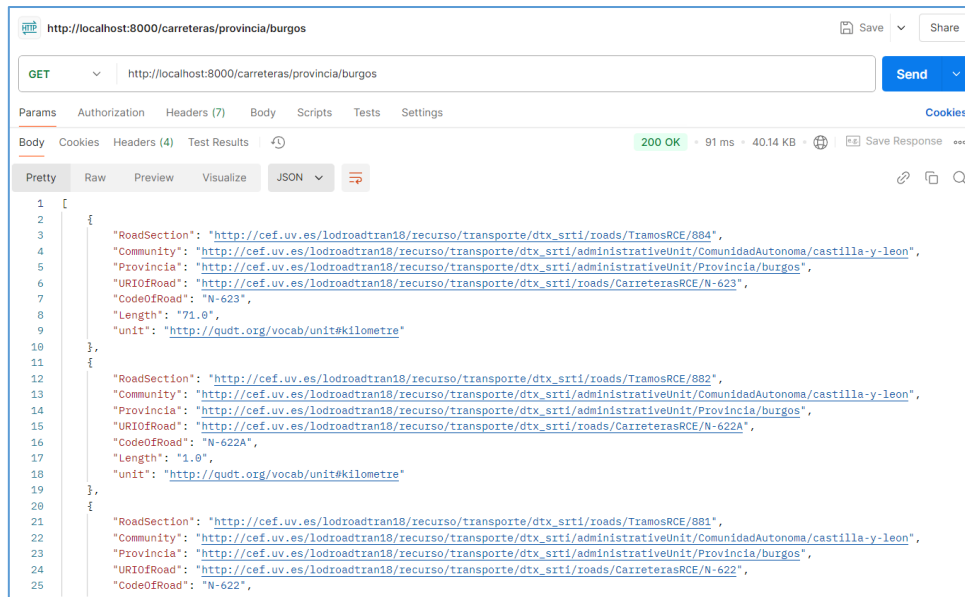


Ilustración 133: Resultado API carreteras por provincia en Postman

7.8.3 Obtención de resultados en el acceso al API de estaciones meteorológicas.

Esta API proporciona datos de estaciones meteorológicas registradas en el sistema, como su ubicación, identificadores y provincias asociadas. Las consultas realizadas en Postman incluyeron criterios de búsqueda por regiones y nombres de estaciones (ilustraciones 134 y 135).

Las respuestas JSON muestran detalles relevantes como el código de la estación, su ubicación geográfica y la provincia en la que se encuentra, permitiendo comprender el alcance del modelo semántico aplicado a datos meteorológicos.

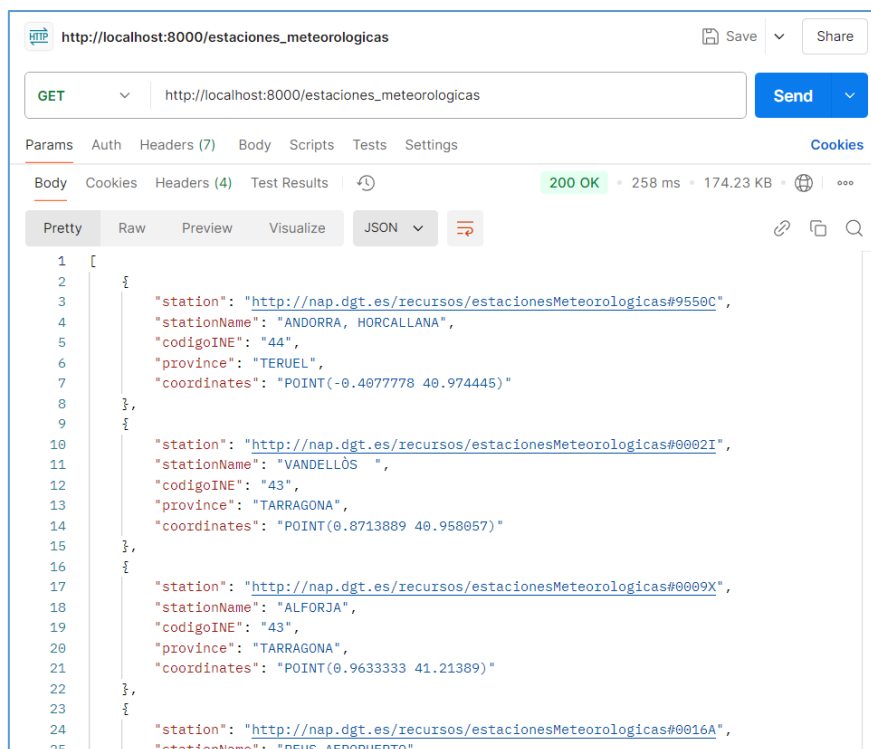


Ilustración 134: Resultado general API estaciones meteorológicas en Postman

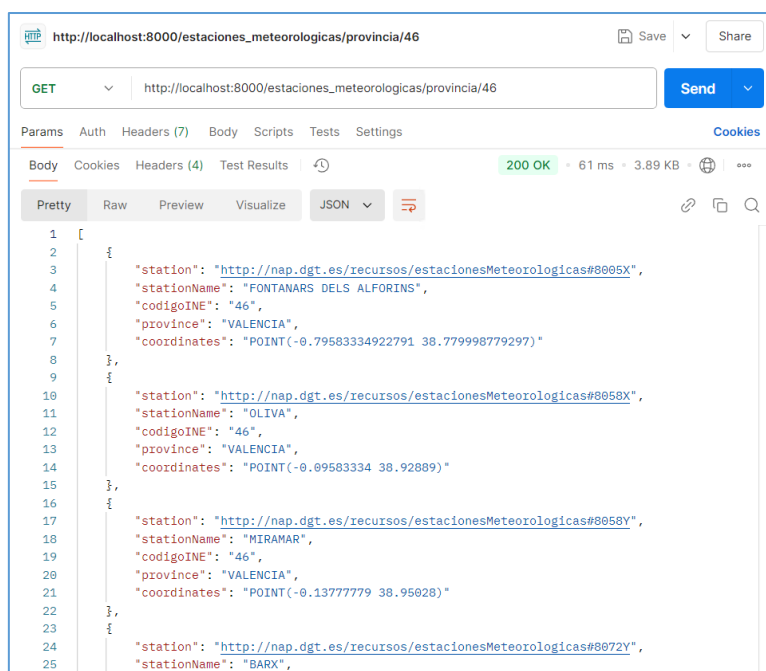


Ilustración 135: Resultado API estaciones meteorológicas por provincia en Postman

7.8.4 Obtención de resultados en el acceso al API de Observaciones de estaciones meteorológicas.

El acceso a esta API permite consultar observaciones meteorológicas en tiempo real, incluyendo variables como temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitaciones. Las pruebas realizadas en Postman emplearon parámetros como el identificador de la estación (ilustraciones 136 y 137). Las respuestas obtenidas incluyen datos detallados, lo que permite analizar y correlacionar eventos meteorológicos con incidentes de tráfico.

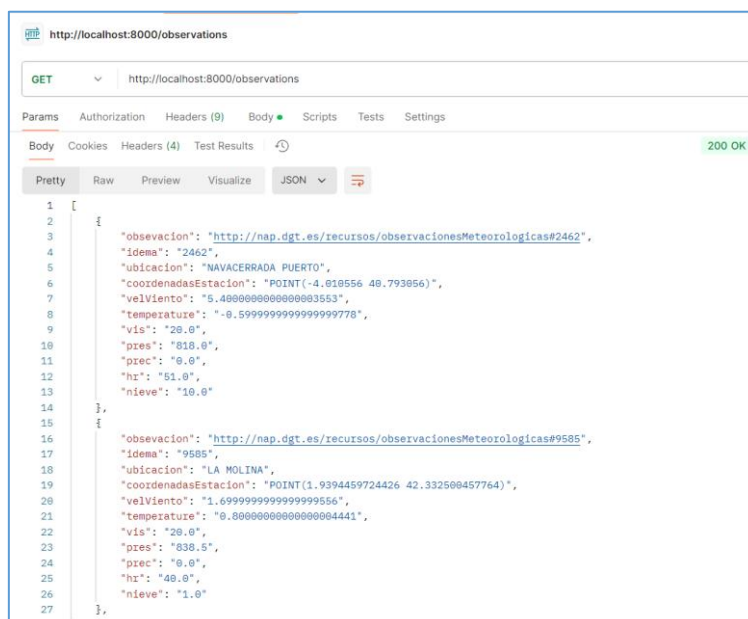


Ilustración 136: Resultado general API observaciones de estaciones meteorológicas en Postman

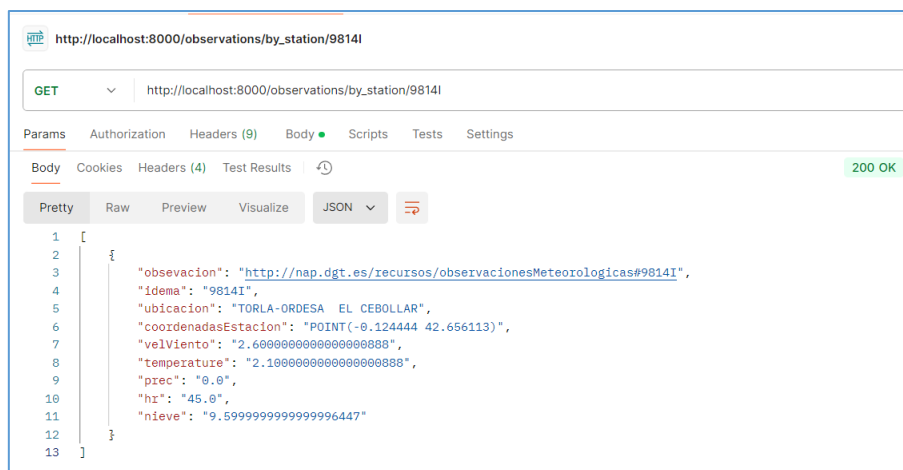


Ilustración 137: Resultado API observaciones de estaciones meteorológicas por estación en Postman

7.8.5 Obtención de resultados en el acceso al API de electrolineras.

La API de electrolineras proporciona información sobre estaciones de recarga para vehículos eléctricos, incluyendo su identificador, localización, operador y nombre. Las consultas ejecutadas en Postman incluyeron filtros por provincia (ilustraciones 138 y 139). Las respuestas JSON reflejan la estructura semántica de los datos, destacando atributos como el nombre de la estación, el número de puntos de recarga disponibles y la ubicación exacta, permitiendo evaluar la cobertura de infraestructuras de recarga en tiempo real.

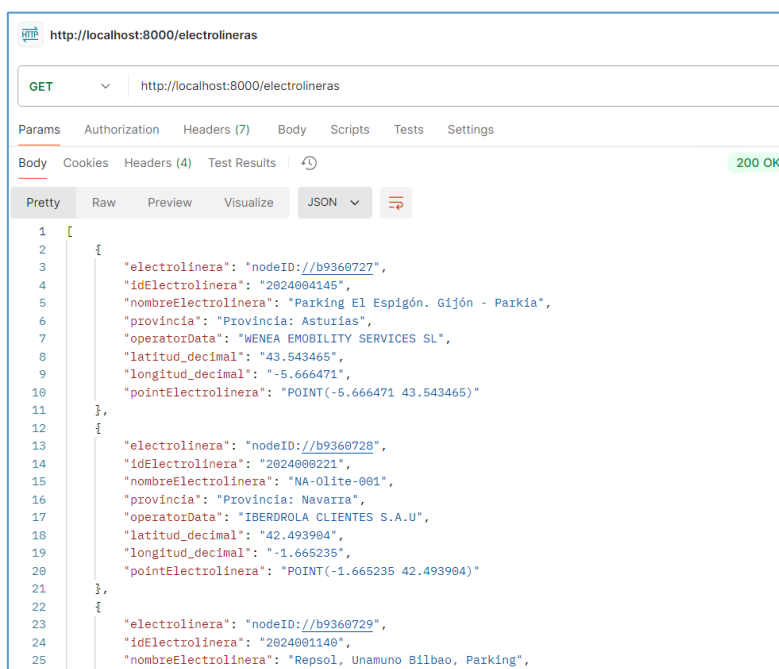


Ilustración 138: Resultado general API electrolineras en Postman

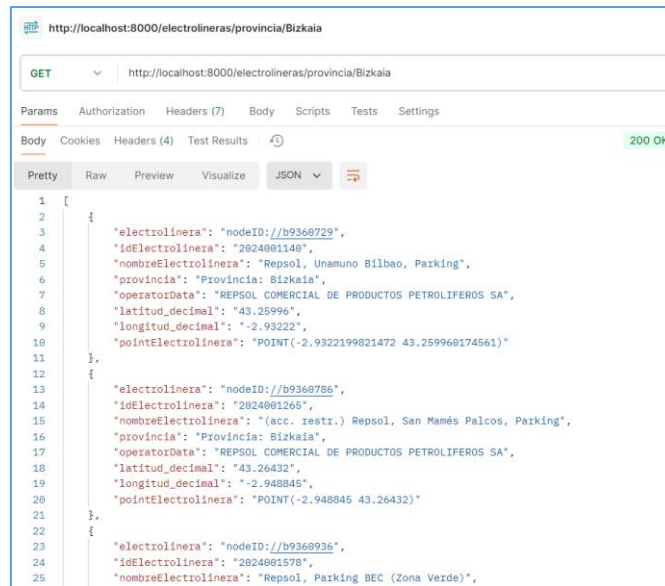


Ilustración 139: Resultado API electrolineras por provincia en Postman

Estos resultados demuestran la capacidad de integración de datos heterogéneos mediante APIs REST, potenciando el uso de estándares semánticos y consultas SPARQL para ofrecer servicios interoperables y escalables en el ámbito de la gestión del tráfico, datos meteorológicos y redes de infraestructura

7.8.6 Obtención de resultados en el acceso al API de información de incidentes con enriquecida con información meteorológica.

El acceso a esta API permite recuperar información sobre incidentes de tráfico reportados en tiempo real, incluyendo, accidentes, cortes de carretera y condiciones adversas. A través de Postman se realizaron peticiones GET utilizando parámetros provincia en la que ocurre el incidente (ilustraciones 140 y 141). Las respuestas JSON obtenidas incluyen identificadores únicos del incidente, descripciones detalladas de las condiciones meteorológicas en tiempo real, coordenadas geográficas así como riesgos inferidos en el proceso de semantización e inferencia, demostrando la eficacia de la integración de datos en tiempo real para la toma de decisiones en la gestión del tráfico.

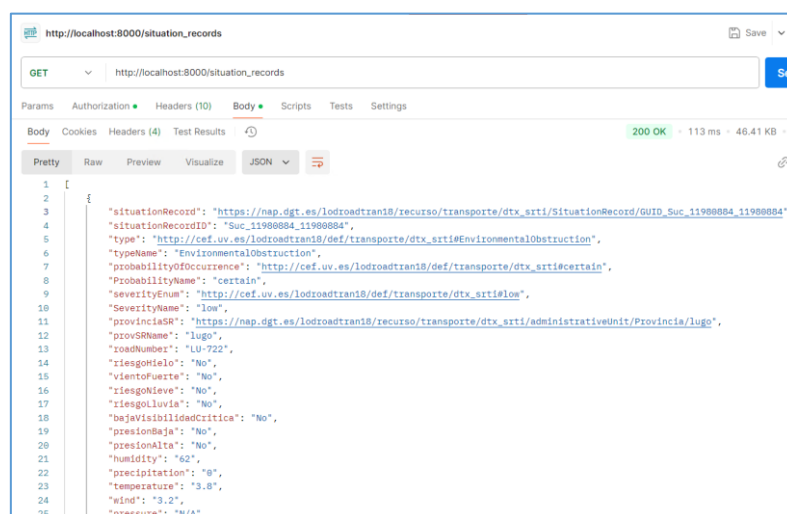


Ilustración 140: Resultado general API incidentes enriquecidos semánticamente en Postman

La ilustración 140 presenta un evento de tipo EnvironmentalObstruction en el que se ha identificado un riesgo de hielo como resultado de la ejecución de la regla correspondiente.

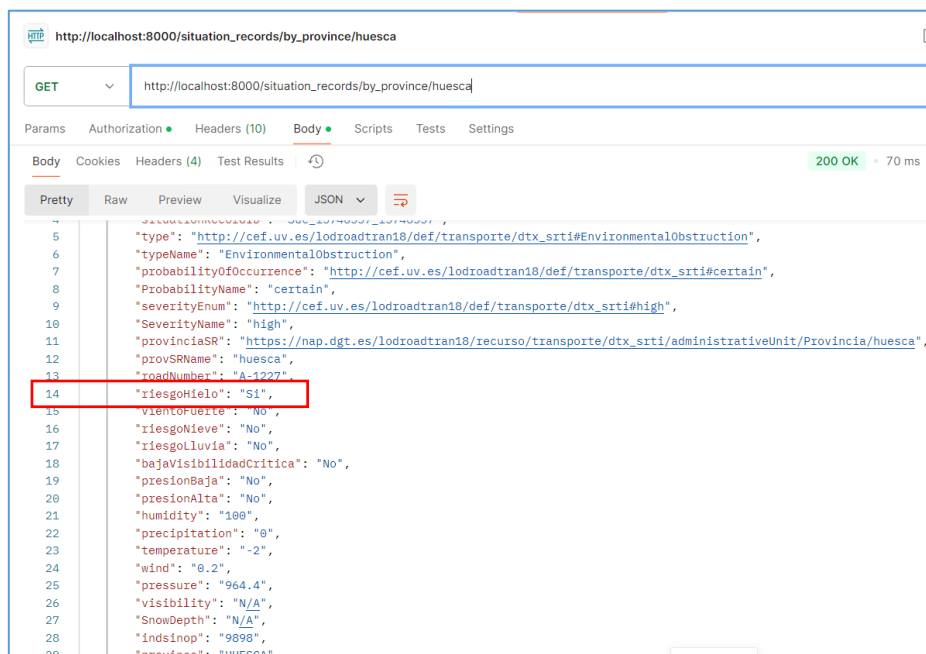


Ilustración 141: Resultado general API incidentes enriquecidos semánticamente filtrando por provincia en Postman

7.9 Acceso a los mapas basados en Angular y leaflet.

El desarrollo del módulo de mapas para la visualización de electrolineras combina tecnologías avanzadas de desarrollo web, semantización de datos y visualización geoespacial. Este módulo, implementado con Angular y Leaflet, permite representar de manera interactiva las electrolineras distribuidas en el territorio nacional, ofreciendo una experiencia de usuario intuitiva y enriquecida para el análisis territorial y la toma de decisiones basadas en datos geoespaciales.

La integración semántica garantiza que cada electrolinera esté vinculada a información clave, como su identificador único, nombre, operador y ubicación administrativa, todo ello representado de forma clara y accesible en un mapa interactivo. Los marcadores, diferenciados por colores y números, indican la densidad de electrolineras en cada región, permitiendo una rápida identificación de las áreas con mayor o menor cobertura.

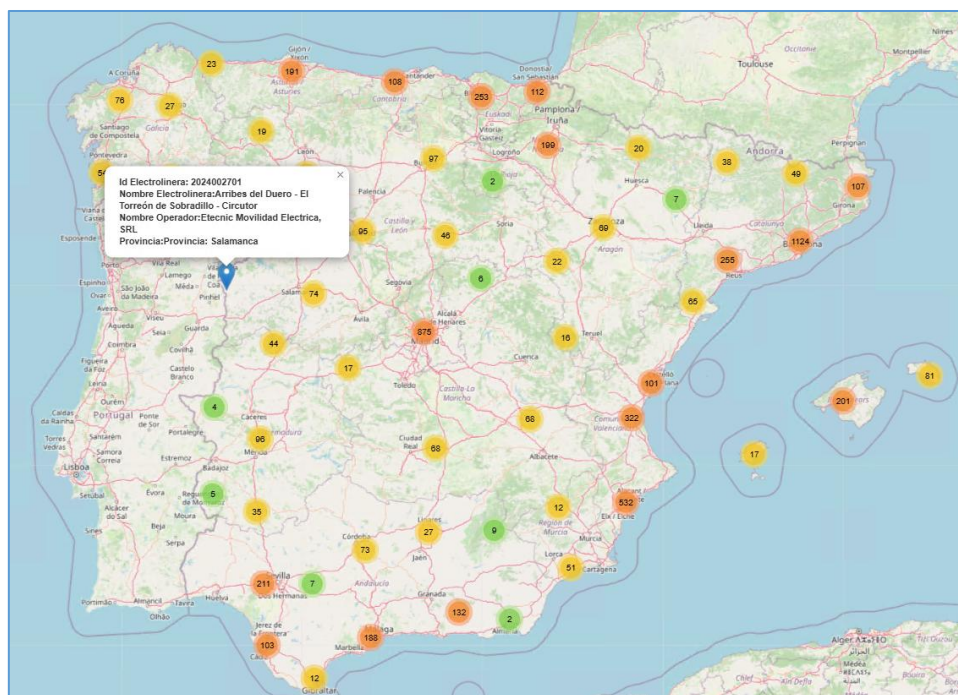


Ilustración 142: Resultado general API incidentes enriquecidos semánticamente filtrando por provincia en Postman

La Ilustración 142 muestra el resultado de este módulo, destacando un ejemplo de electrolinera ubicada en Salamanca. Al interactuar con el mapa, los usuarios pueden obtener detalles específicos de cada electrolinera, como su operador o ubicación, a través de paneles informativos que se despliegan al seleccionar un marcador. Este diseño no solo facilita la exploración geográfica de la infraestructura de carga eléctrica, sino que también promueve un análisis más profundo y contextualizado de su distribución territorial.

7.10 Informes Power BI.

En esta sección de resultados se describen los informes desarrollados con Power BI en el ámbito de investigación y desarrollo de la tesis doctoral obteniendo los datos de las APIS semánticas ampliamente descritas en secciones anteriores de la tesis.

7.10.1 Informe Power Bi de estaciones meteorológicas

En esta sección se presenta el cuadro de mando desarrollado para la visualización y análisis de datos semánticos relacionados con estaciones meteorológicas en España. Este cuadro de mando utiliza los datos enriquecidos y semantizados almacenados en Virtuoso, expuestos a través de una API REST desarrollada en FastAPI, para crear una herramienta interactiva en Power BI. Su objetivo principal es facilitar el acceso y análisis de datos geoespaciales y estadísticos relacionados con las estaciones meteorológicas.

Visualización General: Mapa Interactivo y Resumen Estadístico

El cuadro de mando ofrece una representación visual geoespacial de las estaciones meteorológicas distribuidas por toda España. En la parte superior, un indicador muestra el número total de estaciones disponibles, brindando una visión rápida del alcance del análisis. Ver ilustración 143.

El mapa interactivo permite identificar la ubicación exacta de cada estación meteorológica según sus coordenadas geográficas almacenadas en Virtuoso. Cada marcador en el mapa

corresponde a una estación específica, lo que facilita el análisis espacial y la identificación de áreas con mayor o menor densidad de estaciones.

Gráficos Estadísticos y Distribución por Provincias

A la derecha del mapa, se incluye un gráfico circular que muestra la distribución de las estaciones meteorológicas por provincia. Este gráfico permite visualizar rápidamente la cantidad de estaciones disponibles en cada región, destacando las provincias con mayor número de estaciones, como Sta. Cruz de Tenerife o Islas Baleares, y facilitando el análisis de cobertura geográfica.

Tabla Detallada de Estaciones Meteorológicas

En la parte inferior del cuadro de mando, se incluye una tabla detallada que proporciona información clave sobre cada estación meteorológica, incluyendo:

- **Nombre de la estación:** Identificador único y descriptivo de cada estación.
- **Provincia:** Localización administrativa de la estación.
- **Coordenadas geográficas:** Representadas en formato POINT para facilitar su uso en análisis geoespaciales.

Esta tabla permite a los usuarios explorar los datos de manera detallada y realizar análisis específicos en función de sus necesidades.

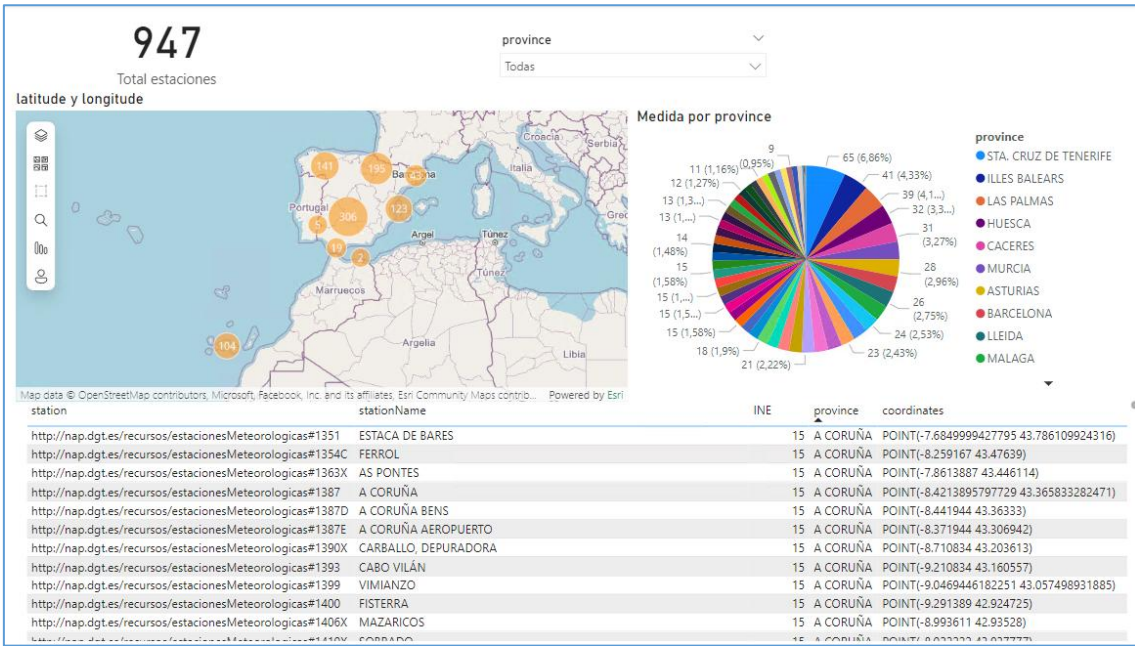


Ilustración 143: Cuadro de mando Power BI de estaciones meteorológicas.

Filtrado Dinámico

El cuadro de mando incorpora un filtro interactivo por provincia, que permite ajustar el mapa, el gráfico y la tabla para mostrar únicamente las estaciones meteorológicas de la región seleccionada. Esto facilita la focalización del análisis en áreas específicas y permite obtener perspectivas personalizadas según los intereses del usuario. La ilustración 144 muestra la información completa de las estaciones filtrando por las provincias de la Comunitat Valenciana.

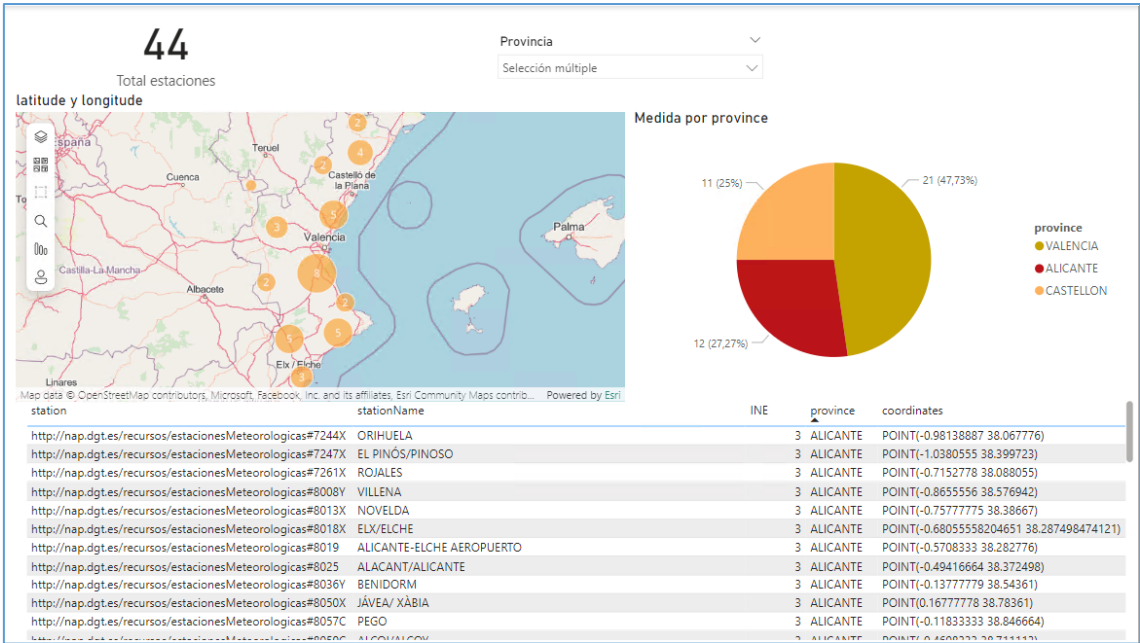


Ilustración 144: Cuadro de mando Power BI de estaciones meteorológicas por provincias de la Comunidad Valenciana.

Tecnología de Integración

Los datos de estaciones meteorológicas son obtenidos de un grafo RDF consolidado en Virtuoso, donde se integran y modelan utilizando ontologías meteorológicas específicas. La información semantizada incluye atributos como ubicación, nombre, y referencias administrativas. La API REST desarrollada con FastAPI expone estos datos en formato JSON, permitiendo su consumo por Power BI en tiempo real para crear un informe dinámico y actualizado.

Impacto y Aplicación

El cuadro de mando desarrollado para las estaciones meteorológicas proporciona una herramienta analítica interactiva que combina datos geoespaciales y estadísticas administrativas. Esto permite:

- Analizar la distribución de estaciones meteorológicas a nivel nacional y provincial.
- Identificar posibles áreas con déficit de cobertura.
- Explorar detalles específicos de cada estación para integrarlos en análisis más amplios, como el impacto de las condiciones meteorológicas en incidentes de tráfico o en la planificación de infraestructuras.

En conjunto, este cuadro de mando no solo mejora la accesibilidad a los datos de estaciones meteorológicas semánticos, sino que también amplía las posibilidades de análisis estratégico, posicionándose como un recurso clave para investigadores, gestores públicos y entidades interesadas en el monitoreo y análisis de datos meteorológicos en España.

7.10.2 Informe Power Bi Electrolineras

En esta sección se presentan los resultados obtenidos mediante la integración de datos semánticos en Power BI. Los datos provienen de una API REST desarrollada en FastAPI que se conecta al endpoint SPARQL de Virtuoso para consultar y procesar información sobre

electrolineras en España. Los resultados se visualizan en un informe en Power BI que incluye un mapa interactivo y una tabla detallada.

Visualización General: Mapa y Tabla de Electrolineras

La ilustración 145 muestra un informe general en Power BI que representa todas las electrolineras disponibles en la base de datos RDF. El mapa interactivo permite visualizar la distribución geoespacial de las electrolineras en todo el territorio español. Cada punto en el mapa corresponde a una estación de carga, con su ubicación determinada por coordenadas geográficas almacenadas en Virtuoso.

Además, se incluye una tabla detallada con información relevante de cada electrolinera, como su identificador en DGT, nombre, provincia, operador y ubicación geográfica . Esta vista general permite observar la cobertura nacional y evaluar posibles brechas en la red de carga.

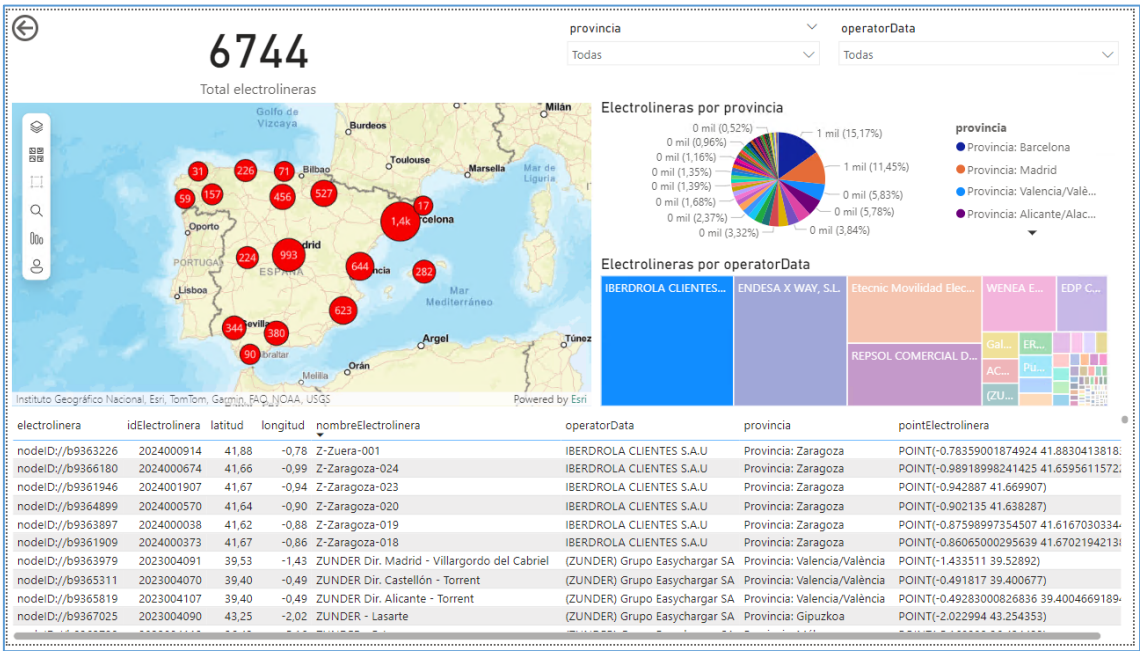


Ilustración 145: Cuadro de mando Power BI de electrolineras.

Visualización Filtrada: Electrolineras por Provincia y Operador

La ilustración 146 muestra el mismo informe, pero filtrado por provincia y operador. El mapa se actualiza dinámicamente para mostrar únicamente las electrolineras que cumplen con los criterios seleccionados, lo que permite realizar análisis específicos según necesidades operativas o estratégicas.

La tabla asociada también se ajusta automáticamente, mostrando solo los datos relevantes según los filtros aplicados. Esta capacidad de filtrado es clave para el análisis detallado, facilitando la toma de decisiones y la gestión de infraestructuras en función de criterios geográficos y comerciales.

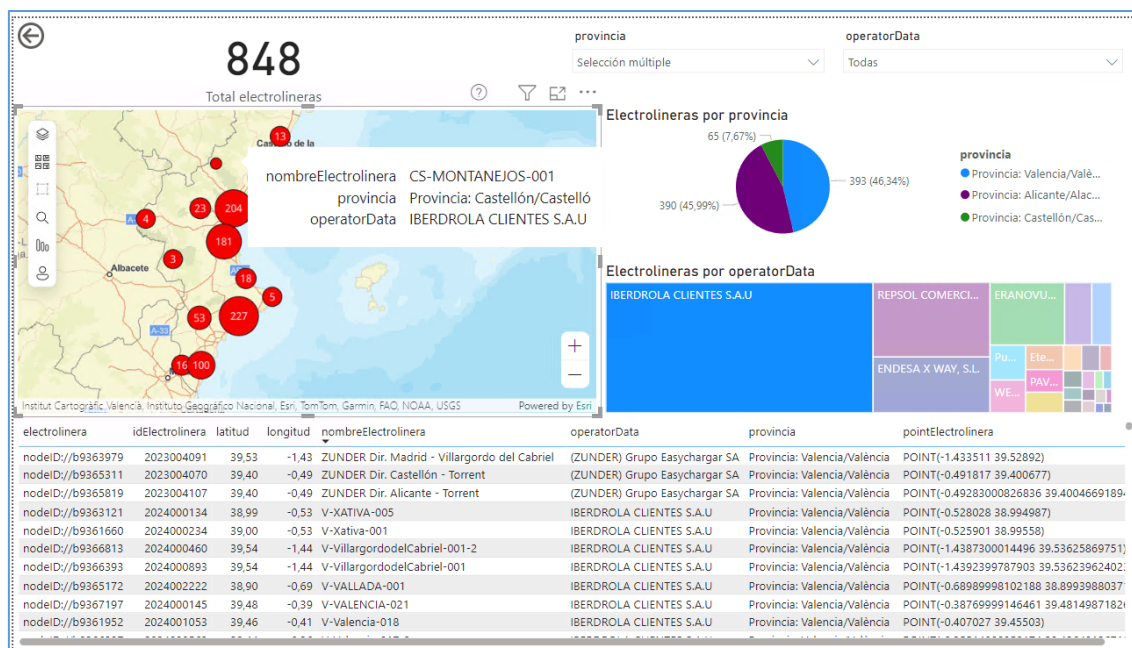


Ilustración 146: Cuadro de mando Power BI de estaciones meteorológicas por provincias de la Comunidad Valenciana.

Tecnología de Integración

Los datos se extraen de Virtuoso utilizando consultas SPARQL y se exponen como servicios REST en formato JSON mediante FastAPI. Power BI consume estos datos en tiempo real, permitiendo crear informes actualizables y personalizables según diferentes necesidades analíticas.

Impacto y Aplicación

El informe desarrollado permite explorar de manera interactiva la red de electrolineras en España, combinando visualizaciones geoespaciales y datos detallados en tablas. Esta integración mejora la accesibilidad a información compleja, ofreciendo una herramienta de análisis poderosa para operadores, administradores públicos y responsables de políticas relacionadas con la movilidad eléctrica y la infraestructura de carga.

7.10.3 Informe Power Bi Incidentes de trafico

En esta sección se presenta el cuadro de mando principal desarrollado en esta investigación, el cual combina datos de incidentes de tráfico semantizados con información meteorológica enriquecida mediante reglas SWRL. Este cuadro de mando integra visualizaciones avanzadas en Power BI para proporcionar una herramienta interactiva y analítica que permite explorar la relación entre incidentes de tráfico y condiciones meteorológicas adversas.

Visualización General: Mapa, Resumen y Estadísticas

El cuadro de mando muestra una visión general de los incidentes de tráfico (Situation Records) distribuidos por toda España. Incluye un mapa interactivo que ubica geográficamente cada incidente según los datos almacenados en Virtuoso. Estos incidentes están enriquecidos con inferencias meteorológicas que indican condiciones críticas como **riesgo de hielo, nieve, lluvia, viento fuerte, baja visibilidad, presión alta o baja**.

En la parte superior del cuadro de mando se encuentra un conjunto de indicadores clave que resumen el número de registros por cada condición meteorológica inferida. Estos indicadores

permiten filtrar los datos para analizar incidentes específicos relacionados con dichas condiciones.

Estadísticas y Desglose de Datos

Además del mapa, se presentan gráficos estadísticos que ofrecen un desglose detallado de los Situation Records según diferentes criterios:

- **Distribución por provincias:** Representa el total de incidentes registrados en cada provincia, destacando aquellas con mayor número de incidentes.
- **Clasificación por severidad:** Muestra la cantidad de registros clasificados en niveles de severidad (bajo, alto y más alto).
- **Distribución por tipo de incidente:** Identifica los tipos de incidentes más comunes, como obstáculos ambientales, obras de mantenimiento, condiciones meteorológicas adversas, entre otros.
- **Incidentes por carretera:** Resalta las carreteras más afectadas, permitiendo observar patrones en zonas específicas.

Tabla Detallada de Incident Records

En la parte inferior del cuadro de mando se incluye una tabla detallada con la información completa de cada Situation Record. Esta tabla muestra atributos clave como:

- Tipo de incidente
- Nivel de severidad
- Carretera afectada
- Provincia
- Inferencias meteorológicas asociadas (e.g., presencia de hielo, lluvia, visibilidad reducida)

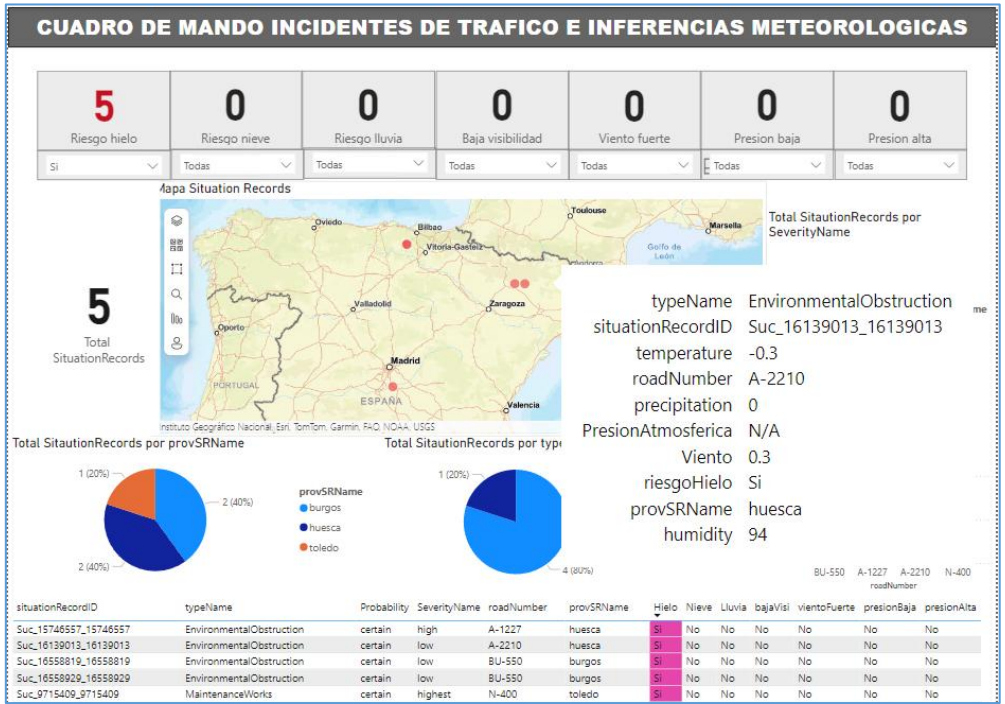
Esta combinación de mapa, gráficos y tabla proporciona una visión integral de los datos, permitiendo analizar los incidentes desde múltiples perspectivas.

La Ilustración 147 muestra el cuadro de mando principal desarrollado en esta investigación. En este caso, se observan cinco registros con riesgo de hielo y uno asociado a presión baja, mientras que las demás condiciones no presentan riesgos activos. Cabe destacar que los datos reflejados corresponden a información real capturada el día 30 de diciembre de 2024 a las 8:00 h, lo que resalta la capacidad del sistema para trabajar con datos actualizados y relevantes en tiempo real.



Ilustración 147: Cuadro de mando Power BI de incidentes de tráfico e inferencias meteorológicas

La Ilustración 148 presenta el cuadro de mando con la información filtrada exclusivamente para los incidentes en los que se ha activado la regla de riesgo de hielo. Al seleccionar un incidente directamente en el mapa, es posible acceder a todos los detalles del mismo, incluyendo las variables meteorológicas asociadas proporcionadas por AEMET.



5

Total SituationRecords

Total SituationRecords por SeverityName

Total SituationRecords por provSRName

Total SituationRecords por typeName

typeName

EnvironmentalObstruction

situationRecordID

Suc_16139013_16139013

temperature

-0.3

roadNumber

A-2210

precipitation

0

PresionAtmosferica

N/A

Viento

0.3

riesgoHielo

Si

provSRName

huesca

humidity

94

Ilustración 148: Cuadro de mando Power BI de incidentes de tráfico e inferencias meteorológicas filtrando aquellos incidentes con riesgo de hielo.

Tecnología de Integración

Los datos visualizados en este cuadro de mando provienen de un grafo RDF consolidado en Virtuoso. Este grafo integra información de múltiples fuentes, como incidentes de tráfico (DATEX II), condiciones meteorológicas (AEMET) y datos de infraestructura vial. Las reglas SWRL definidas en Protégé se ejecutan sobre los datos para generar inferencias meteorológicas, las cuales enriquecen los incidentes con información adicional crítica.

El acceso a los datos se lleva a cabo mediante la API REST desarrollada con FastAPI como parte de esta tesis. Esta API consulta el endpoint SPARQL y expone los datos en formato JSON, optimizados específicamente para su integración con Power BI. Gracias a esta arquitectura, se asegura una actualización en tiempo real de los informes, garantizando que las visualizaciones reflejen siempre las condiciones más actuales y relevantes.

Impacto y Aplicación

El cuadro de mando permite a autoridades, investigadores y analistas explorar de manera interactiva la relación entre incidentes de tráfico y factores meteorológicos adversos. Esta herramienta es clave para:

- Identificar zonas de alto riesgo por condiciones meteorológicas críticas.
- Evaluar patrones recurrentes en carreteras o provincias específicas.
- Facilitar la toma de decisiones en tiempo real para la gestión de incidentes y planificación de recursos.

La integración de inferencias semánticas con datos visuales dinámicos representa un avance significativo en la gestión y análisis de datos viales en el contexto de la seguridad vial, posicionando esta solución como una referencia en la aplicación de tecnologías de la web semántica.

7.11 Consultas Federadas SPARQL

La integración semántica desarrollada en esta tesis incluye la ejecución de consultas federadas SPARQL que combinan datos de incidentes de tráfico almacenados en Virtuoso con información geoespacial de fuentes externas como el Instituto Geográfico Nacional (IGN), LinkedGeoData y el Sparql Endpoint de Republica Checa. Estas consultas han permitido enriquecer el análisis de los incidentes de tráfico mediante la incorporación de información contextual relacionada con infraestructuras, servicios y características territoriales.

7.11.1 Consultas federadas IGN

Se diseñaron y ejecutaron en el contexto de la tesis consultas SPARQL federadas para identificar infraestructuras y puntos de interés cercanos a la ubicación de incidentes de tráfico, considerando diferentes distancias. Las consultas se estructuraron de manera que los incidentes de tráfico detectados en Virtuoso se combinaron con la información del IGN mediante el uso de la cláusula SERVICE, permitiendo realizar búsquedas geoespaciales precisas.

Las siguientes consultas destacan por su relevancia geoespacial y funcionalidad práctica:

Campings a 10 km del lugar del incidente:

Esta consulta permitió identificar campings cercanos a la ubicación del incidente, facilitando el análisis de infraestructuras turísticas que podrían verse afectadas o ser útiles en situaciones de emergencia.

Albergues a 20 km alrededor del incidente:

Se consultaron albergues en un radio de 20 km, mostrando la capacidad de integración de servicios de alojamiento en caso de situaciones de emergencia o evacuaciones.

Puntos de Interés a 1 km del incidente:

La identificación de puntos de interés permite realizar un análisis turístico-geoespacial más profundo, mostrando sitios culturales o naturales afectados por incidentes cercanos.

Paradores Nacionales a 5 km del incidente:

La consulta devolvió paradores nacionales en el área afectada, lo que muestra la integración de información sobre infraestructura turística de alto valor cultural.

Estaciones de Tren a 10 km del incidente:

La ubicación de estaciones de tren en las proximidades permite evaluar el impacto en el transporte público y la necesidad de alternativas de movilidad.

Hospitales a 5 km del incidente:

Esta consulta es especialmente relevante para situaciones de emergencias médicas, permitiendo identificar centros de atención sanitaria cercanos a incidentes de tráfico críticos.

Gasolineras a 1 km del incidente:

La consulta permite obtener información sobre estaciones de servicio disponibles en el área afectada, útil para planificar operaciones de emergencia y logística.

Cada consulta federada se estructuró utilizando la cláusula SPARQL SERVICE, que permite acceder simultáneamente a los datos almacenados en Virtuoso y al endpoint SPARQL del IGN. La integración de ambos servicios proporciona información geoespacial detallada y precisa.

Presentación de Resultados Obtenidos

Los resultados obtenidos de las consultas federadas se organizaron en **listas de resultados geoespaciales**. Las consultas devolvieron datos precisos sobre ubicaciones, nombres y tipos de infraestructuras relacionadas con los incidentes de tráfico.

Se incluyen a continuación capturas de pantalla y resultados de consultas ejecutadas, mostrando:

Hospitales a 5 km del incidente de tráfico

El listado 54 muestra la consulta federada enlazando los incidentes tráfico con información de IGN de hospitales a 5 km del incidente de tráfico.

```
PREFIX btn100:<https://datos.ign.es/def/btn100#>
PREFIX dtx_srti: <http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#>
PREFIX geosparql: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX dc: <http://purl.org/dc/terms/>

SELECT DISTINCT ?situationRecord ?uriHospital ?name bif:st_distance( ?geoHospitalLocali,?asWKT ) AS ?Distance
WHERE

{
    ?situationRecord a dtx_srti:WeatherRelatedRoadConditions;
    geosparql:hasGeometry ?Geometry.
    ?Geometry geosparql:asWKT ?asWKT.

    SERVICE <https://datos.ign.es/sparql>
    {
        ?uriHospital a btn100:Hospital ;
        dc:title ?name ;
        geosparql:hasGeometry ?geoHospital .
        ?geoHospital geosparql:asWKT ?geoHospitalLocali .

    }
    FILTER (bif:st_intersects(?geoHospitalLocali, ?asWKT,5))
}
```

Listado 54: Consulta federada enlazando los incidentes tráfico con información de IGN para la obtención de información de hospitales a 5 km del incidente de tráfico.

La ilustración 149 muestra los resultados de la ejecución de la consulta federada contra IGN para la obtención de información de hospitales a 5 km del incidente de tráfico.

SPARQL HTML5 table				
situationRecord	province	uriHospital	name	Distance
http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#GUID_Suc_3952295_3952295	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/granada	https://datos.ign.es/recurso/btn100/hospital/28860	"Clínica Inmaculada Concepción"	1.55198
http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#GUID_Suc_3952295_3952295	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/granada	https://datos.ign.es/recurso/btn100/hospital/28857	"Hospital Clínico Universitario San Cecilio"	1.39616
http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#GUID_Suc_3952295_3952295	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/granada	https://datos.ign.es/recurso/btn100/hospital/29102	"Hospital Real"	0.947472
http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#GUID_Suc_3952295_3952295	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/granada	https://datos.ign.es/recurso/btn100/hospital/28855	"Sanatorio Nuestra Señora de La Salud"	1.88826
http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#GUID_Suc_3952295_3952295	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/granada	https://datos.ign.es/recurso/btn100/hospital/28861	"Complejo Hospitalario Virgen de Las Nieves"	1.57261
http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#GUID_Suc_3952295_3952295	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/granada	https://datos.ign.es/recurso/btn100/hospital/29220	"Hospital de San Juan de Dios"	0.492199
http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#GUID_Suc_3952295_3952295	http://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/granada	https://datos.ign.es/recurso/btn100/hospital/28858	"Hospital de San Rafael"	2.67125

Ilustración 149: Resultados de consulta federada contra IGN para la obtención de hospitales a 5 km del incidente de tráfico

Gasolineras a 1 km del incidente

El listado 55 muestra la consulta federada enlazando los incidentes tráfico con información de IGN de gasolineras a 1 km del incidente de tráfico.

```
PREFIX btn100:<https://datos.ign.es/def/btn100#>
PREFIX dtx_srti: <http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#>
PREFIX geosparql: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX dc: <http://purl.org/dc/terms/>

select distinct ?situationRecord ?province ?uriPetrolStation ?name
bif:st_distance( ?geoPetrolStationLocali,?asWKT ) AS ?Distance
where
{
    ?situationRecord a dtx_srti:WeatherRelatedRoadConditions;
    geosparql:hasGeometry ?Geometry.
    ?Geometry geosparql:asWKT ?asWKT.
    ?node dtx_srti:hasAdministrativeAreaOfPoint ?province.

    SERVICE <https://datos.ign.es/sparql>
```

```
{
  ?uriPetrolStation a btn100:Gasolinera.
  ?uriPetrolStation dc:title ?name .
  ?uriPetrolStation geosparql:hasGeometry ?geoPetrolStation .
  ?geoPetrolStation geosparql:asWKT ?geoPetrolStationLocali .
} FILTER (bif:st_intersects(?geoPetrolStationLocali, ?asWKT,1))
}
```

Listado 55: Consulta federada enlazando los incidentes tráfico con información de IGN para la obtención de información de gasolineras a 1 km del incidente de tráfico.

La ilustración 150 muestra los resultados de la ejecución de la consulta federada contra IGN para la obtención de gasolineras a 1 km del incidente de tráfico.

SPARQL HTML5 table					
situationRecord	province	uriPetrolStation	name	Distance	
http://cef.uv.es/roadtran18/def/transporte/dtx_srti#GUID_Suc_3952295_3952295	http://cef.uv.es/roadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/granada	https://datos.ign.es/recurso/btn100/gasolinera/28556	"Gasolinera"	0.95189	
http://cef.uv.es/roadtran18/def/transporte/dtx_srti#GUID_Suc_3952295_3952295	http://cef.uv.es/roadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/granada	https://datos.ign.es/recurso/btn100/gasolinera/28569	"Gasolinera"	0.835883	

Ilustración 150: Resultados de consulta federada contra IGN para la obtención de gasolineras a 1 km del incidente de tráfico

Relevancia y contribuciones

La integración de datos locales en Virtuoso con información geoespacial del IGN amplía significativamente el alcance del análisis de incidentes de tráfico al proporcionar un contexto territorial detallado y enriquecido. Este proceso permite aprovechar la complementariedad de ambas fuentes para obtener información más precisa y relevante, destacándose los siguientes aportes:

- **Identificación de infraestructuras clave cercanas:** Permite localizar hospitales, estaciones de tren, gasolineras y otros puntos de interés estratégicos, fundamentales para la gestión eficaz de emergencias y planificación territorial.
- **Enriquecimiento del análisis geoespacial:** Proporciona un entendimiento más profundo del impacto de los incidentes en infraestructuras turísticas, de transporte y servicios esenciales.
- **Optimización de la toma de decisiones:** Facilita respuestas más rápidas y efectivas al integrar datos semánticos y geoespaciales en una sola consulta, mejorando la eficiencia operativa.

El uso de consultas federadas mediante la cláusula SPARQL SERVICE asegura la interoperabilidad y alineación con estándares de la web semántica. Este enfoque destaca la capacidad de la arquitectura propuesta para extenderse a múltiples dominios, maximizando su aplicabilidad y relevancia en escenarios diversos.

7.11.2 Consultas Federadas LinkedGeoData

Otro conjunto de consultas federadas combina los datos de Virtuoso con el endpoint de LinkedGeoData, permitiendo identificar infraestructuras como estaciones de metro, talleres mecánicos, parkings y estaciones de servicio. Estas consultas proporcionan una visión ampliada de los servicios disponibles en las proximidades de los incidentes, enriqueciendo el análisis y la planificación de respuestas.

Las consultas más relevantes realizadas incluyen:

Hospitales a 5 km del lugar del incidente

Esta consulta permitió identificar hospitales cercanos, información clave para planificar respuestas médicas rápidas en situaciones de emergencia.

Estaciones de Metro a 3 km alrededor del incidente

Se consultaron estaciones de metro cercanas, permitiendo evaluar la infraestructura de transporte público en el área afectada.

Talleres Mecánicos a 2 km del incidente

La consulta identificó talleres mecánicos cercanos, útiles para evaluar servicios de reparación de vehículos en áreas afectadas.

Parkings a 1 km del incidente

La consulta identificó parkings cercanos, proporcionando información útil para la gestión logística o el control del flujo vehicular en áreas afectadas.

Estaciones de servicio a 2 km del incidente

La consulta identificó estaciones de servicio cercanas, esenciales para planificar operaciones de emergencia o logística.

Presentación de Resultados Obtenidos

Los resultados de las consultas federadas se organizaron en listas que incluyen detalles clave como la ubicación, el tipo de infraestructura y su etiqueta descriptiva. Ejemplo de resultados obtenidos:

Estaciones de metro a 2 km del incidente

El listado 56 muestra la consulta federada enlazando los incidentes tráfico con información de linkedgeodata para la obtención de información estaciones de metro a 2 km del incidente de tráfico.

```
PREFIX dtx_srti: <http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#>
PREFIX geosparql: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
Prefix lgdo: <http://linkedgeodata.org/ontology/>
Prefix geom: <http://geovocab.org/geometry#>
Prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
Prefix geom: <http://geovocab.org/geometry#>
Prefix lgdo: <http://linkedgeodata.org/ontology/>
Prefix ogc: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
SELECT      ?SituationRecord ?GeometriesWKT ?trainStation ?trainStationLabel
WHERE
{
    ?Situation dtx_srti:hasSituationRecord ?SituationRecord.
    ?SituationRecord rdf:type ?typeSR.

    ## GEOMETRY GEOSPARQL WKT
    ?SituationRecord geosparql:hasGeometry / geosparql:asWKT ?GeometriesWKT.
    service <http://linkedgeodata.org/sparql> {
        ?trainStation a lgdo:RailwayThing ;
            rdfs:label ?trainStationLabel ;
            geom:geometry [ogc:asWKT ?trainStationGeo] .
    }
    Filter ( bif:st_intersects ( ?GeometriesWKT, ?trainStationGeo, 2 ) ) .
}
ORDER BY ?SituationRecord
LIMIT 10
```

Listado 56: Consulta federada enlazando los incidentes tráfico con información de linkedgeodata para la obtención de información estaciones de metro a 2 km del incidente de tráfico.

La ilustración 151 muestra los resultados de la ejecución de la consulta federada contra LinkedGeoData para la obtención de información de estaciones de metro a 2 km del incidente de tráfico.

	SituationRecord	GeometriesWKT	trainStation	trainStationLabel
1	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/way341911665	Intercambiador de Avenida de América
2	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/way82125417	Estación Miranda de Ebro
3	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/way11853821	Estación del Caballal
4	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/way171555028	Ligne de Saint-Agne à Auch
5	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/way40163109	Chemin de fer de Nîort à Saintes
6	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/way23950965	Línea 5
7	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/way277925967	Vía Verde de Poblete
8	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/way277925968	Vía Verde de Poblete
9	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/way227628800	Ligne Brive-Toulouse via Capdenac
10	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/way50460720	Ligne de Saillat-sur-Vienne à Bussière-G

Ilustración 151: Resultados de consulta federada contra LinkedGeoData para la obtención de estaciones de metro a 2 km del incidente de tráfico

Estaciones de servicio a 2 km del incidente

El listado 57 muestra la consulta federada enlazando los incidentes tráfico con información de linkedgeodata para la obtención de información estaciones de servicio a 2 km del incidente de tráfico

```

PREFIX dtx_srti: <http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#>
PREFIX geosparql: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX lgdo: <http://linkedgeodata.org/ontology/>
PREFIX geom: <http://geovocab.org/geometry#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX geom: <http://geovocab.org/geometry#>
PREFIX lgdo: <http://linkedgeodata.org/ontology/>
PREFIX ogc: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
SELECT ?SituationRecord ?GeometriesWKT ?petrolStation ?petrolStationLabel
WHERE
{
    ?SituationRecord dtx_srti:hasSituationRecord ?SituationRecord.
    ?SituationRecord rdf:type ?typeSR.

    ## GEOMETRY GEOSPARQL WKT
    ?SituationRecord geosparql:hasGeometry / geosparql:asWKT ?GeometriesWKT.

    service <http://linkedgeodata.org/sparql> {
        ?petrolStation a lgdo:FuelStation ;
            rdfs:label ?petrolStationLabel ;
            geom:geometry [ogc:asWKT ? petrolStationGeo] .
    }
    Filter ( bif:st_intersects ( ?GeometriesWKT, ? petrolStationGeo, 2 ) ) .
}
ORDER BY ?SituationRecord
LIMIT 10

```

Listado 57: Consulta federada enlazando los incidentes tráfico con información de linkedgeodata para la obtención de información estaciones de servicio a 2 km del incidente de tráfico.

La ilustración 152 muestra los resultados de la ejecución de la consulta federada contra LinkedGeoData para la obtención de información de estaciones de servicio a 2 km del incidente de tráfico.

	SituationRecord	GeometriesWKT	petrolStation	petrolStationLabel
1	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/node1231176184	Elan
2	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/node1313038599	Station Esso
3	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/node1390314329	Super U
4	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/node1642390998	Station Service
5	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/node1808489227	Repsol
6	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/node1829414521	Bon Area
7	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/node2112257442	Super U
8	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/node2306412181	GNVert station
9	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/node2306558330	Elan
10	https://nap.dgtes.lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/Situationf	LINESTRING(-0.80417811870575 42.640392303467,-0.78390800952911 4; @	http://linkedgeodata.org/tripty/node249788474	Estación de Servicio Agreda - Repsol

Ilustración 152: Resultados de consulta federada contra LinkedGeoData para la obtención de estaciones de servicio a 2 km del incidente de tráfico

Relevancia y Contribuciones

Este proceso demuestra cómo la integración de datos locales almacenados en Virtuoso con datos geoespaciales de LinkedGeoData permite obtener una visión más rica y contextualizada de los incidentes de tráfico y su entorno. La información extraída es clave para:

- Analizar infraestructuras críticas cercanas.
- Planificar respuestas rápidas y efectivas.
- Desarrollar aplicaciones que integren datos geoespaciales y de tráfico.

La capacidad de realizar consultas federadas asegura que los datos sean interoperables y estén alineados con los estándares de la web semántica.

7.11.3 Consultas Federadas combinando información de incidentes combinando España y la República Checa

En el contexto de iniciativas transnacionales, se diseñaron consultas federadas para combinar datos de incidentes de tráfico de España y la República Checa. Estas consultas permiten generar estadísticas conjuntas sobre tipos de incidentes en ambas regiones, demostrando la interoperabilidad y el impacto de la ontología DATEX II SRTI LOD desarrollada en esta tesis.

Un ejemplo de consulta disponible en el listado 58, destaca la integración de datos de ambos países, filtrados por fecha y tipo de incidente. El diseño de estas consultas sigue una estructura modular que incluye filtros temporales y categorías específicas de incidentes. A continuación, se presenta un ejemplo de la consulta desarrollada:

```
PREFIX dtx_srti: <http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#>
PREFIX geosparql: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>

SELECT ?Pais ?tipo ?typeObs count(*)
WHERE {
  {
    # Consulta a la República Checa
    SERVICE <https://lod.tamtamresearch.com/sparql> {
      ?SituationRecord a dtx_srti:GeneralObstruction;
        dtx_srti:situationRecordCreationTime ?time;
        dtx_srti:hasProbabilityOfOccurrence ?probability;
        rdf:type ?tipo;
        dtx_srti:hasObstructionTypeEnum ?typeObs.
      FILTER (STRSTARTS(STR(?time), "2024-12-20"))
    }
    BIND("Republica Checa" AS ?Pais)
  }
  UNION
  {
    # Consulta en el entorno local de España
    ?SituationRecord a dtx_srti:GeneralObstruction;
      dtx_srti:situationRecordCreationTime ?time;
      dtx_srti:hasProbabilityOfOccurrence ?probability;
      rdf:type ?tipo;
      dtx_srti:hasObstructionTypeEnum ?typeObs.
    FILTER(REGEX(STR(?time), "Dec 20.*2024"))
    BIND("España" AS ?Pais)
  }
}
group by ?Pais ?tipo ?typeObs
order by ?Pais ?tipo ?typeObs
```

Listado 58: Consulta SPARQL para la obtención de datos de estadísticas internacionales de incidentes de tráfico incluyendo España y Republica Checa.

La ilustración 153 muestra los resultados de la ejecución de la consulta federada contra el Sparql Endpoint de Republica Checa para la obtención de la estadística internacional de incidentes de tráfico.

SPARQL | HTML5 table

País	tipo	typeObs	callret-3
España	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#GeneralObstruction	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#ObjectOnTheRoad	61
Republica Checa	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#GeneralObstruction	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#PLACEHOLDER	2
Republica Checa	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#GeneralObstruction	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#ObjectOnTheRoad	154
Republica Checa	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#GeneralObstruction	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#other	158
Republica Checa	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#GeneralObstruction	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#AccidentOnRoadway	11
Republica Checa	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#GeneralObstruction	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#RescueAndRecoveryWork	11
Republica Checa	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#GeneralObstruction	http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srt#SpillageOnTheRoad	2

Ilustración 153: Resultados de consulta federada contra el Sparql Endpoint de Republica Checa para la obtención de la estadística internacional de incidentes de tráfico.

Relevancia y Contribuciones

Este enfoque demuestra la capacidad de combinar datos distribuidos de manera eficiente mediante estándares abiertos y ontologías compartidas. Los resultados obtenidos no solo enriquecen el análisis nacional de cada país, sino que también proporcionan una perspectiva comparativa y colaborativa en el ámbito de la seguridad vial.

Este tipo de consultas tiene implicaciones prácticas significativas, ya que permite:

1. Facilitar la interoperabilidad semántica entre sistemas de información de diferentes países.
2. Promover la estandarización en la representación y publicación de datos de tráfico.
3. Generar estadísticas combinadas que pueden servir como base para políticas transnacionales de gestión del tráfico y seguridad vial.

En el contexto de la investigación, esta consulta no solo valida la adaptabilidad de la ontología diseñada en esta tesis, sino que también posiciona la solución como un modelo replicable para otras regiones interesadas en adoptar estándares semánticos para la interoperabilidad de datos de tráfico.

7.11.4 Conclusiones

El desarrollo y ejecución de estas consultas federadas demuestran cómo las tecnologías semánticas permiten integrar datos distribuidos de múltiples fuentes, proporcionando un análisis más contextualizado y relevante de los incidentes de tráfico y su entorno. Estas capacidades destacan por su utilidad en:

1. Identificación de infraestructuras críticas en proximidad a incidentes.
2. Análisis de servicios disponibles para emergencias y logística.
3. Generación de estadísticas internacionales, promoviendo la colaboración transnacional en la gestión del tráfico.

Este enfoque asegura la interoperabilidad de los datos y refuerza la aplicabilidad práctica de la arquitectura semántica propuesta.

8 CONCLUSIONES FINALES

8.1 Visión General, Motivación y Objetivos

La gestión eficiente de datos relacionados con incidentes de tráfico, infraestructura vial y condiciones meteorológicas constituye un desafío clave en el desarrollo de sistemas inteligentes para la movilidad, la seguridad vial y la sostenibilidad urbana. Esta tesis se centra en abordar este desafío mediante la creación de una arquitectura semántica integral que combina ontologías, procesos de semantización, inferencia basada en reglas, consultas federadas, APIs REST y visualización avanzada para proporcionar una solución escalable, interoperable y enriquecida.

El enfoque adoptado busca superar las limitaciones de los modelos de datos tradicionales al incorporar tecnologías de la web semántica, que permiten transformar datos heterogéneos en información interoperable y semánticamente enriquecida. La motivación principal ha sido ofrecer una infraestructura que facilite tanto la integración como el análisis avanzado de datos, mejorando así la toma de decisiones en áreas como la gestión del tráfico, la planificación de emergencias y la optimización de recursos viales.

Los objetivos planteados se resumen en los siguientes puntos:

1. **Diseñar ontologías especializadas** alineadas con estándares como DATEX II, GeoSPARQL y vocabularios relevantes, asegurando una representación semántica rica y contextualizada de los dominios de tráfico, infraestructura y meteorología.
2. **Automatizar la semantización de datos heterogéneos** provenientes de diversas fuentes (XML, JSON, WKT) para generar triples RDF consistentes y alineados con las ontologías desarrolladas.
3. **Implementar un sistema de inferencia semántica** utilizando reglas SWRL para enriquecer los datos mediante el descubrimiento de conocimiento implícito, identificando patrones y relaciones críticas.
4. **Desarrollar APIs REST** utilizando **FastAPI** para exponer los datos RDF, garantizando el acceso dinámico y en tiempo real a los datos semánticos.
5. **Visualizar y analizar los datos semánticos** mediante cuadros de mando interactivos en **Power BI**, maximizando el impacto práctico de los datos en la toma de decisiones.

8.2 Contribuciones Principales

La arquitectura desarrollada en esta tesis presenta una serie de contribuciones relevantes, tanto desde el punto de vista conceptual como práctico:

1. **Diseño de ontologías específicas:**
 - Creación de una ontología para incidentes de tráfico basada en el estándar DATEX II SRTI, extendida para integrar datos meteorológicos y geoespaciales, así como relaciones contextuales con infraestructuras críticas.
 - Desarrollo de una ontología para infraestructura vial que modela carreteras, tramos y electrolineras, asegurando la interoperabilidad con los datos proporcionados por la DGT y otras fuentes.
2. **Semantización automatizada:**

- Implementación de procesos de transformación basados en herramientas como SPARQL Anything y Apache Jena para convertir datos estructurados y semiestructurados en triples RDF consistentes.
- Semantización de datos meteorológicos de AEMET, incidentes de tráfico y datos de infraestructura vial, generando grafos RDF interrelacionados.

3. Inferencia semántica con SWRL:

- Desarrollo de reglas SWRL para inferir conocimiento implícito, como la identificación de incidentes en áreas críticas, la clasificación de incidentes según su impacto o la detección de patrones en condiciones meteorológicas adversas.
- Implementación de motores de inferencia como Pellet y HermiT para aplicar estas reglas de manera eficiente.

4. Exposición de datos mediante APIs REST:

- Diseño e implementación de APIs con FastAPI que exponen los datos RDF publicados en Virtuoso, permitiendo su acceso dinámico por aplicaciones externas. Estas APIs facilitan la reutilización de los datos semánticos en contextos como planificación urbana, estudios académicos y desarrollo de aplicaciones.

5. Visualización interactiva y analítica:

- Creación de cuadros de mando en Power BI que consumen datos desde las APIs, proporcionando una interfaz visual para explorar los datos semánticos. Esto permite identificar patrones, realizar análisis en tiempo real y generar reportes personalizados.

6. Consultas federadas enriquecidas:

- Ejecución de consultas SPARQL federadas que combinan datos locales con información externa de LinkedGeoData, obteniendo resultados más completos y contextualizados.
- Integración de datos geoespaciales y sociales, como hospitales, estaciones de tren, talleres mecánicos y parkings cercanos a incidentes de tráfico.

8.3 Resultados de la Experimentación

La arquitectura propuesta fue evaluada en múltiples escenarios, demostrando su capacidad para transformar, inferir, exponer y analizar datos heterogéneos. Los resultados más destacados incluyen:

1. Inferencias significativas:

- Las reglas SWRL aplicadas en el sistema permitieron inferir conocimiento implícito a partir de los datos existentes facilitando la clasificación automática de incidentes según su impacto, considerando factores como las condiciones meteorológicas adversas, el nivel de severidad y la proximidad a tramos de carreteras críticas, enriqueciendo así el análisis y la toma de decisiones en el ámbito de la seguridad vial.

2. Transformación y publicación de datos:

- Conversión eficiente de datos en formatos heterogéneos a modelos RDF, alineados con las ontologías diseñadas y listos para ser publicados en un endpoint Virtuoso.

3. APIs REST dinámicas y efectivas:

- Las APIs desarrolladas permitieron acceder a los datos semánticos en tiempo real, facilitando su integración con aplicaciones externas y herramientas de análisis.

4. Visualización enriquecida:

- Los cuadros de mando en Power BI destacaron patrones y tendencias, combinando datos inferidos e información contextual para análisis detallados.

5. Consultas federadas exitosas:

- Combinación de datos locales con fuentes externas, enriqueciendo los análisis y proporcionando una visión más amplia del contexto geográfico y social.

6. Escalabilidad demostrada:

- Procesos escalables capaces de manejar grandes volúmenes de datos y generar resultados en tiempo real.

8.4 Líneas Futuras de Trabajo

A partir de los resultados obtenidos, se plantean diversas líneas de investigación y desarrollo futuro:

1. Ampliación del modelo ontológico:

- Incorporar todas las clases de DATEX II, abarcando su modelo completo.
- Diseñar nuevas propiedades y relaciones para representar contextos más complejos, como interacciones entre incidentes y tráfico urbano.

2. Extensión del sistema de inferencia:

- Diseñar reglas SWRL más avanzadas para identificar patrones complejos y realizar clasificaciones más detalladas.
- Explorar sistemas híbridos que combinen reglas con técnicas de aprendizaje automático.

3. Generación de datos históricos y predicción:

- Crear un dataset histórico RDF para analizar tendencias temporales.
- Aplicar algoritmos de inteligencia artificial para predecir incidentes futuros basados en datos históricos e inferencias generadas.

4. Vinculación con fuentes externas adicionales:

- Ampliar los vínculos con bases de datos semánticas como OpenStreetMap, DBpedia y GeoNames.

5. Visualización avanzada e integración con IoT:

- Crear cuadros de mando en Power BI que combinen datos históricos y en tiempo real.
- Incorporar datos de sensores IoT y vehículos conectados para enriquecer el modelo semántico.

6. Evaluación del impacto social:

- Estudiar cómo la arquitectura propuesta puede contribuir a mejorar la seguridad vial y la gestión de emergencias en el contexto de ciudades inteligentes.

8.5 Consideraciones Finales

La presente tesis doctoral ha abordado de manera integral los retos asociados a la gestión de datos heterogéneos en el ámbito de la movilidad inteligente y la seguridad vial. A través de la combinación de tecnologías semánticas, reglas de inferencia SWRL, APIs dinámicas y herramientas de visualización interactiva, se ha logrado desarrollar una arquitectura innovadora que no solo satisface las necesidades actuales, sino que también establece un marco sólido para la evolución futura de sistemas de transporte inteligentes.

La arquitectura propuesta demuestra cómo las tecnologías semánticas, en conjunto con estándares como RDF y GeoSPARQL, pueden superar las limitaciones de los modelos de datos tradicionales al ofrecer interoperabilidad, escalabilidad y enriquecimiento semántico. La capacidad de transformar datos complejos en información contextualizada y accesible en tiempo real tiene implicaciones significativas para la gestión del tráfico, la planificación de emergencias, la optimización de recursos y la mejora de la seguridad vial.

Además, la integración de inferencias automáticas mediante SWRL ha permitido descubrir patrones críticos y generar conocimiento adicional a partir de datos existentes, como la identificación de zonas de riesgo en condiciones meteorológicas adversas o la clasificación de incidentes por impacto. Estas capacidades refuerzan el potencial de la arquitectura para asistir en la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades de tráfico y otros actores clave.

El uso de APIs REST y cuadros de mando interactivos ha facilitado el acceso y la visualización de los datos procesados, permitiendo no solo el análisis en tiempo real, sino también la integración con aplicaciones externas. Estas características convierten la solución en una herramienta versátil que puede ser adoptada en diversos contextos, desde la planificación urbana hasta el desarrollo de políticas públicas.

Los objetivos planteados en esta investigación han sido cumplidos, tanto en términos generales como específicos, logrando el desarrollo e implementación de una arquitectura semántica que integra datos heterogéneos en un entorno interoperable y accesible en tiempo real. Esta solución permite no solo enriquecer el contexto de los datos relacionados con los incidentes de tráfico, sino también fomentar su reutilización a nivel nacional e internacional, alineándose con los principios FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable).

Una prueba contundente de la relevancia de los resultados obtenidos es el hecho de que la Dirección General de Tráfico (DGT) ha adoptado y mantiene operativo el Punto de Acceso Nacional (NAP) semántico, incluyendo un endpoint SPARQL basado en esta arquitectura. Este logro no solo valida la viabilidad técnica de la solución, sino que también destaca su impacto práctico al facilitar el acceso a datos interoperables y reutilizables en tiempo real, promoviendo la transparencia y la colaboración a nivel nacional e internacional.

Finalmente, las líneas futuras propuestas en esta investigación reflejan una visión estratégica orientada a la innovación y la sostenibilidad. Desde la ampliación del modelo ontológico y el desarrollo de reglas avanzadas hasta la incorporación de datos históricos e información en tiempo real de sensores IoT, la arquitectura está diseñada para evolucionar y adaptarse a las necesidades cambiantes de un entorno cada vez más conectado y dinámico.

En conclusión, este trabajo no solo representa un avance significativo en el ámbito de la movilidad inteligente y la gestión de datos abiertos, sino que también ofrece una solución práctica y escalable con un impacto tangible en la seguridad vial y la interoperabilidad de datos. Al combinar tecnologías avanzadas con un enfoque orientado a la solución de problemas reales, esta tesis establece un referente en la intersección entre la investigación aplicada y el impacto social, sentando las bases para un futuro en el que los datos integrados y semánticamente enriquecidos impulsen la seguridad vial, la eficiencia del transporte y la sostenibilidad urbana.

GLOSARIO

Sigla/ Acrónimo	Descripción	Definición
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología.	Organismo que gestiona datos meteorológicos en España.
ALERT-C	Estándar de Localización para Redes Viales.	Sistema para identificar ubicaciones de tráfico vial.
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones (Application Programming Interface).	Sistema que permite crear y compartir aplicaciones mediante APIs.
BTN100	Base Topográfica Nacional 1:100.000.	Mapa topográfico nacional español.
CKAN	Plataforma para la Gestión de Datos Abiertos (Comprehensive Knowledge Archive Network).	Software para gestión de grandes volúmenes de datos abiertos.
CSV	Valores Separados por Comas (Comma-Separated Values).	Formato para exportar y compartir datos tabulares.
DATE X II	Intercambio de Datos para Información de Tráfico (Data Exchange for Traffic Information).	Estándar europeo para el intercambio de datos de tráfico en tiempo real.
DCAT	Vocabulario para Catálogos de Datos (Data Catalog Vocabulary).	Vocabulario para estructurar metadatos en catálogos de datos.
DCAT-AP	Perfil de Aplicación para DCAT (DCAT Application Profile).	Perfil diseñado para la interoperabilidad de datos públicos en la UE.
DCAT-AP-ES	Extensión Española para DCAT-AP.	Ajuste para incluir terminología y metadatos locales en DCAT.
DGT	Dirección General de Tráfico.	Organismo español para gestión de tráfico y seguridad vial.
DOC	Formato de Documento de Word.	Archivo utilizado para la creación y edición de documentos de texto en Microsoft Word.
DWG	Archivo de Dibujo.	Formato utilizado en AutoCAD para diseño asistido por ordenador (CAD).
EDP	Portal Europeo de Datos (European Data Portal).	Plataforma que proporciona acceso a conjuntos de datos abiertos de toda Europa, promoviendo la reutilización de datos públicos.
FAIR	Localizable, Accesible, Interoperable y Reutilizable (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable).	Conjunto de principios para asegurar datos accesibles y reutilizables.
FAST API	Framework para APIs Rápidas (Fast Application Programming Interface).	Plataforma avanzada para desarrollar APIs en Python.
GEOJSON	Formato de Datos Geográficos Basados en JSON.	Representación de datos geoespaciales basada en JSON.
GeoSPARQL	Extensión Geoespacial para SPARQL (Geospatial SPARQL)	Extensión que habilita consultas espaciales en bases de datos RDF.

	Protocol and RDF Query Language).	
IGN	Instituto Geográfico Nacional.	Organismo español responsable de la producción, mantenimiento y difusión de información geográfica, cartográfica y geodésica oficial.
INFRA ESTR UCTU RAS	Conjunto de elementos en la red vial.	Término amplio para describir elementos físicos y de infraestructura.
ITS	Sistemas de Transporte Inteligente (Intelligent Transport Systems).	Sistemas para gestionar transporte eficiente y seguro.
JAXB	Arquitectura Java para el Enlace de XML (Java Architecture for XML Binding).	Librería para transformar datos XML a objetos Java.
JENA	Framework de Java para RDF y OWL.	Framework para manipulación de datos RDF y consultas en Java.
JSON	Notación de Objetos JavaScript (JavaScript Object Notation).	Formato para representar estructuras de datos en JavaScript.
JSON- LD	JSON para Datos Enlazados (JavaScript Object Notation for Linked Data).	Formato de datos ligeros adaptado a LOD.
LEAFL ET	Framework para Mapas Interactivos.	Framework para desarrollar mapas dinámicos y geoespaciales.
LOD	Datos Abiertos Enlazados (Linked Open Data).	Paradigma para publicar datos en formato reutilizable mediante estándares semánticos como RDF.
LOD VIEW	Herramienta para Visualización de LOD.	Herramienta para explorar y consultar datos RDF.
MOBI VOC	Vocabulario para Movilidad y Transporte.	Vocabulario diseñado para datos de movilidad y transporte.
MQA	Aseguramiento de la Calidad de Metadatos (Metadata Quality Assurance).	Proceso o conjunto de prácticas destinadas a evaluar y garantizar la calidad de los metadatos en repositorios de datos.
NAP	Punto Nacional de Acceso (National Access Point).	Punto central para la publicación de datos abiertos relacionados con tráfico.
NAPC ORE	Núcleo de Puntos Nacionales de Acceso.	Iniciativa para armonizar la gestión de Puntos de Acceso Nacional relacionados con la Directiva ITS en Europa.
napD CAT- AP	Punto Nacional de Acceso DCAT-AP.	Perfil de aplicación basado en DCAT para describir datos abiertos y servicios en Puntos Nacionales de Acceso.
NUTS	Nomenclatura de Unidades Territoriales para Estadísticas (Nomenclature of Units for Territorial Statistics).	Clasificación regional de Europa para análisis estadístico.
OASIS	Estandarización para Mensajes Interoperables.	Mensajes para interoperabilidad en sistemas digitales.
ODB	Base de Datos Abierta.	Formato basado en ODF para bases de datos.

ODF	Formato de Documento Abierto.	Estándar abierto para documentos de texto, hojas de cálculo y presentaciones, compatible con OpenOffice y LibreOffice.
ODG	Gráfico Abierto.	Formato basado en ODF para gráficos vectoriales.
ODI	Imagen Abierta.	Formato basado en ODF para imágenes rasterizadas.
ODS	Hoja de Cálculo Abierta.	Formato estándar basado en ODF para hojas de cálculo.
ODT	Documento de Texto Abierto.	Formato estándar basado en ODF para documentos de texto.
OOPS !	Escáner de Errores de Ontologías (Ontology Pitfall Scanner).	Aplicación para detectar errores en diseño de ontologías.
OPEN LR	Referencia Lineal para Posicionamiento Abierto.	Referencia de rutas lineales en redes abiertas.
OWL	Lenguaje de Ontologías Web (Web Ontology Language).	Herramienta para la creación y validación de ontologías web.
POWER BI	Plataforma para Visualización de Datos.	Software de visualización interactiva de datos.
PSI	Public Sector Information (Información del Sector Público).	Directiva europea que fomenta la reutilización de la información pública, garantizando su disponibilidad en formatos abiertos y promoviendo la interoperabilidad.
QUDT	Ontología para Unidades y Dimensiones Físicas.	Ontología utilizada para modelar medidas y cantidades físicas.
R2RML	Lenguaje de Mapeo Relacional a RDF (R2RML Mapping Language).	Lenguaje de mapeo para transformar bases de datos relacionales en RDF.
RAMON	Referencias y Gestión de Nomenclaturas de Europa.	Framework estándar para nombres en estadística y geografías.
RDF	Marco de Descripción de Recursos (Resource Description Framework).	Estándar para la representación estructurada de datos enlazados.
SHACL	Lenguaje de Restricciones de Forma para Datos (Shapes Constraint Language).	Framework de validación de restricciones de datos RDF.
SHP	Shapefile.	Formato de archivo geoespacial que contiene información vectorial para representar datos geográficos.
SKOS	Sistema Simple para la Organización del Conocimiento.	Framework para representar esquemas de conceptos y vocabularios controlados en la web semántica.
SPARQL	Lenguaje de Consulta para RDF (SPARQL Protocol and RDF Query Language).	Lenguaje utilizado para consultar y gestionar datos RDF.
SQL	Lenguaje de Consulta Estructurado (Structured Query Language).	Lenguaje para interactuar con bases de datos relacionales.
SRTI	Información de Tráfico Relacionada con la Seguridad	Datos que proporcionan información crítica relacionada con la seguridad vial.

	(Safety-Related Traffic Information).	
SWRL	Lenguaje para Reglas Semánticas en RDF (Semantic Web Rule Language).	Estándar para generar inferencias en la web semántica.
TMX	Translation Memory Exchange.	Estándar para el intercambio de memorias de traducción entre herramientas de localización.
TPEG	Grupo de Expertos en Protocolos de Transporte (Transport Protocol Experts Group).	Estándar para transmitir información de tráfico y transporte.
Virtuoso	Triplestore y Servidor de Consultas SPARQL.	Servidor para almacenar datos RDF y realizar consultas SPARQL.
WIDOCO	Herramienta de Documentación de Ontologías (Widely Used Ontology Documentation).	Aplicación para generar documentación de ontologías RDF/OWL.
XLS	Formato de Excel.	Formato de archivo utilizado para hojas de cálculo, ampliamente empleado para análisis y presentación de datos tabulares.
XML	Lenguaje de Marcado Extensible (Extensible Markup Language).	Lenguaje para estructuración de datos basado en XML.
XSD	Definición de Esquema XML (XML Schema Definition).	Definición estándar para esquemas basados en XML.

ANEXO I: Configuración Técnica e instalación del Conversor LOD.

Compilación del Conversor LOD

Una vez configurado el proyecto, el siguiente paso es compilar el código fuente utilizando Maven 3.8.6 y Java 11. Maven, una herramienta de gestión y construcción de proyectos, permite automatizar el proceso de compilación, facilitando la gestión de dependencias y garantizando que todos los componentes del proyecto estén correctamente integrados.

Al compilar con Maven, se genera el archivo ejecutable de la aplicación, asegurando que el código y todas las bibliotecas necesarias estén empaquetadas y listas para su despliegue. Además, la elección de Java 11 como versión del entorno de ejecución asegura compatibilidad y estabilidad, aprovechando las mejoras de rendimiento y seguridad que ofrece esta versión.

Todas las bibliotecas Java utilizadas en el proyecto están disponibles en el repositorio central de Maven, excepto el Virtuoso Jena Provider. Por esta razón, es necesario descargar las bibliotecas desde las siguientes URL e instalarlas manualmente en el repositorio local de Maven.

- **Biblioteca:** virt_jena3.jar
URL:
http://download3.openlinksw.com/uda/virtuoso/rdfproviders/jena/30/virt_jena3.jar
- **Biblioteca:** virtjdbc4.jar
URL: <http://download3.openlinksw.com/uda/virtuoso/jdbc/virtjdbc4.jar>

Una vez descargadas estas dos bibliotecas, que permiten conectar a Virtuoso y cargar las instancias de datos, es necesario instalarlas localmente con Maven para que puedan ser utilizadas en la compilación del proyecto. Este proceso asegura que Maven pueda gestionar y acceder a estas bibliotecas durante la construcción del proyecto, incluso si no están disponibles en el repositorio central.

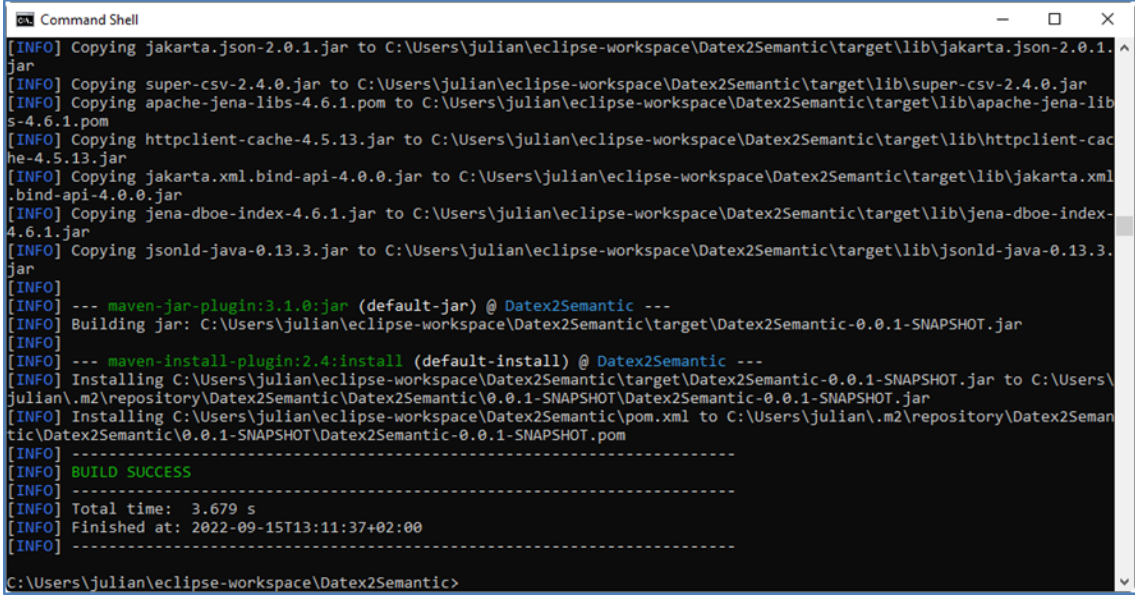
Los comandos para ejecutar la instalación de cada biblioteca en el repositorio local de Maven son los siguientes:

```
mvn install:install-file -q -Dfile=/DTX_SRTI_CLASES/GEOSPARQL/virt_jena3.jar -  
DgroupId=com.openlink.virtuoso -DartifactId=virt_jena3 -Dversion=3.0 -Dpackaging=jar -  
DgeneratePom=true
```

```
mvn install:install-file -q -Dfile=/DTX_SRTI_CLASES/GEOSPARQL/virtjdbc4.jar -  
DgroupId=com.openlink.virtuoso -DartifactId=virtjdbc4 -Dversion=4.0 -Dpackaging=jar -  
DgeneratePom=true
```

Al ejecutar estos comandos, Maven almacena las bibliotecas en el repositorio local, generando un archivo POM (Project Object Model) correspondiente a cada biblioteca para facilitar su integración.

Finalmente, al compilar el proyecto con el comando `mvn install`, se integran todas las dependencias y se construye el proyecto completo. La ilustración 154 muestra el resultado exitoso de la compilación, confirmando que el proyecto está correctamente configurado y listo para su despliegue. Esta instalación garantiza que el sistema pueda acceder de manera confiable a las bibliotecas de Virtuoso durante la ejecución de tareas relacionadas con datos semánticos y consultas SPARQL.



```

Command Shell
[INFO] Copying jakarta.json-2.0.1.jar to C:\Users\julian\eclipse-workspace\Datex2Semantic\target\lib\jakarta.json-2.0.1.jar
[INFO] Copying super-csv-2.4.0.jar to C:\Users\julian\eclipse-workspace\Datex2Semantic\target\lib\super-csv-2.4.0.jar
[INFO] Copying apache-jena-libs-4.6.1.pom to C:\Users\julian\eclipse-workspace\Datex2Semantic\target\lib\apache-jena-libs-4.6.1.pom
[INFO] Copying httpclient-cache-4.5.13.jar to C:\Users\julian\eclipse-workspace\Datex2Semantic\target\lib\httpclient-cache-4.5.13.jar
[INFO] Copying jakarta.xml.bind-api-4.0.0.jar to C:\Users\julian\eclipse-workspace\Datex2Semantic\target\lib\jakarta.xml.bind-api-4.0.0.jar
[INFO] Copying jena-dboe-index-4.6.1.jar to C:\Users\julian\eclipse-workspace\Datex2Semantic\target\lib\jena-dboe-index-4.6.1.jar
[INFO] Copying jsonld-java-0.13.3.jar to C:\Users\julian\eclipse-workspace\Datex2Semantic\target\lib\jsonld-java-0.13.3.jar
[INFO] --- maven-jar-plugin:3.1.0:jar (default-jar) @ Datex2Semantic ---
[INFO] Building jar: C:\Users\julian\eclipse-workspace\Datex2Semantic\target\Datex2Semantic-0.0.1-SNAPSHOT.jar
[INFO] --- maven-install-plugin:2.4:install (default-install) @ Datex2Semantic ---
[INFO] Installing C:\Users\julian\eclipse-workspace\Datex2Semantic\target\Datex2Semantic-0.0.1-SNAPSHOT.jar to C:\Users\julian\.m2\repository\Datex2Semantic\Datex2Semantic\0.0.1-SNAPSHOT\Datex2Semantic-0.0.1-SNAPSHOT.jar
[INFO] Installing C:\Users\julian\eclipse-workspace\Datex2Semantic\pom.xml to C:\Users\julian\.m2\repository\Datex2Semantic\Datex2Semantic\0.0.1-SNAPSHOT\Datex2Semantic-0.0.1-SNAPSHOT.pom
[INFO] -----
[INFO] BUILD SUCCESS
[INFO] -----
[INFO] Total time: 3.679 s
[INFO] Finished at: 2022-09-15T13:11:37+02:00
[INFO] -----
C:\Users\julian\eclipse-workspace\Datex2Semantic>

```

Ilustración 154: Resultado de la compilación con Maven del Conversor de incidentes de tráfico LOD

Ejecución del Conversor LOD y generación de instancias RDF DATEX II SRTI

Para ejecutar el convertidor ontológico, utiliza el siguiente comando desde el directorio donde se encuentra el archivo JAR (Datex2Semantic-0.0.1-SNAPSHOT.jar):

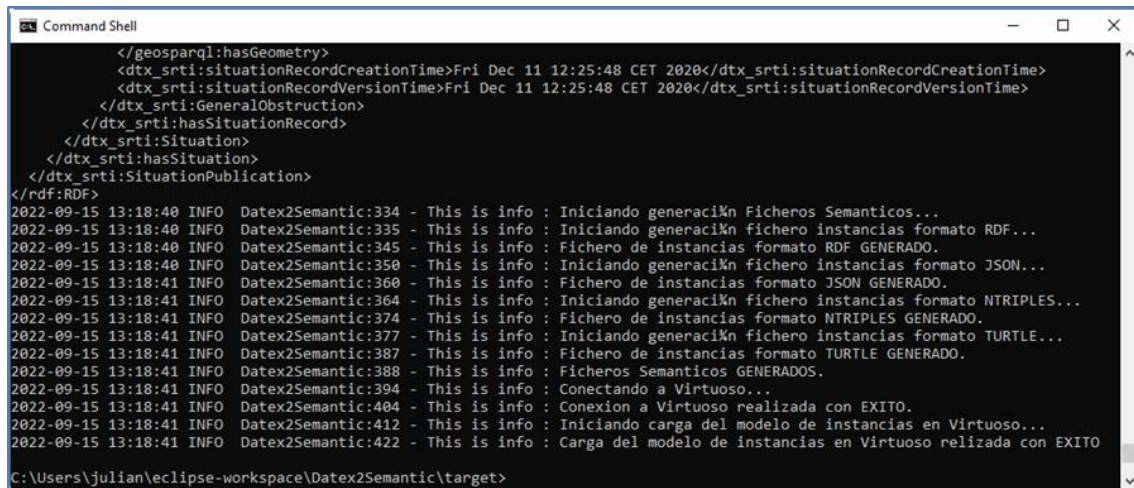
```
java -jar Datex2Semantic-0.0.1-SNAPSHOT.jar
```

Este comando inicia el proceso de conversión, que toma los datos en formato DATEX II y los transforma en archivos de Datos Abiertos Enlazados (LOD) en los formatos especificados, tales como RDF, JSON-LD, N-Triples o Turtle. Tras la ejecución del JAR, se generan los archivos semánticos con el contenido transformado según las especificaciones de la ontología.

Además, el sistema produce un archivo de salida de Log4j, que registra eventos importantes del proceso, como mensajes informativos, advertencias o errores que hayan ocurrido durante la conversión. Este archivo de log es útil para supervisar el rendimiento y detectar posibles incidencias, asegurando así que los datos se han procesado correctamente y se encuentran listos para su posterior carga en un servidor SPARQL.

Este enfoque garantiza un flujo de trabajo claro y estructurado, desde la conversión de los datos hasta su almacenamiento en un formato semántico accesible y reutilizable.

En la ilustración 155 se muestra el resultado de la ejecución del Conversor de incidentes de tráfico LOD



```
</geosparql:hasGeometry>
<dtx_srti:situationRecordCreationTime>Fri Dec 11 12:25:48 CET 2020</dtx_srti:situationRecordCreationTime>
<dtx_srti:situationRecordVersionTime>Fri Dec 11 12:25:48 CET 2020</dtx_srti:situationRecordVersionTime>
</dtx_srti:GeneralObstruction>
</dtx_srti:hasSituationRecord>
</dtx_srti:Situation>
</dtx_srti:hasSituation>
</dtx_srti:SituationPublication>
</rdf:RDF>
2022-09-15 13:18:40 INFO Datex2Semantic:334 - This is info : Iniciando generación Ficheros Semanticos...
2022-09-15 13:18:40 INFO Datex2Semantic:335 - This is info : Iniciando generación fichero instancias formato RDF...
2022-09-15 13:18:40 INFO Datex2Semantic:345 - This is info : Fichero de instancias formato RDF GENERADO.
2022-09-15 13:18:40 INFO Datex2Semantic:350 - This is info : Iniciando generación fichero instancias formato JSON...
2022-09-15 13:18:41 INFO Datex2Semantic:360 - This is info : Fichero de instancias formato JSON GENERADO.
2022-09-15 13:18:41 INFO Datex2Semantic:364 - This is info : Iniciando generación fichero instancias formato NTRIPLES...
2022-09-15 13:18:41 INFO Datex2Semantic:374 - This is info : Fichero de instancias formato NTRIPLES GENERADO.
2022-09-15 13:18:41 INFO Datex2Semantic:377 - This is info : Iniciando generación fichero instancias formato Turtle...
2022-09-15 13:18:41 INFO Datex2Semantic:387 - This is info : Fichero de instancias formato Turtle GENERADO.
2022-09-15 13:18:41 INFO Datex2Semantic:388 - This is info : Ficheros Semanticos GENERADOS.
2022-09-15 13:18:41 INFO Datex2Semantic:394 - This is info : Conectando a Virtuoso...
2022-09-15 13:18:41 INFO Datex2Semantic:404 - This is info : Conexion a Virtuoso realizada con EXITO.
2022-09-15 13:18:41 INFO Datex2Semantic:412 - This is info : Iniciando carga del modelo de instancias en Virtuoso...
2022-09-15 13:18:41 INFO Datex2Semantic:422 - This is info : Carga del modelo de instancias en Virtuoso relizada con EXITO
C:\Users\julian\eclipse-workspace\Datex2Semantic\target>
```

Ilustración 155: Resultado de la ejecución del Conversor de incidentes de tráfico LOD

La ilustración 156 muestra el conjunto de ficheros generados tras la ejecución del Conversor de incidentes de tráfico LOD.



Ilustración 156: Ficheros generados tras la ejecución del Conversor de incidentes de tráfico LOD

ANEXO II: Instalación y configuración de LodView.

Este anexo detalla el procedimiento técnico para implementar LodView como herramienta de visualización RDF en la tesis.

Requisitos

Para la instalación de LodView es necesario cumplir con los siguientes requisitos:

- **Apache Tomcat:** servidor web y contenedor de Servlets para ejecutar código Java. Versión recomendada: 9.0.
- **Apache Maven:** herramienta de construcción y gestión de dependencias para proyectos Java. Versión recomendada: 3.8.4.
- **LODView:** repositorios y documentación oficial:
 - <https://github.com/LodLive/LodView/blob/master/README.md>
 - <https://github.com/LodLive/LodView>
- **Endpoint SPARQL:** como servidor de consultas SPARQL, se recomienda Virtuoso, que proporciona una infraestructura robusta para la gestión de grandes volúmenes de datos RDF y consultas federadas.

Configuración

Para configurar LodView, se deben ajustar algunos archivos clave dentro de la estructura del proyecto:

- **Archivo pom.xml:** Ubicado en LodView-master\LodView-master\pom.xml, este archivo de Maven define las dependencias y las configuraciones del proyecto. Es importante revisar y ajustar las dependencias según las versiones necesarias y el entorno en el que se va a desplegar.
- **Nombre del archivo WAR:** Configurar el nombre del archivo WAR (Web Application Archive) es esencial para desplegar la aplicación en el servidor Apache Tomcat. Este archivo empaqueta todos los componentes de LodView y permite que la aplicación sea ejecutada en un entorno de servidor web.

Las ilustraciones 157 y 158 muestran las configuraciones del archivo pom y fichero de configuración general de la aplicación LodView

```
<project xmlns="http://maven.apache.org/POM/4.0.0" xmlns:
  <modelVersion>4.0.0</modelVersion>
  <groupId>lodroadtran18</groupId>
  <artifactId>lodroadtran18</artifactId>
  <version>1.2.1-SNAPSHOT</version>
  <packaging>war</packaging>
  <name>lodroadtran18</name>
  <description>lodroadtran18</description>
```

Ilustración 157: Configuración archivo pom de la aplicación LodView

```

57  <> a conf:Configuration;
58
59  ## first of all
60  ## IRIs namespace we use to replace the webapp base (eg. http://localhost:8080/lodview/), an
61  ## installation on dbpedia domain should use <http://dbpedia.org/resource/>
62
63  conf:IRInamespace <https://cef.uv.es/lodroadtran18/> ;
64
65  ## EndPoint
66
67  conf:endpoint <http://helios.uv.es/spargl>;
68  conf:endpointType "virtuoso";    ## just "virtuoso" is handled right now, this will add so
69                                     ## options in the footer, leave this blank if you don't w

```

Ilustración 158: Configuración del archivo general de la aplicación LodView

Compilación LODVIEW

- Ejecutar mvn package en el directorio donde se encuentran las fuentes.
- Ubicación: LodView-master\LodView-master

La Ilustración 159 muestra el resultado tras la compilación con Maven de la aplicación LodView.

```

E:\PROYECTOS EUROPEOS\LODVIEW\LodView-master\LodView-master>mvn package
[INFO] Scanning for projects...
[INFO]
[INFO] -----< lodroadtran18:lodroadtran18 >-----
[INFO] Building lodroadtran18 1.2.1-SNAPSHOT
[INFO] -----[ war ]-----
[INFO]
[INFO] --- maven-resources-plugin:2.6:resources (default-resources) @ lodroadtran18 ---
[INFO] Using 'UTF-8' encoding to copy filtered resources.
[INFO] Copying 8 resources
[INFO]
[INFO] --- maven-compiler-plugin:2.3.2:compile (default-compile) @ lodroadtran18 ---
[INFO] Compiling 14 source files to E:\PROYECTOS EUROPEOS\LODVIEW\LodView-master\LodView-master\target\classes
[INFO]
[INFO] --- maven-resources-plugin:2.6:testResources (default-testResources) @ lodroadtran18 ---
[INFO] Using 'UTF-8' encoding to copy filtered resources.
[INFO] skip non existing resourceDirectory E:\PROYECTOS EUROPEOS\LODVIEW\LodView-master\LodView-master\src\test\resources
[INFO]
[INFO] --- maven-compiler-plugin:2.3.2:testCompile (default-testCompile) @ lodroadtran18 ---
[INFO] No sources to compile
[INFO]
[INFO] --- maven-surefire-plugin:2.12.4:test (default-test) @ lodroadtran18 ---
[INFO] No tests to run.
[INFO]
[INFO] --- maven-war-plugin:2.2:war (default-war) @ lodroadtran18 ---
[WARNING] An illegal reflective access operation has occurred
[WARNING] Illegal reflective access by com.thoughtworks.xstream.core.util.Fields (file:/C:/Users/usuario/.m2/repository/com/thoughtworks/xstream/xstream/1.4.10/xstream-1.4.10.jar)
[WARNING] Please consider reporting this to the maintainers of com.thoughtworks.xstream.core.util.Fields
[WARNING] Use --illegal-access=warn to enable warnings of further illegal reflective access operations
[WARNING] All illegal access operations will be denied in a future release
[INFO] Packaging webapp
[INFO] Assembling webapp [lodroadtran18] in [E:\PROYECTOS EUROPEOS\LODVIEW\LodView-master\LodView-master\target\lodroadtran18]
[INFO] Processing war project
[INFO] Copying webapp resources [E:\PROYECTOS EUROPEOS\LODVIEW\LodView-master\LodView-master\src\main\webapp]
[INFO] Webapp assembled in [17089 msecs]
[INFO] Building war: E:\PROYECTOS EUROPEOS\LODVIEW\LodView-master\LodView-master\target\lodroadtran18.war
[INFO] WEB-INF\web.xml already added, skipping
[INFO]
[INFO] BUILD SUCCESS
[INFO]
[INFO] Total time: 28.341 s
[INFO] Finished at: 2022-07-21T11:05:38+02:00
[INFO]
E:\PROYECTOS EUROPEOS\LODVIEW\LodView-master\LodView-master>

```

Ilustración 159: Resultado tras la compilación con Maven de la aplicación LodView

Despliegue LODVIEW

Una vez compilado el código, el siguiente paso es desplegar el archivo WAR generado en la consola administrativa de Tomcat (ilustración 160).

Este archivo WAR (Web Application Archive) contiene todos los componentes necesarios para ejecutar la aplicación LodView en un entorno de servidor web. Para realizar el despliegue, se

accede a la consola de administración de Tomcat, donde se puede cargar el archivo WAR y configurar sus parámetros de despliegue.

Este proceso permite que la aplicación LodView esté disponible como un servicio web, facilitando el acceso y la visualización de datos RDF en un entorno accesible para usuarios y sistemas. Una vez desplegada en Tomcat, la aplicación puede comenzar a servir datos enlazados conforme a los estándares de LOD, proporcionando una plataforma de navegación y exploración de datos semánticos.

Nombre	Contexto	URL	Estado	Acciones
Loddy	Alguno especificado	Loddy	true	0
docs	Alguno especificado	Tomcat Documentation	true	0
lodroadtran18	Alguno especificado		true	1
lodview	Alguno especificado		true	1
manager	Alguno especificado	Tomcat Manager Application	true	1

Desplegar
Desplegar directorio o archivo WAR localizado en servidor

Trayectoria de Contexto (opcional):

Version (for parallel deployment):

URL de archivo de Configuración XML:

URL de WAR o Directorio:

Archivo WAR a desplegar

Seleccione archivo WAR a cargar: Ninguno ...ivo selec:

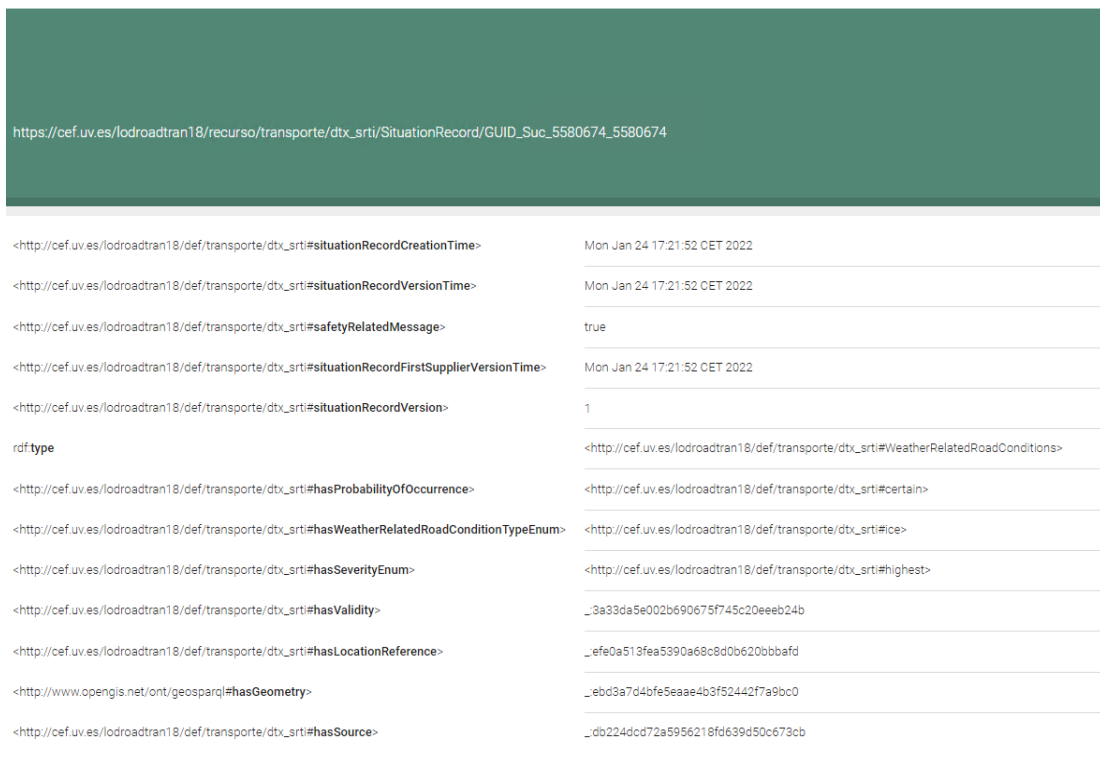
Ilustración 160: Entorno tomcat para el despliegue de la aplicación LodView

En la siguiente URL y ilustraciones, se pueden ver diferentes recursos RDF en formato HTML tras la dereferenciación con LodView.

La siguiente URL muestra un incidente relacionado con condiciones meteorológicas que afectaron la seguridad vial (*WeatherRelatedRoadCondition*) ocurrido en la provincia de Jaén: https://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_5580674_5580674. Ver ilustración 161.

Este enlace permite acceder a una representación detallada de los datos RDF en un formato legible, gracias a la interfaz de dereferenciación de LodView. Esta visualización facilita la comprensión y exploración de los datos de tráfico enlazados, proporcionando información contextualizada sobre el tipo de incidente, su localización y las condiciones que lo rodearon.

La dereferenciación de URIs mediante LodView convierte los datos en un recurso accesible para usuarios finales, permitiendo una navegación intuitiva por la información semántica. Al transformar los datos RDF en una presentación HTML clara, LodView promueve la interoperabilidad y accesibilidad, haciendo que la información sobre incidentes de tráfico sea fácilmente comprensible y explotable en análisis y aplicaciones orientadas a la seguridad vial.



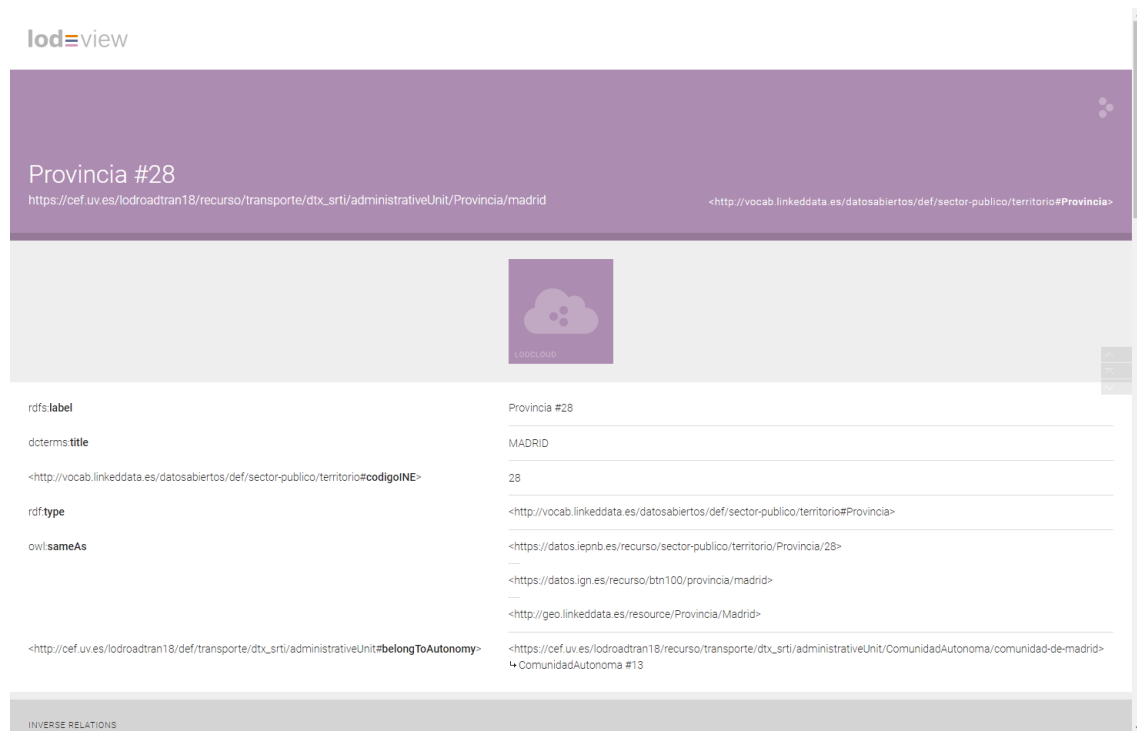
https://cef.uv.es/lodroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_5580674_5580674	
<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#situationRecordCreationTime>	Mon Jan 24 17:21:52 CET 2022
<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#situationRecordVersionTime>	Mon Jan 24 17:21:52 CET 2022
<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#safetyRelatedMessage>	true
<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#situationRecordFirstSupplierVersionTime>	Mon Jan 24 17:21:52 CET 2022
<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#situationRecordVersion>	1
rdf:type	<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#WeatherRelatedRoadConditions>
<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#hasProbabilityOfOccurrence>	<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#ice>
<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#hasWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum>	<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#ice>
<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#hasSeverityEnum>	<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#highest>
<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#hasValidity>	_3a33da5e002b690675f745c20eeeb24b
<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#hasLocationReference>	_efe0a513fea5390a68c8d0b620bbafbd
<http://www.opengis.net/ont/geosparql#hasGeometry>	_ebd3a7d4bfe5eaae4b3f52442f7a9bc0
<http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#hasSource>	_db224dcd72a5956218fd639d50c673cb

Ilustración 161: Vista web de un incidente tráfico en la aplicación LodView

La información relacionada con carreteras y unidades administrativas también está disponible en LodView, como se muestra en las ilustraciones 162, 163 y 164.

Gracias a LodView, es posible acceder y visualizar los datos RDF vinculados a las carreteras y las unidades administrativas de manera estructurada y en un formato HTML legible. Esta visualización facilita la exploración de información clave, como las características específicas de las carreteras, sus ubicaciones y las áreas administrativas a las que pertenecen, ofreciendo una experiencia de usuario que transforma los datos semánticos en recursos accesibles y útiles para una variedad de aplicaciones.

LodView permite que los usuarios naveguen por los datos de infraestructuras y jurisdicciones, accediendo a detalles específicos de cada unidad o carretera, y promoviendo la interoperabilidad de estos datos en el contexto de Datos Abiertos Enlazados. Esta capacidad no solo contribuye a una mejor comprensión de la información geográfica y administrativa, sino que también fomenta su reutilización en estudios de movilidad, planificación urbana y aplicaciones relacionadas con la gestión vial.

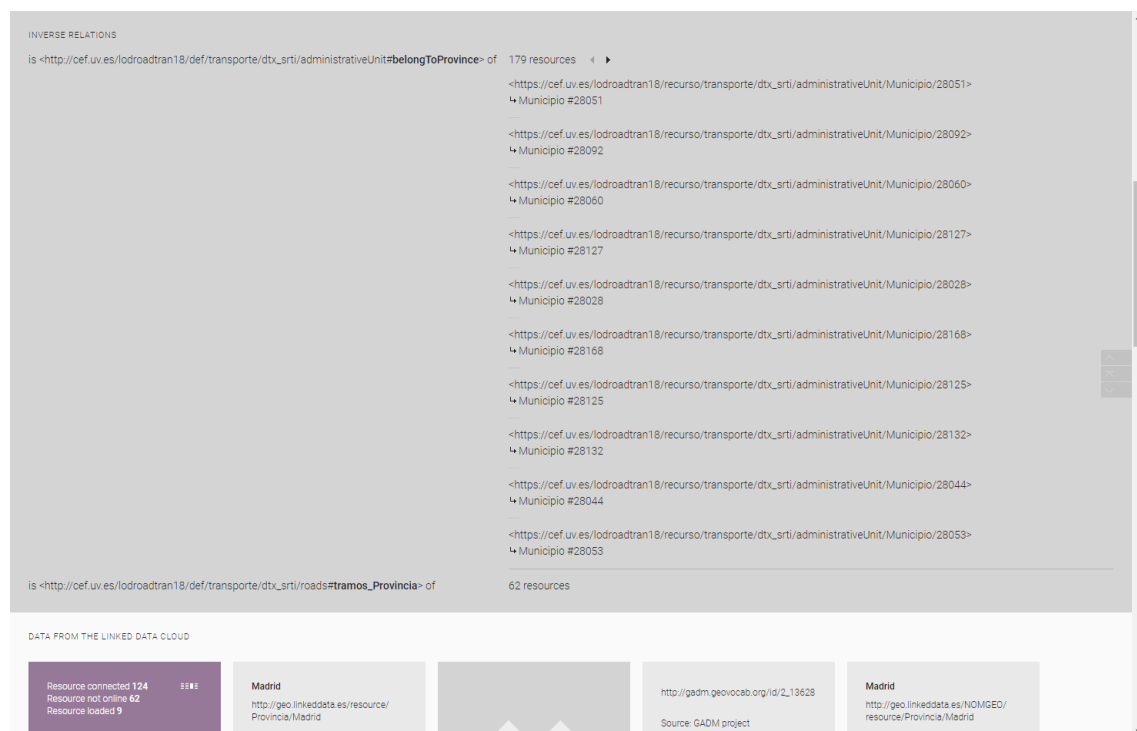


The screenshot shows the LodView interface for the administrative unit of the province of Madrid. The header displays the LodView logo and the title "Provincia #28". Below the title, the URL is shown: https://cef.uv.es/odroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/madrid. A purple cloud icon with the text "LODCLOUD" is visible. The main content area lists various RDF labels and their corresponding values:

Label	Value
<code>rdfs:label</code>	Provincia #28
<code>dcterms:title</code>	MADRID
<code><http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#codigoINE></code>	28
<code>rdfs:type</code>	<code><http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#Provincia></code>
<code>owl:sameAs</code>	<code><https://datos.jepnb.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/28></code> <code><https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/madrid></code> <code><http://geo.linkeddata.es/resource/Provincia/Madrid></code>
<code><http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srti/administrativeUnit#belongToAutonomy></code>	<code><https://cef.uv.es/odroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/ComunidadAutonoma/comunidad-de-madrid></code> - ComunidadAutonoma #13

At the bottom, there is a section for "INVERSE RELATIONS".

Ilustración 162: Vista web LodView de la unidad administrativa de la provincia de Madrid



The screenshot shows the LodView interface for the administrative unit of the province of Madrid, detailing the different municipalities within the province. The header displays the LodView logo and the title "Provincia #28". Below the title, the URL is shown: https://cef.uv.es/odroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/madrid. A purple cloud icon with the text "LODCLOUD" is visible. The main content area lists various RDF labels and their corresponding values:

Label	Value
<code>rdfs:label</code>	Provincia #28
<code>dcterms:title</code>	MADRID
<code><http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#codigoINE></code>	28
<code>rdfs:type</code>	<code><http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/sector-publico/territorio#Provincia></code>
<code>owl:sameAs</code>	<code><https://datos.jepnb.es/recurso/sector-publico/territorio/Provincia/28></code> <code><https://datos.ign.es/recurso/btn100/provincia/madrid></code> <code><http://geo.linkeddata.es/resource/Provincia/Madrid></code>
<code><http://cef.uv.es/odroadtran18/def/transporte/dtx_srti/administrativeUnit#belongToAutonomy></code>	<code><https://cef.uv.es/odroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/ComunidadAutonoma/comunidad-de-madrid></code> - ComunidadAutonoma #13

At the bottom, there is a section for "INVERSE RELATIONS".

Ilustración 163: Vista web LodView de la unidad administrativa de la provincia de Madrid detallando los diferentes municipios dentro de la provincia

ANEXO II: Instalación y configuración de LodView.

INVERSE RELATIONS

is <http://cef.uv.es/loaddran18/def/transporte/dtx_srt/administrativeUnit=belongToProvince> of 179 resources

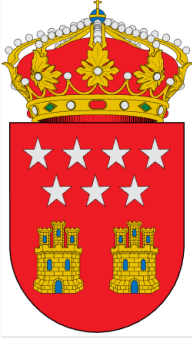
is <http://cef.uv.es/loaddran18/def/transporte/dtx_srt/roads#tramos_Provincia> of 62 resources

DATA FROM THE LINKED DATA CLOUD

Resource connected 124
Resource not online 37
Resource loaded 9

Madrid (Comunidad Autónoma)
<http://viaf.org/viaf/169605151>

BCP47 tag for 'WKP' is undetermined.
Name is 'Comunitat de Madrid'.



Madrid
<http://geo.linkeddata.es/resource/Provincia/Madrid>

7 CONNECTED RESOURCES

マドリッド州
<http://ja.dbpedia.org/resource/マドリッド州>

マドリッド州 (マドリッドシホ、スペイン語: Comunidad de Madrid) は、スペインを構成する自治州の一つ。マドリッド県 (Provincia de Madrid) と同じく一府一州の自治州である。州都・県都はマドリッド。@ja

1 CONNECTED RESOURCE

Comunidad de Madrid
http://dbpedia.org/resource/Community_of_Madrid

La Comunidad de Madrid es una comunidad autónoma de España situada en el interior de la península ibérica, en la Submeseta Sur de la Meseta Central. Limita con las provincias de Guadalajara, Cuenca y Toledo (Castilla-La Mancha), así como con las de Ávila y Segovia (Castilla y León). La Comunidad de Madrid es uniprovincial, por lo que no existe diputación. Su capital, Madrid, es también la capital de España. La población asciende a 6 779 888 habitantes (INE 2020) y se concentra mayoritariamente en el área metropolitana de Madrid. @es

89 CONNECTED RESOURCES

http://gadm.geovocab.org/id/2_13628

Source: GADM project (<http://gadm.org/>). Conversion: GADM-RGP project (<http://gadm.geovocab.org>)



Madrid
<http://geo.linkeddata.es/NOMGEO/resource/Provincia/Madrid>

1 CONNECTED RESOURCE

Comunidad de Madrid
http://yago-knowledge.org/resource/Community_of_Madrid

autonomous community of Spain @en

2 CONNECTED RESOURCES

Κοινότητα της Μαδρίτης
http://el.dbpedia.org/resource/Κοινότητα_της_Μαδρίτης

Η Κοινότητα της Μαδρίτης (ισπανικά: Comunidad de Madrid) είναι μια από τις δέκα επτά αυτόνομες κοινότητες (περιφέρειες) της Ισπανίας. Βρίσκεται στο κέντρο της χώρας, στην Ιβηρική χερσόνησο και συνεισφέρει στο κεντρικό οικόπεδο της καστίλης (Meseta Central). Γειτνιάζει μαζί με την επαρχία της Μαδρίτης και αυτός την κοινότητα με μόνο μία επαρχία. Πρωτεύουσά της είναι η πόλη της Μαδρίτης, η οποία είναι επίσης η εθνική πρωτεύουσα της Ισπανίας. @el

3 CONNECTED RESOURCES

Ilustración 164: Vista web LodView de los tramos de carreteras en la provincia de Madrid

ANEXO III: Resultados RDF del Conversor LOD.

En este anexo se incluye un ejemplo completo de los datos RDF generados por el conversor LOD (listado 59). Este ejemplo ilustra la riqueza semántica del modelo y cómo se representan los datos de tráfico, incluyendo incidentes, ubicaciones, y relaciones jerárquicas y geográficas.

```
<dtx_srti:WeatherRelatedRoadConditions
rdf:about="https://nap.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/SituationRecord/GUID_Suc_17362125_17362125">
  <dtx_srti:hasSeverityEnum
rdf:resource="http://cef.uv.es/ldroadtran18/def/transporte/dtx_srti#highest"/>
  <dtx_srti:safetyRelatedMessage>true</dtx_srti:safetyRelatedMessage>
  <dtx_srti:situationRecordVersion>3</dtx_srti:situationRecordVersion>
  <dtx_srti:hasSource>
    <dtx_srti:Source>
      <dtx_srti:sourceIdentification>conservadoras-concesionarias</dtx_srti:sourceIdentification>
      <dtx_srti:sourceCountry rdf:resource="https://www.omg.org/spec/LCC/Countries/ISO3166-1-CountryCodes/es"/>
    </dtx_srti:Source>
  </dtx_srti:hasSource>
  <dtx_srti:situationRecordFirstSupplierVersionTime
>Tue Nov 12 23:00:00 CET 2024</dtx_srti:situationRecordFirstSupplierVersionTime>
  <dtx_srti:hasWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum
rdf:resource="http://cef.uv.es/ldroadtran18/def/transporte/dtx_srti#ice"/>
  <dtx_srti:situationRecordCreationTime>Tue Nov 12 23:00:00 CET
2024</dtx_srti:situationRecordCreationTime>
  <dtx_srti:situationRecordVersionTime>Tue Nov 12 23:00:00 CET
2024</dtx_srti:situationRecordVersionTime>
  <dtx_srti:hasProbabilityOfOccurrence
rdf:resource="http://cef.uv.es/ldroadtran18/def/transporte/dtx_srti#certain"/>
  <dtx_srti:hasLocationReference>
    <dtx_srti:SingleRoadLinearLocation>
      <dtx_srti:hasLinearWithinLinearElement>
        <dtx_srti:LinearWithinLinearElement>
          <dtx_srti:directionRelativeOnLinearSection
>both</dtx_srti:directionRelativeOnLinearSection>
          <dtx_srti:hasAdministrativeAreaOfLinearSection
rdf:resource="https://nap.dgt.es/ldroadtran18/recurso/transporte/dtx_srti/administrativeUnit/Provincia/granada"/>
        </dtx_srti:LinearWithinLinearElement>
      </dtx_srti:hasLinearWithinLinearElement>
    </dtx_srti:SingleRoadLinearLocation>
  </dtx_srti:hasLocationReference>
  <dtx_srti:hasLinearElement>
    <dtx_srti:LinearElement>
      <dtx_srti:hasRoadNumber>A-4025</dtx_srti:hasRoadNumber>
    </dtx_srti:LinearElement>
  </dtx_srti:hasLinearElement>
  <dtx_srti:hasTpegLinearLocation>
    <dtx_srti:TpegLinearLocation>
      <dtx_srti:hasTpegPointTo>
        <dtx_srti:TpegNonJunctionPoint>
          <dtx_srti:hasTpegOtherPointDescriptor>
            <dtx_srti:TpegOtherPointDescriptor>
              <dtx_srti:descriptor>SIERRA NEVADA</dtx_srti:descriptor>
              <dtx_srti:tpegOtherPointDescriptorType
rdf:resource="http://cef.uv.es/ldroadtran18/def/transporte/dtx_srti#other"/>
            </dtx_srti:TpegOtherPointDescriptor>
          </dtx_srti:hasTpegOtherPointDescriptor>
          <dtx_srti:hasPointCoordinates>
            <dtx_srti:PointCoordinates>
              <geo:lon>-3.42215</geo:lon>
              <geo:lat>37.11482</geo:lat>
            </dtx_srti:PointCoordinates>
          </dtx_srti:hasPointCoordinates>
        </dtx_srti:TpegNonJunctionPoint>
      </dtx_srti:hasTpegPointTo>
      <dtx_srti:hasTpegPointFrom>
        <dtx_srti:TpegNonJunctionPoint>
          <dtx_srti:hasTpegOtherPointDescriptor>
            <dtx_srti:TpegOtherPointDescriptor>
              <dtx_srti:descriptor>SIERRA NEVADA</dtx_srti:descriptor>
              <dtx_srti:tpegOtherPointDescriptorType
rdf:resource="http://cef.uv.es/ldroadtran18/def/transporte/dtx_srti#other"/>
            </dtx_srti:TpegOtherPointDescriptor>
          </dtx_srti:hasTpegOtherPointDescriptor>
          <dtx_srti:hasPointCoordinates>
            <dtx_srti:PointCoordinates>
              <geo:lon>-3.43589</geo:lon>
              <geo:lat>37.13274</geo:lat>
            </dtx_srti:PointCoordinates>
          </dtx_srti:hasPointCoordinates>
        </dtx_srti:TpegNonJunctionPoint>
      </dtx_srti:hasTpegPointFrom>
    </dtx_srti:TpegLinearLocation>
  </dtx_srti:hasTpegLinearLocation>
  </dtx_srti:hasLinearElement>
</dtx_srti:SingleRoadLinearLocation>
</dtx_srti:hasLocationReference>
</dtx_srti:hasProbabilityOfOccurrence>
</dtx_srti:situationRecordVersionTime>
</dtx_srti:situationRecordCreationTime>
</dtx_srti:hasWeatherRelatedRoadConditionTypeEnum>
</dtx_srti:situationRecordFirstSupplierVersionTime>
</dtx_srti:hasSource>
</dtx_srti:hasSeverityEnum>
</dtx_srti:WeatherRelatedRoadConditions>
```

```

        </dtx_srti:hasPointCoordinates>
        </dtx_srti:TpegNonJunctionPoint>
        </dtx_srti:hasTpegPointFrom>
        </dtx_srti:TpegLinearLocation>
        </dtx_srti:hasTpegLinearLocation>
        <dtx_srti:hasSupplementaryPositionalDescription>
        <dtx_srti:SupplementaryPositionalDescription>
        <dtx_srti:hasCarriageway>
        <dtx_srti:Carriageway>
        <dtx_srti:hasCarriagewayEnum
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#unspecifiedCarriageway"/>
        </dtx_srti:Carriageway>
        </dtx_srti:hasCarriageway>
        </dtx_srti:SupplementaryPositionalDescription>
        </dtx_srti:hasSupplementaryPositionalDescription>
        </dtx_srti:SingleRoadLinearLocation>
        </dtx_srti:hasLocationReference>
        <geosparql:hasGeometry>
        <sf:LineString>
        <geosparql:asWKT rdf:datatype="http://www.opengis.net/ont/geosparql#wktLiteral"
37.11481857299805)></geosparql:asWKT>
        </sf:LineString>
        </geosparql:hasGeometry>
        <dtx_srti:hasValidity>
        <dtx_srti:Validity>
        <dtx_srti:hasValidityStatus
rdf:resource="http://cef.uv.es/lodroadtran18/def/transporte/dtx_srti#active"/>
        <dtx_srti:validityTimeSpecification>
        <dtx_srti:OverallPeriod>
        <time:hasBeginning>
        <time:Instant>
        <time:inXSDDateTime
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#dateTime"
>2024-11-12T22:00:00.331Z</time:inXSDDateTime>
        </time:Instant>
        </time:hasBeginning>
        </dtx_srti:OverallPeriod>
        </dtx_srti:validityTimeSpecification>
        </dtx_srti:Validity>
        </dtx_srti:hasValidity>
        </dtx_srti:WeatherRelatedRoadConditions>

```

Listado 59: Ejemplo completo de los datos RDF generados por el conversor LOD

REFERENCIAS

- [1] W3C. *RDF*. Disponible en: <https://www.w3.org/RDF/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [2] Pascal Hitzler, Markus Krotzsch and Sebastian Rudolph, *Foundations of Semantic Web Technologies*. CRC Press, 2009.
- [3] S. González Gerpe. *Integración de datos meteorológicos heterogeneos basada en tecnologías semánticas para la mejora de la eficiencia energética en edificios*. Disponible en: <https://oa.upm.es/63708/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [4] OGC. *GeoSparql*. Disponible en: <https://www.ogc.org/publications/standard/geosparql/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [5] Asprino, Luigi and Daga, Enrico and Gangemi, Aldo and Mulholland, Paul, "Knowledge Graph Construction with a Facade: A Unified Method to Access Heterogeneous Data Sources on the Web," *ACM Transactions on Internet Technology*, vol. 3, (1), pp. 1–31, 2022. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3555312>. DOI: 10.1145/3555312.
- [6] Christian Bizer, T. Heath and T. Berners-Lee, "Linked Data - The Story So Far," *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)*, vol. 5, (3), 2009. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3591366.3591378>. DOI: 10.1145/3591366.3591378.
- [7] DATEX II *SRTI Profile*. Disponible en: <https://docs.datex2.eu/profiles/srti.html>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [8] A Gomez and O. Corcho, "Ontology languages for the Semantic Web. Intelligent Systems," *IEEE Intelligent Systems*, vol. 17, (1), pp. 54–60, 2002. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/988453>. DOI: 10.1109/5254.988453.
- [9] AEMET. *Integración de la prestación de servicios meteorológicos para el transporte terrestre*. Disponible en: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/7290/1/BolOMM_65_2%20%283%29.pdf. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [10] Hoang Phuong Nguyen a, Phuoc Quy Phong Nguyen b, Viet Duc Bui, "Applications of Big Data Analytics in Traffic Management in Intelligent Transportation Systems," *International Journal on Informatics Visualization*, vol. 6, (1), 2022. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/361967218_Applications_of_Big_Data_Analytics_in_Traffic_Management_in_Intelligent_Transportation_Systems/fulltext/636c6f4837878b3e879987e3/Applications-of-Big-Data-Analytics-in-Traffic-Management-in-Intelligent-Transportation-Systems.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNOUGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn9. DOI: 10.30630/joiv.6.1-2.882.
- [11] &. Steve Harris and Andy Seaborne. *SPARQL 1.1 Query Language*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/sparql11-query/>. Último acceso: Feb 16, 2025.

- [12] AWS. *¿Qué es API RESTful?*. Disponible en: <https://aws.amazon.com/es/what-is/restful-api/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [13] Ian Horrocks, Peter F., Patel-Schneider, Harold Boley, Said Tabet, Benjamin Grosf and Mike Dean. *SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML*. Disponible en: <https://www.w3.org/submissions/SWRL/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [14] W3C. *R2RML: RDB to RDF Mapping Language*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/r2rml/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [15] Michael Schmidt, Thomas Hornung, Georg Lausen and Christoph Pinkel, "A SPARQL performance benchmark," *2009 IEEE 25th International Conference on Data Engineering*, 2009. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4812405>. DOI: 10.1109/ICDE.2009.28.
- [16] Stanford University. *Protégé*. Disponible en: <https://protege.stanford.edu/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [17] European Union, "Directiva (UE) 2019/1024," 20/06, 2019. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32019L1024>.
- [18] EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, "Directiva ITS (2010/40/UE).", 2010. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:207:0001:0013:ES:PDF>.
- [19] NAPCORE EU. *DATEX II - European standard for traffic and travel information*. Disponible en: <https://datex2.eu/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [20] European Comission. *DCAT-AP*. Disponible en: <https://joinup.ec.europa.eu/release/dcat-ap-how-use-mdr-data-themes-vocabulary>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [21] European Union, "Directiva 2003/98/CE," 17/11, 2003. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32003L0098>.
- [22] EUROPEAN UNION, "Commission Delegated Regulation (EU) No 885/2013," 15 May, 2013. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0885&from=EN>.
- [23] EUROPEAN UNION, "COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) No 886/2013", 2013. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0886&from=BG>.
- [24] EUROPEAN UNION, "Commission Delegated Regulation (EU) No 2015/962", 23.6, 2015. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R0962&from=EN>.
- [25] EUROPEAN UNION, "Commission Delegated Regulation (EU) 2017/1926," 21.10, 2017. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1926&from=EN>.

- [26] W3C. *DCAT*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/vocab-dcat-3/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [27] Semiceu community. *GeoDCAT-AP*. Disponible en: <https://semiceu.github.io/GeoDCAT-AP/drafts/latest/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [28] Semiceu community. *StatDCAT-AP*. Disponible en: <https://github.com/SEMICEU/StatDCAT-AP>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [29] Oasis Team. *TransportDCAT-AP*. Disponible en: <https://github.com/dachafra/TransportDCAT-AP>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [30] W3C. *SKOS Simple Knowledge Organization System Reference*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/skos-reference/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [31] Open Knowledge Foundation. *CKAN*. Disponible en: <https://ckan.org/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [32] Patricio Del Boca. *ckanext-harvest - Remote harvesting extension*. Disponible en: <https://github.com/ckan/ckanext-harvest>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [33] Open Knowledge Foundation. *ckanext-dcat plugin for CKAN*. Disponible en: <https://extensions.ckan.org/extension/dcat/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [34] European ITS Platform, "SPA CMC. Coordinated Metadata Catalogue. EU EIP SA46," 2019. Disponible en: https://www.its-platform.eu/wp-content/uploads/ITS-Platform/AchievementsDocuments/NAP/EU%20EIP_Coord.%20Metadata%20Catalogue_v2.0_191115.pdf.
- [35] BOE, "Ley 37/2007, de 16 de noviembre," 17/11, 2007. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-19814>.
- [36] BOE, "Real Decreto 1495/2011," 24/10, 2007. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-17560>.
- [37] Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, "NTI-RISP," 2013. Disponible en: [https://www.boe.es/eli/es/res/2013/02/19/\(4\)](https://www.boe.es/eli/es/res/2013/02/19/(4)).
- [38] Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, "NTI. Norma Técnica de Interoperabilidad," 2013. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-2380.
- [39] Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes, "Ley 18/2015," 10/07, 2007. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2015-7731>.
- [40] AENOR. *UNE 178301:2015*. Disponible en: <https://en.tienda.aenor.com/Paginas/normas-y-libros/Normas/Norma-UNE.aspx?c=norma-une-178301-2015-n0054318&TermStoreId=30422a6b-6877-4e28-82d6-96d5dac7e3b1&TermSetId=c0c24438-f227-4594-9eb7-30942b744d4d&TermId=a6205381-407e-49e3-af39-347d62f8b1ff>.

- [41] Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes, "Real Decreto-ley 24/2021," 03/11, 2021. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-17910.
- [42] Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública, "APORTA INITIATIVE," 2009. Disponible en: <https://datos.gob.es/es/acerca-de-la-iniciativa-aporta>.
- [43] Dirección General de Tráfico (DGT), Ministerio del Interior. *Web de la Dirección General de Tráfico*. Disponible en: <https://www.dgt.es/inicio/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [44] European Union. *Open data in Europe 2024*. Disponible en: <https://data.europa.eu/en/publications/open-data-maturity/2024>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [45] Ministerio para la transformación digital y de la función pública. *Portal de datos abiertos España*. Disponible en: <https://datos.gob.es/es/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [46] Dirección General de Tráfico (DGT), Ministerio del Interior. *NAP de la DGT*. Disponible en: <https://nap.dgt.es/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [47] Ministerio de transporte y movilidad sostenible. *Información sobre líneas regulares de transporte de viajeros por carretera*. Disponible en: <https://apps.fomento.gob.es/portalsitranbus/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [48] Ministerio de transporte y movilidad sostenible. *Aplicación SIRDE*. Disponible en: <https://www.transportes.gob.es/transporte-terrestre/sistemas-inteligentes-de-transporte/sistemas-inteligentes-de-transporte-its/sirde>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [49] Ministerio de interior. *Operación paso del estrecho*. Disponible en: <https://www.proteccioncivil.es/coordinacion/campanas/operaci%C3%B3n-paso-del-estrecho>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [50] Ministerio de transportes y movilidad sostenible. *Punto de acceso nacional de datos del transporte*. Disponible en: <https://nap.transportes.gob.es/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [51] Dirección General de Tráfico (DGT), Ministerio del Interior. *Mapa de movilidad*. Disponible en: <http://mapamovilidad.dgt.es/home.htm>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [52] Dirección General de Tráfico (DGT), Ministerio del Interior. *Infocar*. Disponible en: <https://infocar.dgt.es/etraffic/>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [53] Ministerio de transporte y movilidad sostenible. *Aparcamiento seguros*. Disponible en: <https://portalweb.mitma.es/aplicaciones/portalweb/VisorMapaDGC/AparcamientosSeguros>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [54] European Union. *European ITS Platform*. Disponible en: <https://www.its-platform.eu/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [55] European Union. *NAPCORE*. Disponible en: <https://napcore.eu/>. Último acceso: Feb 23, 2025.

- [56] NAPCORE EU, "Cuarto Informe sobre la Disponibilidad de Datos NAP," Ene 30, 2024. Disponible en: https://www.napcore.eu/documents/M3.5_4th_report_NAP_data_availability.pdf.
- [57] datos.gob.es. *Guía de aplicación de la Norma Técnica de Interoperabilidad*. Disponible en: <https://datos.gob.es/es/documentacion/guia-de-aplicacion-de-la-norma-tecnica-de-interoperabilidad-de-reutilizacion-de>. Último acceso: Ene 23, 2025.
- [58] datos.gob.es. *Identificación de la cobertura geográfica en España*. Disponible en: <https://datos.gob.es/en/recurso/sector-publico/territorio>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [59] datos.gob.es. *Identificación de los organismos públicos*. Disponible en: <https://datos.gob.es/es/recurso/sector-publico/org/Organismo>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [60] datos.gob.es. *Taxonomía de sectores primarios*. Disponible en: <https://datos.gob.es/en/kos/sector-publico/sector>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [61] *Portal de datos abiertos de Castilla y León*. Disponible en: <https://datosabiertos.jcyl.es>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [62] Ayuntamiento de Barcelona. *Extensión CKAN federagobes*. Disponible en: <https://github.com/AjuntamentdeBarcelona/ckanext-federagobes>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [63] Ayuntamiento de Madrid. *Portal de datos abiertos de Madrid*. Disponible en: <https://datos.madrid.es/portal/site/egob>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [64] *Portal de datos abiertos CRTM*. Disponible en: <https://data-crtm.opendata.arcgis.com/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [65] *Open Data Cáceres*. Disponible en: <https://opendata.ayto-caceres.es/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [66] Ayuntamiento de Zaragoza. *Portal de datos abiertos ayuntamiento de Zaragoza*. Disponible en: <https://www.zaragoza.es/sede/portal/datos-abiertos/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [67] *Open Data Aragón*. Disponible en: <https://opendata.aragon.es/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [68] Ministerio de la transformación digital de y de la función pública. *Cómo implementar Linked Data: caso real del portal Aragón Open Data*. Disponible en: <https://datos.gob.es/es/documentacion/como-implementar-linked-data-caso-real-del-portal-aragon-open-data>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [69] *Portal de datos abiertos de Valencia*. Disponible en: <https://valencia.opendatasoft.com/pages/home/?flg=es-es>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [70] European Union. *LOD-RoadTran18. Supporting the cross-border use of Road Traffic Data with Linked Open Data based on DATEX II*. Disponible en: <https://cef.uv.es/lodroadtran18/index.php/en/>. Último acceso: Feb 23, 2025.

- [71] Samir Tartir, Ismailcem Budak Arpinar, Michael Moore and Amit Sheth, "OntoQA: Metric-Based Ontology Quality Analysis," *IEEE ICDM 2005 Workshop on Knowledge Acquisition from Distributed, Autonomous, Semantically Heterogeneous Data and Knowledge Sources*, Nov, 2005. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266795541_OntoQA_Metric-Based_Ontology_Quality_Analysis.
- [72] Megan Katsumi and Mark Stephen Fox, "Ontologies for Transportation Research: A Survey," *Transportation Research Part C Emerging Technologies*, vol. 89, pp. 53–82, 2018. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/324141407_Ontologies_for_Transportation_Research_A_Survey. DOI: 10.1016/j.trc.2018.01.023.
- [73] European Comission. *REWERSE*. Disponible en: <https://cordis.europa.eu/project/id/506779>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [74] Mihai Codescu, Gregor Horsinka, Oliver Kutz, Till Mossakowski y Rafaela Rau. *OSMonto ONTOLOGY*. Disponible en: <https://github.com/doroam/planning-doroam/tree/master/Ontology>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [75] Daniel Dardailler. *Road Accident Ontology*. Disponible en: <https://www.w3.org/2012/06/rao.html>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [76] k. o. DISIT lab: info@disit.org and P. N. Pierfrancesco Bellini Mirco Soderi. *Km4city ontology source*. Disponible en: <http://wloode.disit.org/WLODE/extract?url=http://www.disit.org/km4city/schema>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [77] David Corsar, Milan Markovic, Peter Edwards, and John D. Nelson, "The Transport Disruption Ontology," Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-25010-6_22. DOI: 10.1007/978-3-319-25010-6_22.
- [78] Javier Chamorro (CRTM), José María Díez (Ayuntamiento de Burgos), Luis Criado (CRTM), María Jesús Fernández Ruíz (Ayuntamiento de Zaragoza), Oscar Corcho (Ontology Engineering Group, Universidad Politécnica de Madrid, and LocaliData) and Rodrigo Medrano Calderón (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos). *Vocabulario para la representación de datos de la infraestructura de medios de transporte*. Disponible en: <http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/transporte/transporte-publico/index-en.html>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [79] Oscar Corcho. *Vocabulario para la representación de datos sobre tráfico*. Disponible en: <http://vocab.linkeddata.es/datosabiertos/def/transporte/trafico/index-en.html>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [80] Pieter Colpaert (Open Knowledge | iMinds - Ghent University - MultiMedia Lab), Andrew Byrd (Conveyal). *Linked GTFS*. Disponible en: <https://github.com/OpenTransport/linked-gtfs>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [81] Open Summer of Code. *Open Summer Code 2016*. Disponible en: <https://2016.osoc.be/>. Último acceso: Feb 23, 2025.

- [82] Pieter Colpaert. *vocab.datex*. Disponible en: <https://lov.linkeddata.es/dataset/lov/vocabs/datex>. Último acceso: Feb 16, 2025.
- [83] Martin Brümmer, Annette Weilandt and Niklas Petersen. *MobiVoc: Open Mobility Vocabulary*. Disponible en: <http://schema.mobivoc.org/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [84] J. Javier Samper, F. Javier Adell, Jose Fco. García, J. José Martínez and Jose Vidal, "Semantic Traffic Applications based on DatexII ," 2009. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/1551722.1551729>. DOI: 10.1145/1551722.1551729.
- [85] Julián Gutiérrez Moret, J. Javier Samper-Zapater, Ana M. Delgado, J. Macario Rocha, Gustavo Tena, Francisco.R.Soriano, "A Comprehensive Analysis of Ontologies Related to Safety Related Traffic Information for Road Traffic," *Eatis 2024*, 2024. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3685243.3685291>. DOI: 10.1145/3685243.3685291.
- [86] OpenLink Software. *Virtuoso Open-Source Edition*. Disponible en: <https://vos.openlinksw.com/owiki/wiki/VOS>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [87] Apache Jena. *Apache Jena Fuseki*. Disponible en: <https://jena.apache.org/documentation/fuseki2/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [88] Apache Jena. *Apache Jena*. Disponible en: <https://jena.apache.org/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [89] Eclipse Foundation. *RDF4J*. Disponible en: <https://rdf4j.org/release-notes/3.2.0/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [90] Daniel 'eikeon' Krech. *RDFLib*. Disponible en: <https://pypi.org/project/rdfliib/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [91] Anonymous *DR2Q - Accessing Relational Databases as Virtual RDF Graphs*. Disponible en: <http://d2rq.org/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [92] Hitachi Vantara. *Pentaho Data Integration (PDI)*. Disponible en: <https://pentaho.com/products/pentaho-data-integration/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [93] Sebastián Ramírez. *FastApi*. Disponible en: <https://fastapi.tiangolo.com/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [94] Oracle. *JAXB*. Disponible en: <https://javaee.github.io/jaxb-v2/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [95] Diego Valerio Camarda, Konrad Höffner, Adrian Gschwend, Sergio Fernández, and Herminio García González. *LODVIEW*. Disponible en: <https://github.com/LodLive/LodView>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [96] Daniel Garijo Verdejo. *Wizard for Documenting Ontologies (WIDOCO)*. Disponible en: <https://github.com/dgarijo/Widoco>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [97] R. T. Pieter Bonte, "Streaming Linked Data: A Survey on Life Cycle Compliance," *Journal of Web Semantics*, vol. 77, 2023. Disponible en: <https://hal.science/hal->

[04172411/file/Journal_Streaming_Linked_Data_Lifecycle.pdf](#). DOI: 10.1016/j.websem.2023.100785.

[98] M. Fernández-López & nbsp, A. Gómez-Pérez and N. Juristo Juzgado. *METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering*. Disponible en: <https://oa.upm.es/5484/>. Último acceso: Feb 23, 2025.

[99] Ministerio de transportes y movilidad sostenible. *IGN. (Instituto Geográfico Nacional)*. Disponible en: <https://www.ign.es/web/ign/portal>. Último acceso: Feb 23, 2025.

[100] European Union. *INSPIRE*. Disponible en: https://knowledge-base.inspire.ec.europa.eu/index_en. Último acceso: Feb 23, 2025.

[101] European Union. *EUROSTAT*. Disponible en: <https://ec.europa.eu/eurostat/home>. Último acceso: Feb 23, 2025.

[102] OGC. *Open Gis*. Disponible en: <https://www.ogc.org/es/publications/standard/wms/>. Último acceso: Feb 23, 2025.

[103] Paola Espinoza-Arias, Miguel García-Delgado, Oscar Corcho and Pedro Vivas-White & Hugo Potti-Manjavacas, "A sustainable process and toolbox for geographical linked data generation and publication: a case study with BTN100," *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40965-019-0060-4>. DOI: 10.1186/s40965-019-0060-4.

[104] W3C. *Ontología TIME*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/owl-time/>. Último acceso: Feb 23, 2025.

[105] Megan Katsumi. *The Ontology of Units of Measure*. Disponible en: <https://enterpriseintegrationlab.github.io/icity/OM/doc/index-en.html>. Último acceso: Feb 23, 2025.

[106] Anonymous *QUDT CATALOG - Quantities, Units, Dimensions and Data Types Ontologies*. Disponible en: <https://www.qudt.org/2.1/catalog/qudt-catalog.html>.

[107] S. S. Yulia Svetashova Andreas Harth, "Towards Semantic Model Extensibility in Interoperable IoT Data Exchange Platforms," *IEEE Xplore*, 2018. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8534561>. DOI: 10.1109/GIOTS.2018.8534561.

[108] A. Z. Maxime Lefrançois. *Custom Datatypes*. Disponible en: https://ci.mines-stetienne.fr/lindt/v3/custom_datatypes. Último acceso: Feb 23, 2025.

[109] Julian Gutierrez, J. Javier Samper, Ana Delgado, Jose Rocha, Bures Petr and Purkrabkova Zuzana, "LOD-RoadTran18: Supporting the cross-border use of Road Traffic Data with Linked Open Data based on DATEX II," Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3544538.3544651>. DOI: 10.1145/3544538.3544651.

[110] J. J. Samper-Zapater, J. Gutiérrez-Moret, J. M. Rocha, J. J. Martínez-Durá and V. R. Tomás, "Semantic Modelling Approach for Safety-Related Traffic Information Using DATEX II," *Information*, vol. 15, (3), 2024. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2078-2489/15/1/3>. DOI: 10.3390/info15010003.

- [111] Mario Scrocca, Marco Grassi, Marco Comerio, Valentina Anita Carriero, Tiago Delgado Dias, Ana Vieira Da Silva & Irene Celino, "Intelligent Urban Traffic Management via Semantic Interoperability across Multiple Heterogeneous Mobility Data Sources," *The Semantic Web – ISWC 2024 (ISWC 2024)*, -11-27, 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.10539>. DOI: 10.48550/arXiv.2407.10539.
- [112] Marcelo, Arenas, Jorge and Pérez, "Querying semantic web data with SPARQL," 2011. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/1989284.1989312>. DOI: 10.1145/1989284.1989312.
- [113] European ITS Platform. *napDCAT-AP*. Disponible en: <https://www.its-platform.eu/wp-content/uploads/ITS-Platform/AchievementsDocuments/NAP/EU%20EIP%20-%20DCAT-AP%20extension%20for%20Metadata%20in%20NAPs%20-%20Oct%202020.pdf>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [114] Mario Scrocca, Antonia Azzini, Petr Bureš, Marco Comerio, Peter Lubrich, "Towards napDCAT-AP: Roadmap and Requirements for a Transportation Metadata Specification," *SEMANTICS 2022 EU: 18th International Conference on Semantic Systems*, 2022. Disponible en: <https://ceur-ws.org/Vol-3235/paper22.pdf>.
- [115] C. y. E. Ministerio de Economía. *INE*. Disponible en: <https://www.ine.es/>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [116] Ministerio de transporte y movilidad sostenible. *Catalogo de carreteras*. Disponible en: <https://catalogorce.transportes.gob.es/descarga-catalogo>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [117] Microsoft. *Power BI*. Disponible en: <https://www.microsoft.com/es-es/power-platform/products/power-bi>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [118] Portal de datos abiertos europeo. *Validador DCAT-AP*. Disponible en: <https://data.europa.eu/mqa/shacl-validator-ui/data-provision>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [119] georgepm. *ckanext-sparql*. Disponible en: <https://github.com/georgepm/ckanext-sparql>. Último acceso: Feb 23, 2025.
- [120] European Union. *European Data Portal*. Disponible en: <https://data.europa.eu/en>. Último acceso: Feb 23, 2025.

PUBLICACIONES

A lo largo del desarrollo de esta tesis, se han generado varias publicaciones que reflejan los avances y resultados obtenidos. Estas publicaciones han permitido compartir el trabajo realizado con la comunidad académica y profesional, contribuyendo al avance en el campo de la gestión de información relacionada con la seguridad vial y los sistemas de transporte inteligentes. A continuación, se listan las publicaciones derivadas de esta investigación:

1. **Julián Gutiérrez Moret et al.** "*LOD-RoadTran18: Supporting the cross-border use of Road Traffic Data with Linked Open Data based on DATEX II*". Publicado en los Proceedings de ACM EATIS 2022. Disponible en:
<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3544538.3544651>
2. **J. Javier Samper-Zapater et al.** "*Semantic Modelling Approach for Safety-Related Traffic Information Using DATEX II*". Publicado en la revista *Information* (MDPI), Volumen 15, Número 1, 2024. Disponible en:
<https://www.mdpi.com/2078-2489/15/1/3>
3. **Julián Gutiérrez Moret et al.** "*A Comprehensive Analysis of Ontologies Related to Safety-Related Traffic Information for Road Traffic*". Presentado en la conferencia ACM EATIS 2024. Disponible en los Proceedings:
<https://doi.org/10.1145/3685243.3685291>