

CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA ONTOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE SOLUCIONES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL ORIENTADAS AL RETO DEMOGRÁFICO

CONSTRUCTION AND VALIDATION OF AN ONTOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SOLUTIONS AIMED AT THE DEMOGRAPHIC CHALLENGE

Jorge DOMÍNGUEZ

Universidad de Salamanca. Salamanca, Castilla y León, España

✉ jorge.dommar@usal.es

🌐 <https://orcid.org/0009-0005-4665-5437>

RESUMEN: Este trabajo presenta la construcción y la validación de una ontología estructurada como base de conocimiento para el desarrollo de soluciones de IA orientadas al reto demográfico. El proyecto aborda dominios clave como suelos, Industria 4.0, servicios inteligentes, entre otros.

Palabras clave: ontología; base de conocimiento; reto demográfico; territorio inteligente; GeoSPARQL; Industria 4.0.

ABSTRACT: This work presents the construction and validation of a structured ontology as a knowledge base for the development of AI solutions aimed at addressing demographic challenges. The project addresses key domains such as land, Industry 4.0, and smart services, among others.

Keywords: ontology; knowledge base; demographic challenge; smart territory; GeoSPARQL; Industry 4.0.

1. INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente de los territorios rurales y la lucha contra la despoblación requieren superar la fragmentación de datos existentes entre sectores estratégicos. Las soluciones de

software tradicionales tienden a crear «silos de datos» que impiden una visión integral del territorio [1], dificultando la implementación de políticas públicas efectivas como las relacionadas con la PAC o los fondos *NextGen*. En este contexto, la adopción de tecnologías de la web semántica y el modelado ontológico se presenta como una solución robusta para garantizar la interoperabilidad y la representación formal del conocimiento [2].

El concepto de *Smart Village* o territorio inteligente implica la integración de dimensiones físicas, sociales y digitales [3]. Sin embargo, la mera digitalización de activos no es suficiente si no existe una capa semántica que conecte, por ejemplo, la producción agrícola con la demanda energética industrial o la oferta turística con la revitalización demográfica.

Este proyecto describe el desarrollo de una «ontología de integración» que actúa como un *hub* semántico, unificando cuatro ontologías de dominio vertical previamente desarrolladas (Agricultura, Industria, Despoblación y Turismo). El objetivo no es crear un mero contenedor, sino una capa de orquestación capaz de modelar reglas de negocio transversales y responder a preguntas complejas que ninguna ontología sectorial podría resolver por sí sola.

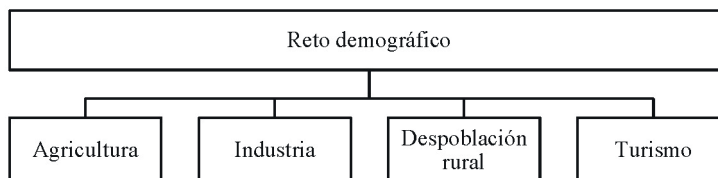
2. METODOLOGÍA Y ESTÁNDARES

Para abordar la complejidad inherente al reto demográfico se ha descartado el desarrollo de una ontología monolítica en favor de una arquitectura modular y federada. Este enfoque facilita la reutilización, la gestión de la complejidad y el mantenimiento descentralizado del conocimiento [4].

La metodología de construcción se ha alineado con estándares consolidados para asegurar la interoperabilidad industrial europea. El desarrollo extiende el ecosistema SAREF (*Smart Appliances REFerence ontology*) del ETSI, integrando extensiones específicas como SAREF4Agri o SAREF4City y complementándose con estándares geoespaciales como GeoSPARQL para la localización precisa de activos en el territorio.

El ciclo de vida del desarrollo ontológico ha seguido una metodología iterativa basada en las prácticas de ingeniería ontológica establecidas [5, 6], utilizando *Turtle* (.ttl) como formato nativo por su compatibilidad con los estándares W3C (RDF/OWL) y herramientas de validación lógica formal como el razonador *HermiT*.

Figura 1. Arquitectura jerárquica del enfoque modular federado



3. ONTOLOGÍA DE INTEGRACIÓN

Esta ontología de integración constituye el núcleo de la propuesta. Su función principal es modelar las interdependencias complejas de un territorio real, donde las decisiones en un sector repercuten inevitablemente en otros.

3.1. REGLAS DE NEGOCIO TRANSVERSALES

La integración se materializa mediante la definición de clases y propiedades «puente» que conectan dominios disjuntos provenientes de los módulos verticales. Se han implementado tres reglas de negocio principales que sustentan la lógica del grafo: economía circular (flujo de valorización de residuos), sinergia turismo-sociedad (importancia de activos turísticos) y cadena de valor agroindustrial (trazabilidad completa desde la producción en el sector primario hasta la industria de transformación).

3.2. ANÁLISIS MÉTRICO Y ONTOLOGÍA RESULTANTE

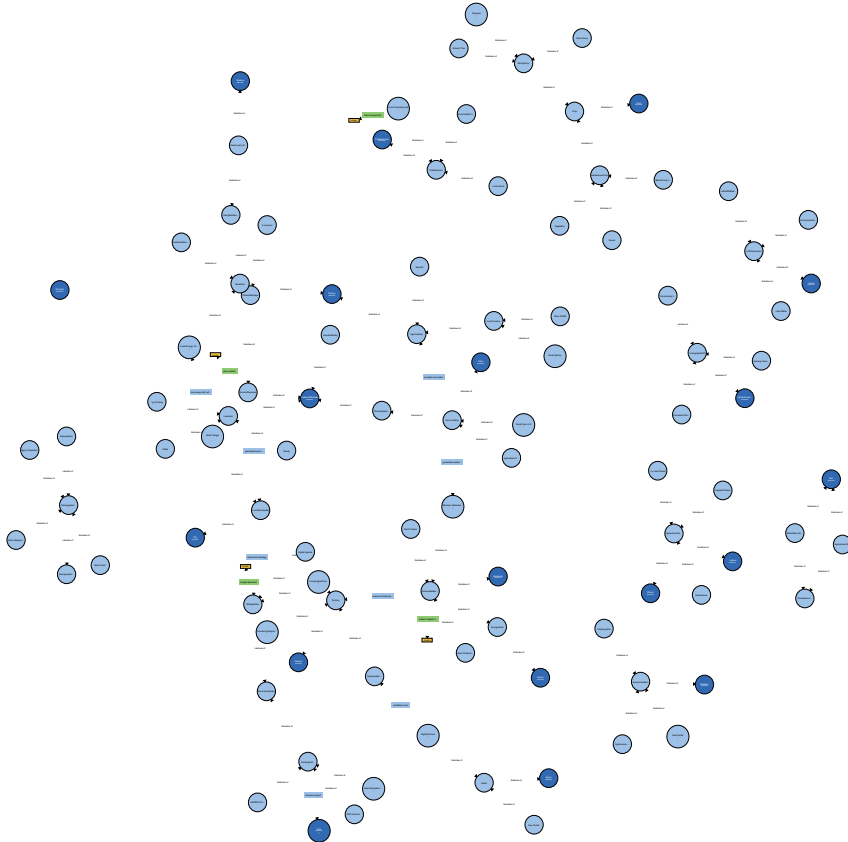
La robustez de esta ontología se evidencia en sus métricas estructurales, las cuales reflejan la suma del conocimiento federado y la complejidad de las reglas de integración. El análisis cuantitativo realizado con la herramienta de construcción (*Protégé*) arroja los siguientes resultados:

Tabla 1. Métricas de la ontología de integración

Métrica	Valor	Interpretación
Número de clases	100	Conceptos que cubren el espectro completo del territorio rural.
Propiedades de objeto	8	Relaciones «puente» de alto nivel definidas anteriormente que conectan dominios disjuntos. Permiten la trazabilidad circular entre sectores.
Propiedades de datos	4	Definidas específicamente para la capa de gestión y gobernanza (e. g. presupuestos de estrategias o KPIs agregados), necesarias para evaluar el escenario global.
Individuos	12	Instancias que verifican el escenario expuesto.
Axiomas lógicos	135	Indicador de densidad de reglas lógicas, un valor elevado indica un gran número de restricciones y definiciones formales utilizadas para inferir conocimiento.
Total de axiomas	316	Carga total de información de la ontología. Una magnitud elevada evidencia un alto grado de documentación y formalización.

El elevado número de clases y axiomas lógicos indican un alto grado de cobertura del espectro completo del territorio rural, esencial para inferir nuevo conocimiento automáticamente [7].

Figura 2. Grafo vectorizado de la ontología de integración generado con *Widoco*



4. CONCLUSIONES

La construcción de esta ontología representa un avance significativo en la aplicación de inteligencia artificial para el reto demográfico. Al federar el conocimiento de dominios clave bajo estándares europeos, se ha logrado pasar de silos de información aislados a un grafo de conocimiento conectado y razonable, sirviendo como base sólida para futuros sistemas de soporte a la decisión en la Administración Pública y el sector privado.

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación forma parte del Proyecto de Cátedra Internacional sobre Inteligencia Artificial Fiable y Reto Demográfico dentro de la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial (ENIA), en el marco del Plan Europeo de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Referencia: TSI-100933-2023-0001. Este proyecto está financiado por la Secretaría de Estado para la Digitalización y la Inteligencia Artificial y por la Unión Europea (Next Generation).

6. REFERENCIAS

1. He, X., Kuai, X., Li, X., Qiu, Z., He, B., & Guo, R. (2025). Smart city ontology framework for urban data integration and application. *Smart Cities*, 8, Artículo 165. <https://doi.org/10.3390/smartcities8050165>
2. Pinto, A., Cardinale, Y., Dongo, I., & Ticona-Herrera, R. (2022). An ontology for modeling cultural heritage knowledge in urban tourism. *IEEE Access*, 10, 61820-61842. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3179664>
3. Żukowska, S., Chmiel, B., & Połom, M. (2023). The smart village concept and transport exclusion of rural areas: A case study of a village in northern Poland. *Land*, 12(1), Artículo 260. <https://doi.org/10.3390/land12010260>
4. Huang, Y., Dhoub, S., Medinacelli, L. P., & Malenfant, J. (2023). Semantic interoperability of digital twins: Ontology-based capability checking in AAS modeling framework. In *Proceedings - 2023 IEEE 6th International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICPS58381.2023.10128003>
5. Vallbé, J.-J., & Barrera, M. F. (s.f.). *Lecturas sobre derecho y web semántica*.
6. Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2001). *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology* (Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05). Stanford University.
7. Kakderi, C., & Panori, A. (2021). *The smart city ontology 2.0: Assessing the components and interdependencies of city smartness* (Preprint). Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202108.0101.v1>