

Universidad de Alcalá

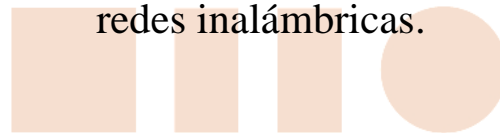
Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería en Tecnologías de la
Telecomunicación



Trabajo Fin de Grado

Desarrollo de ontología para la gestión
del conocimiento en el dominio de las
redes inalámbricas.



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR

Autor: Luis Alberto Rodríguez Martínez

Tutor/es: Susel Fernández Melián

2022

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
Escuela Politécnica Superior

**Grado en Ingeniería en Tecnologías de la
Telecomunicación**

Trabajo Fin de Grado
**Desarrollo de ontología para la gestión
del conocimiento en el dominio de las
redes inalámbricas**

Autor: Luis Alberto Rodríguez Martínez

Tutor: Susel Fernández Melián

TRIBUNAL:

Presidente: Iván Marsá Maestre

Vocal 1º: Bernardo Alarcos Alcázar

FECHA: 16/02/2022

*“No puedo menos de interesarme en favor
del que a navegar se apresta en el
mismo borrascoso mar.”*

Marco Tulio Cicerón.

Resumen

En estos últimos años, la ausencia de cableado en las redes inalámbricas ha favorecido la separación del mundo de las redes fijas. El uso de ontologías como modelos computacionales de cualquier dominio permite desarrollar cierto grado de razonamiento.

El objetivo principal de este proyecto final de carrera será la realización de un primer prototipo de ontología que permita modelar todos los conceptos y sus relaciones, dentro de las redes inalámbricas. La tecnología de sistema de redes de datos inalámbricos más exitosa es 802.11.

Palabras clave: inteligencia artificial, ontología, redes inalámbricas, canal, Wi-Fi.

Abstract

In recent years, the absence of cabling in wireless networks has favored the separation from the world of fixed networks. The use of ontologies as computational models in any domain allows to develop a certain degree of reasoning.

The main objective of this final degree project will be the realization of a first prototype of ontology that allows modeling all the concepts and their relationships within wireless networks. The most successful wireless data network system technology is 802.11.

Keywords: artificial intelligence, ontology, wireless networks, channel, Wi-Fi.

Resumen extendido

La inteligencia artificial abarca la ciencia y la ingeniería dedicadas a diseñar y programar ordenadores que pueden ejecutar tareas que requerirían inteligencia o razonamiento si las hicieran los seres humanos. Dispositivos inteligentes interconectados aprenden del comportamiento de sus dueños, y pueden controlar sus gustos y preferencias en infinidad de situaciones cotidianas.

La tecnología de sistema de redes de datos inalámbricas más exitosa es 802.11. Las redes inalámbricas permiten establecer vínculos entre computadoras y otros equipos informáticos sin necesidad de instalar un cableado, lo que supone una mayor comodidad y un ahorro de dinero en infraestructura.

Las LAN inalámbricas tienen un ancho de banda limitado, es decir la capacidad de datos de un enlace no es infinita. Como consecuencia, es importante la gestión de los recursos para establecer comunicaciones de forma más efectiva. Además, la coordinación entre los distintos dispositivos que conforman la red para seleccionar las frecuencias más apropiadas reduce considerablemente la interferencia.

El uso de ontologías como modelos computacionales permite definir dominios como es el de las redes inalámbricas y desarrollar cierto grado de razonamiento. La definición de ontologías contribuye a la comunicación entre máquinas y personas, facilitando el intercambio semántico.

El objetivo principal de este proyecto final de carrera será la realización de un primer prototipo de ontología que permita modelar los conceptos y sus relaciones dentro del dominio de las redes inalámbricas. La implementación de la ontología en un software adecuado posibilitará la edición de las clases, conceptos y relaciones, además de la verificación de su consistencia.

Agradecimientos

A mis padres, Marto y Luisa, y a mis hermanos, Paz y David, que de una manera u otra han contribuido a que yo haya llegado a este punto de mi constelación personal.

A todos los familiares, amigos y conocidos que no han dudado en hacerme llegar mensajes de apoyo, en momentos en los que mi cabeza necesitaba un buen filtro.

A mi tutora, por todo el tiempo que me ha dedicado desde Arquitectura de Redes II.

Por último, este Trabajo Fin de Grado se ha realizado en el marco de los proyectos de investigación MOON-CCG2018/EXP-041 (UAH), UCeNet (Comunidad de Madrid, CM/JIN/2019-031) y WILDCAT (Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, SBPLY/19/180501/000171).

Gracias, de verdad.

Índice

Índice	15
Índice de figuras	17
Índice de tablas	20
Glosario de abreviaturas	21
CAPÍTULO 1. Introducción	23
1.1 Antecedentes	23
1.2 El problema de la IA	24
1.3 Introducción a los sistemas de redes inalámbricas	25
1.4 Introducción a las ontologías	26
1.5 Objetivos del TFG	27
1.6 Breve descripción del contenido del TFG	28
CAPÍTULO 2. Fundamentos teóricos	29
2.1 Estudio de las redes inalámbricas	29
2.1.2 Redes inalámbricas	29
2.1.2 Estructura de las redes 802.11	30
2.2.3 Servicios de las redes 802.11	32
2.1.4 Funcionamiento de las redes inalámbricas	33
2.1.5 Características de las redes 802.11	35
2.2. Estudio de ontologías	36
2.2.1 Ontologías	36
2.2.2 Lenguajes ontológicos	37
2.2.3 Herramientas para trabajar con ontologías	39
2.2.4 Razonamiento con ontologías	41
CAPÍTULO 3. Diseño de la ontología	43
3.1 Criterios para diseñar ontologías	43
3.2 Diseño prototipo ontología para redes 802.11	44
CAPÍTULO 4. Implementación de la ontología.....	49
4.1 Implementación de la ontología en Protégé	49
4.2 Implementación de la ontología	53
CAPÍTULO 5. Evaluación de la ontología.....	57
5.1 Escenarios de prueba	57
5.2 Creación de individuos en la ontología	58
5.3 Definición reglas de razonamiento (SWRL)	60
5.4 Realización de consultas en la ontología.....	63
CAPÍTULO 6. Conclusiones y líneas de trabajo futuro.....	69
6.1 Conclusiones.....	69
6.2 Líneas de trabajo futuro.....	70
Presupuesto.....	72
Pliego de condiciones	76
Recursos hardware.....	76
Recursos software.....	76
Bibliografía.....	78

Índice de figuras

Figura 1: BSS independiente.

Figura 2: BSS de infraestructura.

Figura 3: Conjunto de Servicio Extendido.

Figura 4: Superposición de los BSS en un ESS.

Figura 5: Interfaz herramienta Apollo.

Figura 6: Interfaz herramienta OntoEdit.

Figura 7: Interfaz herramienta Protégé.

Figura 8. Diseño ontología vista V.

Figura 9. Comentarios en Protégé.

Figura 10. Ejemplo clase en Protégé.

Figura 11. Eliminar clase en Protégé.

Figura 12. Conceptos ontología en Protégé.

Figura 13. Creación atributos en Protégé.

Figura 14. Parámetros atributos en Protégé.

Figura 15. Atributos de la ontología en Protégé.

Figura 16. Creación relaciones en Protégé.

Figura 17. Parámetros relaciones en Protégé.

Figura 18. Relaciones de la ontología en Protégé.

Figura 19. Bloque I de conocimiento: Gestión de la conexión.

Figura 20. Bloque II de conocimiento: Gestión de los canales.

Figura 21. Bloque III de conocimiento: Gestión del ISP.

Figura 22. Bloque IV de conocimiento: Gestión de la señal.

Figura 23. Escenario de prueba A.

Figura 24. Escenario de prueba B.

Figura 25. Escenario C de la ontología.

Figura 26. Creación individuos en Protégé.

Figura 27. Parámetros individuos en Protégé.

Figura 28. Ejemplo de individuos en Protégé.

Figura 29. Población ontología en Protégé.

Figura 30. Creación reglas SWRL en Protégé.

Figura 31. Conjunto de reglas SWRL en Protégé.

Figura 32. Resultado reglas SWRL en Protégé.

Figura 33. Resultado escenario A en Protégé.

Figura 34. Resultado escenario B en Protégé.

Figura 35. Resultado escenario C en Protégé.

Figura 36. Consulta SPARQL I en Protégé.

Figura 37. Consulta SPARQL II en Protégé.

Figura 38. Consulta SPARQL III en Protégé.

Figura 39. Consulta SPARQL IV en Protégé.

Figura 40. Consulta SPARQL V en Protégé.

Figura 41. Consulta SPARQL VI en Protégé.

Figura 42. Resultado Debug en Protégé.

Índice de tablas

Tabla 1: Métodos EAP comunes para la autenticación 802.1X.

Tabla 2. Relaciones ontología redes inalámbricas.

Tabla 3: Recursos hardware.

Tabla 4: Recursos software.

Tabla 5: Recursos materiales.

Tabla 6: Coste total PEM.

Tabla 7: Coste total mano de obra.

Tabla 8: Presupuesto de ejecución por contrata.

Tabla 9: Presupuesto final.

Glosario de abreviaturas

IA: Inteligencia Artificial.

IEEE: Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica.

WPAN: Wireless Personal Area Network o Red Inalámbrica de Área Personal.

WLAN: Wireless Local Area Network o Red Inalámbrica de Área Local.

WMAN: Wireless Metropolitan Area Network o Red Inalámbrica de Área Metropolitana.

WWAN: Wireless Wide Area Network o Red Inalámbrica de Área Amplia.

WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access o Interoperabilidad Mundial Para Acceso por Microondas.

LMDS: Local Multipoint Distribution Service o Sistema de Distribución Local Multipunto.

MAC: Media Access Control o Control de Acceso al Medio.

FHSS: Frequency-Hopping Spread-Spectrum o Dispersión de Espectro de Salto de Frecuencia.

DSSS: Direct-Sequence Spread-Spectrum o Dispersión de Espectro de Secuencia Directa.

PLCP: Physical Layer Convergence Procedure o Convergencia de Capa Física.

PMD: Physical Medium Dependent o Dependiente del Medio Físico.

AP: Access Point o Punto de Acceso.

BSS: Basic Service Set.

IBSS: Independent Basic Service Set.

ESS: Extended Service Set.

SSID: Service Set Identifier.

MSDU: MAC Service Data Unit o Unidad de Datos del Servicio MAC.

TCP: Transmission Control Power o Control de Potencia de Transmisión.

DFS: Dynamic Frequency Selection o Selección Dinámica de Frecuencia.

CDMA: Carrier Sense Multiple Access o Acceso Múltiple con Escucha de Portadora.

CSMA/CA: Collision Avoidance.

IEEE: Institute of Electronics and Electrical Engineers.

IETF: Internet Engineering Task Force.

RTS: Request to Send.

CTS: Clear to Send.

EAP: IETF's Extensible Authentication Protocol.

SNR: Signal-To-Noise Ratio.

ERO: European Radiocommunications Office.

ITU: International Telecommunications Union.

FCC: Federal Communications Commission.

WECA: Wireless Ethernet Compatibility Alliance.

WLAN: Wireless Local Area Network.

ISP: Internet Service Provider o Proveedor de Servicios de Internet.

PEM: Presupuesto de Ejecución por Material.

CERN: Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire o Consejo Europeo para la Investigación Nuclear.

SHOE: Simple HTML Ontology Extension o Extensión de Ontologías HTML Simple.

RDF: Resource Description Framework o Marco de Descripción de Recursos.

OML: Ontology Markup Language o Lenguaje de Marcado de Ontología.

OIL: Ontology Interchange Language o Lenguaje de Intercambio de Ontología.

OWL: Web Ontology Language o Lenguaje Web de Ontología.

CAPÍTULO 1. Introducción

En este capítulo se introduce brevemente al ámbito de desarrollo en el que se enmarca este trabajo de fin de grado (TFG), comenzando con una explicación histórica de la inteligencia artificial (IA), la evolución de las redes inalámbricas, su papel dentro del desarrollo tecnológico actual y su importancia para la sociedad. Por otro lado, se presentan las ontologías como posible solución ante la necesidad de gestión del conocimiento. Finalmente, se especifican los objetivos buscados con este trabajo y se detalla la organización del mismo.

1.1 Antecedentes

Más del setenta y cinco por ciento de lo que se capta en nuestro entorno consiste en información visual. Junto con las propiedades de la física de la luz, vemos gracias a un complejo entramado biológico, neurológico, psicológico e intelectual. La visión humana es tan prodigiosa que la neurociencia todavía no ha desvelado todos sus misterios, ya que procesamos inconscientemente la mayor parte de lo que vemos.

Como seres humanos, vivimos en un mundo inherentemente analógico, en el que suceden cosas que poco a poco se están intentando digitalizar. De esa digitalización está surgiendo el *Big Data*, que no sólo supone pasar del medio analógico al digital, sino que además incluye la comprensión de los datos. Por esta razón, hoy en día, una visión por computador similar a la humana supone un gran desafío.

La inteligencia artificial (IA) abarca la ciencia y la ingeniería dedicadas a diseñar y programar ordenadores que pueden ejecutar tareas que requerirían inteligencia o razonamiento si las hicieran los seres humanos. Es interdisciplinar y depende de otras áreas como la teoría de la información, la cibernética, la ciencia de los materiales, la neurociencia, la lógica matemática, la lingüística, la filosofía, la psicología y las ciencias sociales [1]. Hay dos corrientes en la IA, la fuerte o de tipo general y la débil o especializada. La primera pretende desarrollar sistemas que iguallen e incluso superen la inteligencia general humana, desarrollando estados mentales, consciencia y emociones genuinas. En cambio, la IA débil o especializada, consiste en programar máquinas que simulan procesos y actividades inteligentes en un ámbito especializado, como resolver problemas o imitar al lenguaje, y es la que centraremos como base de estudio en este proyecto.

La IA está programada para actuar sin intervención y control humanos, es decir, tener capacidad para la autogestión adaptativa de sus propios recursos. Los algoritmos de aprendizaje profundo utilizan redes neuronales artificiales para extraer conocimiento autónomamente y sin supervisión, en otras palabras, el sistema toma decisiones por sí mismo muchas veces sin que los técnicos entiendan cómo ha llegado a las soluciones. El árbol de decisión en aprendizaje automático abarca problemas en varias capas o niveles, cuyas principales características son: ser capaz de aprender de la experiencia con millones de datos, observar el entorno y optimizar sus conocimientos a base de éxitos y fracasos.

Las tecnologías de IA están cada vez más individualizadas. Un asistente personal recuerda a un usuario las tareas del día o sugiere un libro de su interés. En hospitales y laboratorios, la IA presta apoyo en diagnósticos y en la toma de decisiones sobre tratamientos, comparando con extensas bases de datos de información sobre casos semejantes. En el hogar, dispositivos inteligentes interconectados aprenden del comportamiento de sus dueños y pueden controlar lavadoras, aspiradoras, calefacción o iluminación. Para que todo esto funcione, los datos personales se convierten en la principal fuente de aprendizaje de la IA.

Hoy en día, son ejemplos del gran avance de la IA, los vehículos sin conductor, los robots autónomos dotados de IA capaces de realizar tareas en misiones espaciales o las cámaras que detectan si entre dos personas existe una separación superior de dos metros en la calle. Estamos siendo testigos de una gran revolución que parece pasar desapercibida a nuestros ojos porque vivimos con ella.

1.2 El problema de la IA

Sin duda alguna, el deseo de una gran cantidad de empresas es la creación de sistemas inteligentes capaces de aprender, resolver problemas, tomar decisiones, comunicarse con el mundo exterior y adaptarse. Uno de los grandes problemas a los que se enfrenta la inteligencia artificial es la comprensión de la información. Algunos sistemas de IA demuestran que pueden emular autónomamente cierto grado de creatividad utilizando sofisticadas técnicas de aprendizaje profundo, reconocimiento de patrones o redes neuronales artificiales. El conocido juego de Atari Breakout implica comprensión visual y diferentes tareas que hay que cumplir para ganar. Del mismo modo que un jugador humano sin ningún tipo de instrucción previa, una IA con aprendizaje automático aprende en 10 minutos las reglas básicas, en 120 minutos ya juega como un experto y en 240 minutos descubre atajos para ganar el juego. La controversia reside en si los sistemas de IA, en el futuro, pueden llegar a tener consciencia de lo que hacen, crear a partir de una intencionalidad, percibir los condicionantes de su entorno y tener sensibilidad para autoevaluarse. Hoy por hoy, estas metas son todavía inalcanzables.

Neil Lawrence, profesor de la Universidad de Sheffield y parte del equipo de Inteligencia Artificial de Amazon señaló: "se observa que los resultados exitosos de aprendizaje profundo de Inteligencia Artificial son los casos en los que las máquinas tienen acceso a una enorme cantidad de datos" [2]. En otras palabras, es más probable obtener un resultado satisfactorio cuanto más grande sea el volumen de datos disponible del entorno de aplicación. Todo es probabilidad, las máquinas aprenden por estadística, sistemas probabilísticos.

Debe señalarse que, cada vez es más económico almacenar datos. En los últimos años, se ha multiplicado la capacidad considerablemente a la vez que se ha reducido el espacio y también el coste. Si la comparación de gran cantidad de datos permite descartar información que no es relevante, ¿es necesario estructurar ese volumen de datos para obtener rápidamente el resultado? La respuesta es «sí» y por esta razón surgen las ontologías, las cuales tienen como objetivo organizar de forma sencilla la información.

1.3 Introducción a los sistemas de redes inalámbricas

Una persona puede comunicarse en casi cualquier parte del mundo y realizar un intercambio de información sin ningún tipo de problema. Hoy en día, es muy común tener en casa, en el trabajo o en cualquier supermercado, una red que conecte gran cantidad de dispositivos. Ordenadores, teléfonos, portátiles, tablets y televisores se conectan entre sí y acceden a Internet. En estos últimos años, la ausencia de cableado en las redes inalámbricas ha favorecido la separación del mundo de las redes fijas.

Según la Universidad Politécnica de Valencia [3], los pioneros en comunicaciones inalámbricas fueron Graham Bell y Summer Tainter, cuando inventaron el primer dispositivo que emitía un sonido a través de luz y no mediante cables, el fotófono. Más tarde, Rudolf Hertz utilizó un oscilador como emisor para transmitir mediante ondas electromagnéticas hacia un resonador. Pero no será hasta 1971, cuando un grupo de investigación de la Universidad de Hawai cree el primer sistema de conmutación de paquetes a través de una comunicación. Esta red de área local inalámbrica conocida como ALOHA, estaba formada por siete computadores, situados en distintas ubicaciones, que se comunicaban con un computador central mediante la topología de estrella.

Con el objetivo de que las redes inalámbricas se extendieran sin problemas de compatibilidad, se creó un grupo de trabajo específico en el IEEE (Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica, organización internacional que define reglas de algunas tecnologías) denominado 802.11, para definir un estándar del uso del nivel físico y de enlace de datos de la red. De esta forma, la única diferencia entre una red fija y otra móvil es la forma de transmisión de los paquetes de datos, lo cual facilitaba bastante la implantación.

Uno de los problemas más relevantes de las redes fijas ha sido la dificultad de instalación en lugares donde las leyes de preservación histórica impiden la modificación de dichos edificios. El bajo coste de infraestructura y de mantenimiento han hecho posible el creciente éxito de las redes inalámbricas, marcado por la libre movilidad de los usuarios. Cabe destacar, que no existen restricciones a la hora de acceder a los datos, pues estos quedan guardados centralmente. Por tanto, las redes inalámbricas permiten que las personas se puedan conectar independientemente de su ubicación, lo que supone un gran movimiento de los usuarios por la red.

La IA está programada para actuar sin intervención y control humanos, esto es, para tener capacidad para la autogestión adaptativa de sus propios recursos. Cada vez que utilizamos plataformas online o dispositivos con IA como el móvil, éstos recopilan información, analizan patrones de conducta, elaboran un perfil de usuario y hacen recomendaciones en función de ello. Lo que muestran u ofrecen depende de lo que saben de nosotros y de lo que le gusta a la gente con perfiles semejantes al nuestro. Una de las mayores ventajas que ofrecen las ontologías, es la posibilidad de que las máquinas aprendan en función de información etiquetada con anterioridad. En este capítulo, se realizará un estudio detallado sobre ontologías y herramientas y lenguajes que existen para modelar y razonar con ellas.

1.4 Introducción a las ontologías

Las ontologías surgen ante la necesidad de organizar de forma sencilla la información. El desarrollo de ontologías tiene su origen directamente en la Filosofía Antigua. Aristóteles utilizó el término “categoría” para especificar las distintas clases en las que se dividían las cosas en el mundo. En otras palabras, son ideas que, combinadas entre sí, pueden derivar en juicios verdaderos o falsos, que permiten expresar pensamiento. No obstante, hasta la segunda mitad del siglo XX, no será cuando se empiece a utilizar el término de “ontología”, cuando filósofos y científicos de la computación, empiecen a tratar de dividir paralelamente el mundo en “clases”.

En 1970, investigadores del ámbito de la inteligencia artificial admiten que el razonamiento automático es el fundamento para crear grandes sistemas computacionales. Como resultado, a principios de los años noventa, Gruber definirá el término de ontología como “a formal explicit specification of a shared conceptualization” [5].

Una ontología es una descripción formal y explícita de los elementos que pertenecen a un dominio D [4]. Son creadas por expertos humanos, los cuales dan mayor veracidad a la terminología de los nombres de los conceptos. Por lo tanto, una ontología es una jerarquía de conceptos con atributos y relaciones, que definen redes semánticas de entidades de información relacionadas entre sí. Entre los elementos fundamentales de una ontología se encuentran:

- Individuos: Se trata de objetos o instancias.
- Conceptos: Es la representación de las clases de las ontologías sobre las que se tienen datos que permitan una organización jerárquica de la información.
- Funciones: Estructuras de relaciones entre conceptos donde los elementos pueden ser sustituidos mediante el cálculo de una función.
- Atributos: Características que los conceptos pueden tener.
- Restricciones: Descripciones formales que limitan las entradas de la ontología.
- Reglas: Declaraciones formales que, de cumplirse, se realizan acciones preestablecidas.
- Axiomas: Modelan conocimiento que siempre es cierto aportando consistencia a las relaciones entre las clases.
- Instancias: Representan individuos específicos de una clase dentro de la ontología.
- Relaciones: Correlación establecida entre distintos conceptos, en la que destacan dos tipos:
 - Taxonomía: Se trata de la clasificación u ordenación en grupos o superclases que tienen características comunes, y de las cuáles se

desprenden otras clases más pequeñas en forma de jerarquía. La generalización-especialización o es-un implica que si X es-un Y, se dice que X es hijo de Y e Y por lo tanto es padre de X.

- Mereología: Focaliza en las relaciones parte-de entre clases en las que las entidades son consideradas como agregación de los elementos que la forman.

1.5 Objetivos del TFG

Este trabajo se engloba dentro del proyecto MOON: Modelado basado en ontologías para redes complejas, cuyo objetivo principal es crear una ontología genérica que permita abstraer las características comunes de los sistemas complejos, sin importar el dominio, para facilitar la aplicación escalable de técnicas de negociación en los procesos de optimización de dichos sistemas [6]. En él, se estudian ontologías específicas dentro de distintos dominios de aplicación, y uno de ellos es el de las redes inalámbricas. El objetivo fundamental de este trabajo es:

Proponer un primer prototipo de ontología que permita modelar parte de los conceptos y sus relaciones, dentro del dominio de las redes inalámbricas.

Para poder describir el conocimiento en este dominio, compuesto por una serie de conceptos y relaciones, será necesario realizar un estudio sobre ontologías y herramientas que existen para modelar y razonar con ontologías, además de un análisis profundo de la tecnología de sistema de redes de datos inalámbricos más exitosa 802.11. Por ello, se han fijado una serie de hitos a cumplir:

- Estudio completo sobre ontologías y herramientas que existen para modelar y razonar con las mismas.
- Estudio del dominio de las redes inalámbricas para poder capturar todos los conceptos y relaciones necesarios para el dominio de aplicación.
- Estudio de la viabilidad de un conjunto de softwares para constatar cuál es el más apropiado en la implementación de la ontología para el dominio de la configuración de redes Wi-Fi.
- Definición de los conceptos principales, las relaciones entre los mismos y diagramas, entre otros.
- Diseño preliminar de la ontología.
- Implementación de la ontología utilizando el lenguaje y las herramientas elegidas.
- Realización de pruebas de razonamiento para verificar la consistencia de la ontología.
- Realización de pruebas de validación de la capacidad de expresión de la ontología.

1.6 Breve descripción del contenido del TFG

La memoria del trabajo final de grado está estructurada en seis capítulos. En el capítulo 2, se presenta la base teórica del trabajo. Por una parte, se introduce al dominio de las redes inalámbricas para poder capturar todos los conceptos y relaciones necesarios para el dominio de aplicación. Por otro lado, se realiza un estudio sobre ontologías y herramientas y lenguajes que existen para modelar y razonar con ontologías.

En el capítulo 3, se realiza un diseño preliminar de ontología, donde se definen los conceptos principales, las relaciones entre los mismos y diagramas, entre otros.

En el capítulo 4, se explica cómo se ha implementado toda la funcionalidad y el esquema de razonamiento de la ontología. Al mismo tiempo, se describe la herramienta *Protegé* y se muestran diferentes vistas de la ontología.

En el capítulo 5, se presentan las conclusiones obtenidas tras verificar la capacidad de expresión de la ontología y la consistencia de los conceptos elaborando y valorando una serie de experimentos.

En el capítulo 6, se presentan las principales conclusiones obtenidas tras el estudio del diseño realizado y se mencionan algunas líneas futuras de trabajo que podrían ser interesantes plantear.

Finalmente, se tratan los costes estimados de actividades individuales, así como los relativos al proyecto a nivel de hardware y software para establecer una línea de costo autorizada. Además, se detalla un posible pliego de condiciones.

CAPÍTULO 2. Fundamentos teóricos

En este capítulo se va a presentar la base teórica necesaria para la realización del trabajo. Se ha dividido en dos partes, la primera dedicada a las redes inalámbricas, y la segunda, para las ontologías.

2.1 Estudio de las redes inalámbricas

La RAE define “red” proveniente del latín “rete” como el conjunto de elementos estructurados para un determinado fin. Por otro lado, el término “inalámbrico” hace referencia a la ausencia física de conductores en la comunicación. Con todo ello, una red inalámbrica se define como aquella red en la cual la comunicación de varios dispositivos se produce a través de una señal radio configurada a una determinada frecuencia. La ausencia de cableado entre remitente y receptor hace que el coste de implantación se reduzca considerablemente.

2.1.2 Redes inalámbricas

El medio de propagación inalámbrico ha pasado a tener un papel muy importante en la vida diaria de mucha gente. Dependiendo del área de alcance [8], existen distintos tipos de redes inalámbricas:

- WPAN: Wireless Personal Area Network (Red Inalámbrica de Área Personal), presenta un rango máximo de diez metros e incluye tecnologías como Bluetooth o ZigBee.
- WLAN: Wireless Local Area Network (Red Inalámbrica de Área Local), es el estándar de comunicaciones en el que se basa la norma IEEE 802.11 y que consiguen distancias mayores que las WPAN gracias a repetidores de señal.
- WMAN: Wireless Metropolitan Area Network (Red Inalámbrica de Área Metropolitana), redes de alcance y capacidad superior, que pueden cubrir hasta veinte kilómetros, como las tecnologías WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) o LMDS (Local Multipoint Distribution Service).
- WWAN: Wireless Wide Area Network (Red Inalámbrica de Área Amplia), utiliza microondas para transferir datos a lo largo de grandes distancias e incluye como tecnologías UMTS, GPRS, EDGE, GSM, 3G, 4G o 5G.

2.1.2 Estructura de las redes 802.11

En junio de 1997, el IEEE publicó el primer estándar de las redes inalámbricas *IEEE 802.11*, el cual especificaba una frecuencia operacional de 2.4 GHz con velocidades de información de 1 Mbps y 2 Mbps [14]. Posteriormente, en 1999, el IEEE creó dos suplementos adicionales: *IEEE 802.11a* y el *IEEE 802.11b*. El hecho de tener antenas e interfaces estandarizadas facilitó aún más las implantaciones y rápidamente, la tecnología 802.11 paso a convertirse en un método de conectividad universal.

La norma IEEE 802.11 fue diseñada para sustituir el equivalente a las capas físicas y MAC (Media Access Control) de la norma 802.3 o Ethernet. Lo único que diferencia una red inalámbrica de una red Ethernet es la forma de transmisión de las tramas de datos, el resto es idéntico. Por tanto, una red local inalámbrica 802.11 es totalmente compatible con todos los servicios de las redes locales de cable 802.3. Añadir usuarios a la red inalámbrica es una cuestión de autorización, ya que la infraestructura se configura de forma que reconozca y ofrezca servicios a los usuarios.

El estándar 802.11 permite el acceso a redes a móviles. En [7] se observa que 802.11 es una capa de enlace que incluye MAC 802.11 y dos capas físicas: una capa física de Dispersión de espectro de salto de frecuencia (FHSS, Frequency-Hopping Spread-Spectrum) y una capa de enlace de Dispersión de espectro de secuencia directa (DSSS, Direct-Sequence Spread-Spectrum). 802.11 divide la capa física (PHY) en dos: el Procedimiento de Convergencia de Capa Física (PLCP, Physical Layer Convergence Procedure) para asignar tramas MAC en el medio; y un sistema Dependiente del Medio Físico (PMD, Physical Medium Dependent) para transmitir las tramas. El PLCP supone la unión entre el límite de MAC y las capas físicas. Según [7], las redes 802.11 están formadas por cuatro elementos fundamentalmente:

- Estaciones: Se trata de dispositivos informáticos con interfaces de red inalámbricas. Suelen ser equipos manuales o portátiles que funcionan mediante baterías o equipos de sobremesa que se conectan a través de LAN inalámbricas.
- Puntos de acceso: Los Access Point o AP son los encargados de convertir las tramas 802.11 para su entrega a las redes cableadas. La mayoría tienen al menos una interfaz inalámbrica y otra de red de Ethernet que se conectan a través de un motor de puente.
- Medio inalámbrico: El medio inalámbrico es utilizado por el estándar para mover las tramas de una estación a otra.
- Sistema de distribución: Permite la comunicación entre sí entre distintos puntos de acceso que conforman un área de cobertura.

Se utiliza el término BSS o Basic Service Set para denominar a un conjunto de estaciones que se comunican entre sí. Los BSS pueden ser de dos tipos:

- IBSS, Independent BSS: Las estaciones se comunican directamente entre sí gracias al alcance directo de la comunicación (ver *Figura 1*).

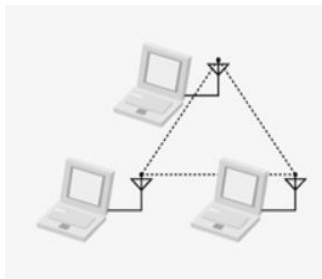


Figura 1. BSS independiente (Imagen tomada de [7]).

- BSS de infraestructura: La comunicación se realiza en dos saltos debido a que se utiliza un AP para realizar la comunicación con la otra estación (ver *Figura 2*).

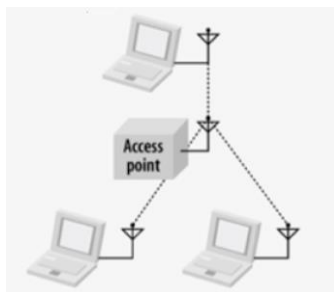


Figura 2. BSS de infraestructura (Imagen tomada de [7]).

La comunicación directa entre estaciones tiene que como ventaja que se reduce la potencia de transmisión, pero a la vez, aumenta la complejidad de la capa física. Para crear áreas de cobertura más grandes, se enlazan distintos BSS formando una ESS o Extended Service Set (ver *Figura 3*). Todos los AP en un ESS tienen el mismo identificador del conjunto de servicios (SSID, Service Set Identifier). Dentro de cada AP, cada SSID se asocia a una VLAN. Existe un enrutador, que ignora la ubicación exacta de la estación móvil y sólo tiene en cuenta los AP para entregar la trama correctamente. Una estación inalámbrica se asocia sólo con un AP. El resto de AP de la ESS tienen que conocer dicha estación.

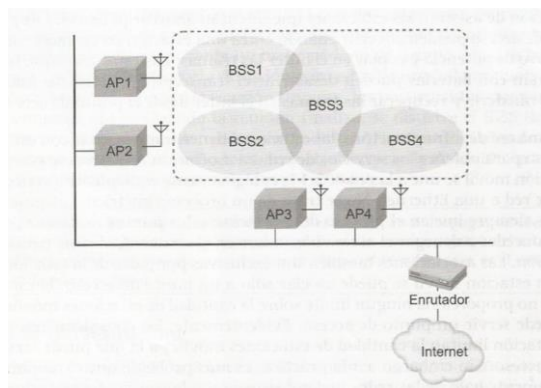


Figura 3. Conjunto de Servicio Extendido (Imagen tomada de [7]).

El sistema de distribución registra dónde se localizan las estaciones físicamente y se encarga de entregar correctamente las tramas. Por tanto, cuando se envía una trama, es el encargado de enviar al punto de acceso que sirve a la estación móvil de destino. Por otro lado, las redes 802.11 se pueden superponer espacialmente. Los BSS independientes pueden crearse dentro del área de servicio básico de un punto de acceso (ver *Figura 4*).

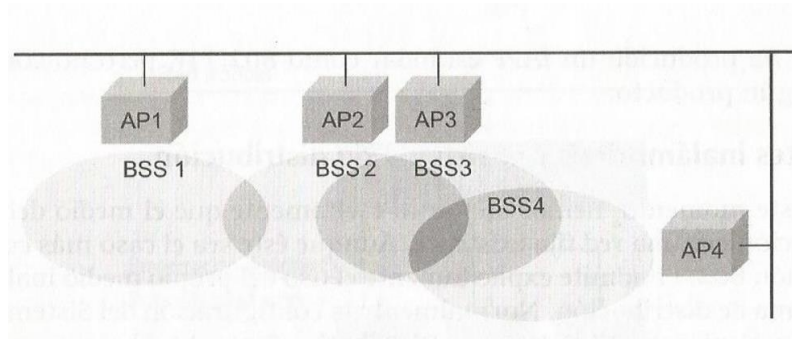


Figura 4. Superposición de los BSS en un ESS (*Imagen tomada de [7]*).

Una infraestructura cableada conecta a Internet y la red inalámbrica se apoya en ella para poder conectar a tantos usuarios como sean necesarios. Los edificios, la flora u otros elementos de la ciudad no bloquean la comunicación en un medio inalámbrico, pues las ondas radio traspasan todos estos elementos y ofrecen grandes rangos de cobertura.

2.2.3 Servicios de las redes 802.11

Las redes 802.11 proporcionan una serie de servicios enfocados al desplazamiento de datos y al registro de nodos móviles mediante las operaciones de administración.

- **Distribución:** Cualquier comunicación que utiliza un punto de acceso se desplaza a través del servicio de distribución, incluyendo las comunicaciones entre dos estaciones móviles asociadas con el mismo punto de acceso.
- **Integración:** La integración es un servicio proporcionado por el sistema de distribución, que permite la conexión del sistema de distribución a una red distinta de IEEE 802.11.
- **Asociación:** La asociación es el registro de estaciones móviles con los puntos de acceso.
- **Reasociación:** La reasociación surge cuando las condiciones de señal indican a las estaciones móviles, que sería más conveniente una asociación diferente.
- **Disociación:** La disociación se da para terminar una asociación existente, eliminando cualquier dato de movilidad guardado en el sistema de distribución.
- **Autenticación:** La autenticación es un proceso de intercambio de identidad (dirección MAC) con un punto de acceso.
- **Anulación de autenticación:** Se trata del proceso de finalización de la asociación actual, en el que se borra la información de claves.

- **Confidencialidad:** La confidencialidad en redes inalámbricas se basa en utilizar métodos de modulación y antenas de forma correcta.
- **Entrega MSDU:** MSDU o MAC Service Data Unit es el servicio encargado de conseguir que los datos lleguen al punto final.
- **Control de potencia de transmisión (TPC):** Se trata de un servicio impulsado por los estándares europeos en el que las estaciones deben controlar la potencia de transmisión para evitar interferir con otras LAN inalámbricas.
- **Selección dinámica de frecuencia (DFS):** DFS es un servicio en el que las LAN inalámbricas se cambian a frecuencias si se detectan que las que se están utilizando están relacionadas con los sistemas radar.

2.1.4 Funcionamiento de las redes inalámbricas

El funcionamiento de las redes inalámbricas comienza con la identificación de una red compatible. El proceso de identificación de redes existentes dentro de un área se denomina escaneado, en el que se utilizan distintos parámetros especificados por el usuario. Las implantaciones suelen contar con valores predefinidos como son:

- **Tipo de BSST:** El escaneado puede especificar si busca redes independientes, de infraestructura o ambas.
- **BSSID:** El dispositivo busca una red específica a la que unirse (caso individual) o cualquier red que esté deseando permitir una conexión (caso difusión).
- **SSID:** Los clientes que estén buscando una red, deben establecer esta cadena de caracteres referida a servicios de la red.
- **Tipo de escaneado (TypeScan):** Los tipos de escaneado son activo (utiliza tramas de prueba para identificar redes en el área) o pasivo (ahora energía escuchando tramas *Beacon*).
- **Lista de canales (ChannelList):** 802.11 permite a las estaciones especificar una lista de canales (productos de secuencia directa) o un patrón de saltos (con productos de salto de frecuencia) que pueden probar.
- **Demora de prueba (ProbeDelay):** Se expresa en microsegundos y es el tiempo antes de que se inicie el procedimiento para probar un canal en el escaneado activo.
- **Tiempo mínimo de canal (MinChannelTime) y Tiempo máximo de canal (MaxChannelTime):** Se expresan en unidades de tiempo (TU, Time Unit) y especifican la cantidad de tiempo mínimo y máximo en el que el escaneado funciona en un determinado canal.

Si el escaneado es pasivo, es decir el parámetro *TypeScan*, la estación pasa de canal a canal y graba la información de cualquier *Beacon* que recibe. Con esta trama se extrae la información del BSS de su área que las envía.

Por otro lado, si el escaneado es activo, la estación se mueve al primer canal y espera una indicación de una trama entrante, o espera que finalice el cronómetro de demora de prueba (*ProbeDelay*). Si se detecta una trama entrante, se obtiene el acceso al medio, pero si *ProbeDelay* llega al final, se cambia de canal y se vuelve a empezar el proceso con la siguiente frecuencia. Una vez obtenido el acceso al medio, se espera el tiempo mínimo de canal para comprobar si hay red, y en el caso de que la haya, se procesa cualquier trama de Petición de prueba en el transcurso del tiempo máximo de canal. Las estaciones o los AP generan tramas de respuesta de prueba cuando escuchan una Petición de prueba, dependiendo de si la red es de infraestructura o no.

El escaneado tiene como objetivo encontrar todas las áreas de servicio básico a las que se puede unir la estación, por lo que una Petición de Prueba de difusión obtiene respuesta de todos los puntos de acceso que se encuentran dentro del rango. Con todo ello, se genera un informe de escaneado, que recoge una lista de todos los BSS descubiertos y sus parámetros: BSSID, SSID, BSSType, intervalo Beacon, período DTIM, BSSBasicRateSet, parámetros de cronometraje y parámetros PHY, CF e IBSS.

Tras la compilación de resultados del escaneado, la estación decide a qué BSS unirse en función del nivel de potencia y la fuerza de la señal. La idea es hacer coincidir los parámetros de la estación con los requeridos por el BSS. La estación también tiene que coincidir con los parámetros PHY, que garantiza que cualquier transmisión con el BSS se encuentra en el canal correcto. La información de la capacidad queda también recogida en los resultados del escaneado.

La estación elige el BSS al que unirse, pero el acceso al medio se produce una vez hechas la autenticación y la asociación. Con los métodos EAP (IETF's Extensible Authentication Protocol), la autenticación puede ser bastante robusta. La identificación de usuarios en lugar de máquinas conduce a una arquitectura de red más efectiva. Los métodos EAP permiten a los diseñadores de protocolos crear sus propios Protocolos de autenticación extensible (EAP), los cuales están compuestos de peticiones y respuestas. El autenticador envía peticiones al sistema que está buscando acceso y, basándose en las respuestas, puede conceder o denegar los accesos. Los sistemas del cliente sólo envían paquetes de respuesta cuando existe una petición. La *Tabla 1* muestra una lista de métodos EAP comunes:

Protocolo de autenticación	Descripción
Desafío MD5	Autenticación en EAP parecida a CHAP.
GTC	Diseñado inicialmente para su uso con tarjetas testigo como RSA SecurID.
EAP-TLS	Autenticación mutua con certificados digitales.
TTLS	Túnel TLS; protege a los métodos de autenticación más vulnerables con cifrado TLS.
PEAP	EAP protegido; protege a los métodos EAP más vulnerables con cifrado TLS.
EAP-SIM	Autenticación a través del Módulo de identidad del subscriptor (SIM, <i>Subscriber Identity Module</i>) de teléfono móvil.
MS-CHAP-V2	Autenticación de contraseña cifrada de Microsoft; compatible con dominios Windows.

Tabla 1. Métodos EAP comunes para la autenticación 802.1X (Imagen tomada de [7]).

La red tiene que verificar la identidad de la estación que se quiere unir, es decir, su dirección MAC. Hay distintas formas de autenticación, entre las que se encuentran: sistema abierto, clave compartida o una autenticación previa.

Una vez finalizada la autenticación, las estaciones se asocian a punto de acceso para obtener el acceso completo a la red. Es un proceso que tiene como objetivo que el sistema de distribución registre la ubicación de cada estación móvil. Al completarse la asociación, un punto de acceso registra la estación en la red para que las tramas para la estación móvil se entreguen en el punto de acceso. Una forma de registro es que la dirección MAC de la estación se asocie con el puerto de cambio conectado al punto de acceso.

Cuando se inicia el proceso de asociación, la estación móvil supervisa la calidad de la señal que recibe desde ese punto de acceso, así como la de otros puntos de acceso en el mismo ESS. Si se detecta que hay otro punto de acceso que es mejor opción, se inicia un proceso de reasociación. Este proceso también se utiliza para volver a unirse a una red si la estación deja el área de cobertura y regresa posteriormente al mismo punto de acceso.

2.1.5 Características de las redes 802.11

Las LAN inalámbricas trabajan con un ancho de banda limitado, es decir la capacidad de datos de un enlace no es infinita. Los dispositivos inalámbricos están obligados a trabajar en una banda en frecuencia, la cual tiene un ancho de banda asociado. Con el control del rango de transmisión, se consigue que la red funcione mejor. Si se excede la potencia de transmisión, el área cubierta es mayor, pero se reduce la batería del dispositivo portátil de forma más rápida. Si se reduce la potencia de transmisión al nivel requerido para llegar sólo al AP que sirve a la estación, se pueden mejorar las comunicaciones por la red, limitando la superposición entre los AP cercanos. La potencia máxima regulada se puede configurar en el AP o estación o se puede obtener a través de las tramas *Beacon*.

Las estaciones calculan al inicio la potencia máxima de transmisión que pueden utilizar. Una vez asociadas al punto de acceso, suministran la potencia de transmisión mínima y máxima en un elemento de información denominado Capacidad de potencia o Power Capability, durante el proceso de asociación.

Además del control de potencia de transmisión, las normativas europeas exigen que las estaciones eviten interferir con sistemas radar de 5 GHz, así como propagar la carga de potencia a través de todos los canales disponibles. Este es el objetivo del mecanismo de Selección Dinámica de Secuencia (DFS, Dynamic Frequency Selection), que consiste en distintos procedimientos para habilitar dispositivos 802.11 para cambiar de canal de radio basándose en medidas y requerimientos normativos. La trama de petición de asociación incluye el elemento canales admitidos o Supported Channels y DFS prueba periódicamente el canal buscando encontrar alguna interferencia potencial. Siempre que se detecten señales radar o un nivel de interferencia superior al requerido, las redes tendrán que cambiar a otro canal.

Las redes 802.11 saltan de un canal a otro. La cantidad de tiempo transcurrido en cada canal en la secuencia de saltos se denomina Tiempo de permanencia (Dwell Time) y se expresa en unidades de tiempo TU. 802.11h añadió la capacidad de que las redes

intercambien canales dinámicamente. Para avisar a las estaciones en red sobre el cambio de canal, las estaciones que forman parte de la red tienen que estar informadas del cambio para que puedan prepararse para cambiar al nuevo canal. Existen tramas de administración que incluyen el elemento Anuncio de cambio de canal o Channel Switch Announcement.

2.2. Estudio de ontologías

Las ontologías juegan un papel muy importante en el diseño de sistemas de información, al permitir una especificación más rica y estructurada del dominio de conocimiento respecto a otros enfoques [4]. La definición de ontologías contribuye a la comunicación entre máquinas y personas, facilitando el intercambio semántico a la vez que se organizan los datos. Una de las mayores ventajas que ofrecen las ontologías, es la posibilidad de inferir nuevo conocimiento a partir del conocimiento previamente modelado [6].

2.2.1 Ontologías

El éxito de las ontologías es debido a la capacidad de almacenamiento de conocimiento humano que crean sobre un área de información y que hace que el conocimiento sea reutilizable por cualquier persona o sistema. A su vez, facilitan que las técnicas y algoritmos que solucionan un problema sean independientes del conocimiento concreto del problema, lo cual facilita su análisis mediante la introducción de métodos formales.

Existen varias formas de catalogar las ontologías. Según [9] existen seis tipos distintos de ontologías:

- Ontologías de dominio

Las ontologías de dominio representan conceptos que pertenecen a un ámbito específico. El significado particular de un término aplicado a ese dominio es proporcionado por el dominio de la ontología.

- Ontologías generales

Las ontologías generales representan conceptos generales que no son específicos de un dominio.

- Ontologías de tareas

Las ontologías de tareas proporcionan vocabulario para describir términos involucrados en los procesos de resolución de problemas, los cuales pueden estar relacionados con tareas similares en el mismo o distinto dominio.

- Ontologías de información

Las ontologías de información especifican la estructura de almacenamiento de bases de datos ofreciendo una organización estándar del conocimiento.

- Ontologías terminológicas

Las ontologías terminológicas especifican los conceptos que representan conocimiento en el ámbito modelado. Además, se usan para unificar vocabulario en un dominio determinado.

- Ontologías de modelado de conocimiento

Las ontologías de modelado de conocimiento especifican estructuras del conocimiento, ya que se ajustan al uso particular de la información que describen.

2.2.2 Lenguajes ontológicos

La representación de ontologías está marcada históricamente por los lenguajes ontológicos, los cuales ayudan a expresar conceptos de forma comprensible por las máquinas. Estos lenguajes han surgido con el paso de los años, en función de las herramientas ontológicas a las que acompañan. El uso de un lenguaje u otro depende de la ontología a representar. Es necesario estudiar el entorno de la aplicación para determinar si un lenguaje es lo suficientemente expresivo como para poder utilizarlo.

- SHOE

El Simple HTML Ontology Extension o Extensión de Ontologías *HTML Simple* es una extensión de *HTML* que incluye conocimiento semántico en documentación web. En sus últimas versiones, su sintaxis es adaptada a *XML*. Este marco define la ontología como descripción de clasificaciones válidas para instancias y relaciones válidas entre instancias y elementos [15].

- RDF(S)

El RDF (Resource Description Framework) o Marco de Descripción de Recursos se desarrolló por el W3C con el objetivo de especificar contenido semántico, estándar y basado en XML. Según [16], está basado en la idea de formar enunciados sobre recursos utilizando expresiones en forma de sujeto-predicado-objeto (tripletes RDF). El sujeto denota el recurso, el objeto los rasgos o aspectos del recurso, y el predicado expresa una relación entre el sujeto y el objeto.

El RDFS o RDF Schema es una extensión del modelo RDF en el que los sistemas de frames que utilizan construcciones descriptivas de las ontologías para organizar el conocimiento y crear axiomas de herencia [17].

- 3.3.3 OML

El lenguaje Ontology Markup está basado en SHOE. El Simple OML mapea su contenido hacia RDF. OML usa tipos e instancias denominadas tokens, las cuales pueden ser relaciones o funciones binarias, objetos, valores de datos o colecciones [18].

- 3.3.4 XOL

XML-based Ontology Exange Language está basado en Ontolingua y OML, aunque su sintaxis es la XML. Difiere de OML en que la semántica de OML se basa en grafos conceptuales, bastante diferente a OKBC-Lite, el cual proporciona definiciones precisas de conceptos, relaciones, objetos y limitaciones. Esta metodología permite crear ontologías desde su inicio o construir ontologías a partir de ontologías ya existentes, ya sea a través de mapeos o de composición de las mismas [19].

- 3.3.5 OIL

El Ontology Interchange Language surge a raíz de los lenguajes XOL y RDS(S). Las ontologías en OIL se crean en tres niveles: objeto, donde se describen instancias concretas de la ontología; el primer metanivel, donde se escriben las definiciones ontológicas; y el segundo metanivel, donde se describen las características de la ontología. En [20], se definen como limitaciones la falta de expresividad en la declaración de axiomas (reglas) y el soporte de determinados dominios.

- 3.3.6 DAM+OIL

El lenguaje DAM+OIL tiene gran parte de las características de OIL, pero emplea más elementos de la lógica descriptiva. El universo se divide en dos partes muy diferenciadas: el dominio de tipos de datos, que contiene los tipos de datos del esquema XML; y el dominio de objetos, que tiene los objetos considerados miembros de clases descritas en DAM+OIL (o RDF) [21].

- 3.3.7 OWL

El Web Ontology Language o OWL parte de DAM+OIL [22], se construye sobre RDF y se codifica en XML. OWL va más allá de sus predecesores y permite representar contenido en la Web interpretable por máquina. Además, presenta tres sublenguajes que añaden mayor funcionalidad y expresividad:

- *OWL-Lite*: Es utilizado cuando se requiere de una clasificación simple y jerárquica.

- *OWL-DL*: Es muy útil en el caso en el que se desea obtener mucha expresividad conservando la computacionalidad y resolubilidad.
- *OWL-Full*: Es usado para conseguir máxima expresividad y libertad sintáctica sin restricciones computacionales.

2.2.3 Herramientas para trabajar con ontologías

Una ontología se puede crear con distintas herramientas, las cuales determinan en muchos casos el lenguaje de construcción y por consecuencia la menor o mayor dificultad del proyecto. En la actualidad, la mayoría de estas herramientas cuentan con múltiples opciones con las que desarrollar ontologías desde cero, poblarlas e interactuar con ellas obteniendo así el mayor rendimiento de estas. En esta sección se presenta un estudio de las principales herramientas disponibles para trabajar con ontologías:

2.2.3.1 Apollo

Apollo es una herramienta sencilla de modelado de ontologías. Entre sus opciones se encuentran la representación semántica de lenguajes conceptuales y estructuras mediante conceptos, jerarquías de conceptos, relaciones y axiomas. Su jerarquía está basada en un sistema de tramas de acuerdo con el protocolo OKBC. No está vinculado a ningún lenguaje de representación, por lo que es adaptable a distintos formatos a través de complementos de entrada y salida. Según el sitio oficial de la herramienta [10], tiene una interfaz abierta que se puede visualizar en la *Figura 5*.

Apollo permite corroborar la coherencia de los conceptos definidos, utiliza las funcionalidades de edición, integración y traducción de ontologías, pero no presenta la integración en base de datos, por lo que las ontologías no pueden ser guardadas.

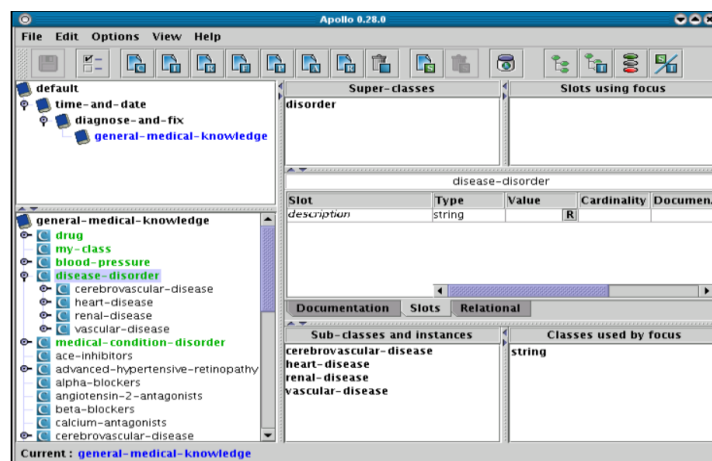


Figura 5. Interfaz herramienta Apollo.

2.2.3.2 *OntoEdit*

OntoEdit es una herramienta de edición de ontologías, la cual utiliza medios gráficos en un entorno web. Existen varias versiones de la herramienta, pero todas ellas proporcionan las siguientes opciones: importar estructuras desde el directorio, construir gráficas, reglas predefinidas que posibilitan la eliminación de fallos en la visualización y edición sencilla de ontologías.

OntoEdit cuenta con un interfaz abierto que permite ajustar al usuario las opciones y que se puede observar en la *Figura 6*. Sigue una configuración cliente-servidor y permite la definición de las ontologías mediante términos, propiedades y relaciones.

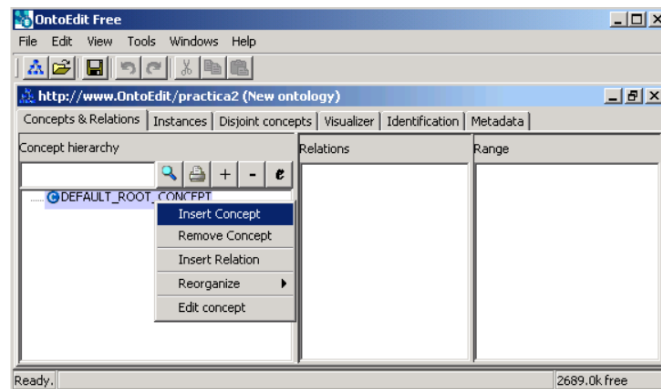


Figura 6. Interfaz herramienta OntoEdit.

2.2.3.3 *Protégé*

La herramienta Protégé fue desarrollada por la Universidad de Stanford en colaboración con la Universidad de Mánchester. Se trata de una herramienta JAVA que proporciona una arquitectura para la creación de aplicaciones de bases de conocimiento personalizadas. Permite editar ontologías y bases de conocimiento en una interfaz organizada en una serie de tablas, y que se puede ver en la *Figura 7*.

Cuenta con más de 366.000 usuarios registrados debido a que su estructura es de código abierto. Además, permite la construcción de ontologías en *RDF*, *OWL* y *XML Schema*.

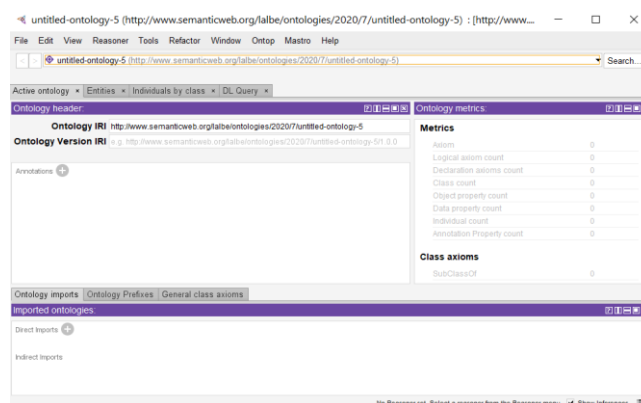


Figura 7. Interfaz herramienta Protégé.

2.2.4 Razonamiento con ontologías

Para que el conocimiento modelado por una ontología sea útil, ésta debe estar correctamente formada y no presentar inconsistencias. Una ontología consistente debe cumplir:

- Los elementos de la ontología deben cumplir las reglas y axiomas.
- Los elementos de la ontología son únicos y no puede existir otro con el mismo nombre.
- Un individuo sólo puede ser instancia de una clase.
- El rango de un atributo puede tomar cualquier valor que no sea un recurso de la ontología.
- El rango de una relación tiene que ser una clase de la ontología.
- El rango de un atributo tiene que ser un tipo básico: double, string, ...
- El dominio de una propiedad tiene que ser una clase de la ontología.
- Una propiedad sólo se puede aplicar a un individuo si éste es instancia del dominio de la propiedad o si el dominio es alguna superclase de la instancia.

La herramienta Protégé cuenta con una serie de razonadores compatibles con SWRL, como es el caso del razonador Pellet, el cual está basado en JAVA y mediante la instalación de un plugin, permite validar, inferir información y comprobar la consistencia de la ontología.

CAPÍTULO 3. Diseño de la ontología

Gracias a las ontologías, se pueden resolver infinidad de problemas cotidianos. En la actualidad, la cantidad de aplicaciones en los que son aplicados es inmensa, y pasa desde modelar el comportamiento de las redes sociales, reflejar el diseño de un circuito secuencial o hasta planificar el trayecto que sigue un tren desde Madrid a Alcalá de Henares. En este capítulo, se va a diseñar un prototipo de ontología para las redes 802.11 que modele el funcionamiento de las mismas.

3.1 Criterios para diseñar ontologías

Antes de empezar a desarrollar una ontología, es importante tener en cuenta una serie de ítems a seguir, los cuales fueron definidos por “Gruber, 1995; Bernaras et al, 1996; Borgo et al, 1996; Arpírez et al, 1998; Gómez-Pérez and Benjamins, 1999”:

- Claridad, la ontología debe incluir la definición de los términos.
- Completitud, la definición de la ontología debe ser suficiente para expresar el significado y no parcial.
- Objetividad, la ontología debe expresar la realidad tal cual es.
- Coherencia, los conceptos de la ontología deben ser consistentes.
- Extensibilidad monótona máxima, la ontología debe tener la capacidad de inclusión de nuevos términos sin necesidad de revisar los existentes.
- Principio de distinción ontológica, las clases en una ontología deben ser unívocas.
- Diversificación de jerarquías, que intensifican las ventajas de que aportan los mecanismos de herencia múltiple.
- Modularidad, la ontología se debe poder entender como la unión de varias partes que trabajan en conjunto para alcanzar un objetivo común.
- Minimización de la distancia semántica entre conceptos hermanos, es decir, se agrupan los conceptos similares y se representan usando las mismas primitivas.
- Estandarización de nombres.

- **Station**, dispositivo inalámbrico con interfaces de red inalámbrica. Su atributo es:
 - **MAC** (string), conjunto de reglas para determinar cómo se accede al medio y se envían los datos.
- **AP**, puente de inalámbrico a cable que se encuentra dentro de un BSS y que contiene unos parámetros predefinidos como son la Potencia máxima y la mínima. Sus atributos son:
 - **Name_AP** (string), nombre del punto de acceso.
 - **BSS** (string), conjunto de estaciones que se comunican entre sí creadas dentro del AP.
- **Location_AP**, zona que define la localización del usuario y también de la estación a la que se conecta. Sus atributos son:
 - **Name_Location_AP** (string), ubicación del AP.
 - **City_AP** (string), ciudad del AP.
 - **Country_AP** (string), país del AP.
- **ISP**, dispositivo de selección de frecuencias y regulación de BSS. Sus atributos son:
 - **Name_ISP** (string), nombre del proveedor de servicios.
 - **ESS** (string), conjunto de servicios extendidos. Encadena varios BSS para formar una red troncal. Todos los AP en un ESS tiene el mismo SSID.
- **Location_ISP**, ubicación del ISP. Sus atributos son:
 - **Name_Location_ISP** (string), localización del ISP.
 - **City_ISP** (string), ciudad del ISP.
 - **Country_ISP** (string), país del ISP.
- **SNIR**, relación señal-interferencia que circula entre dos puntos de comunicación. Su atributo es:
 - **Value_SNIR** (double), valor SNIR.

- **Co-Channel Interference**, interferencia Co-canal de las celdas adyacentes. Su atributo es:
 - **Value_Interference** (double), valor interferencia co-canal.
- **Power**, potencia. Su atributo es:
 - **Value_Power** (double), valor de la potencia.
- **SSID**, valor de SSID. Su atributo es:
 - **Value_SSID** (string), valor de SSID.
- **Channel List**, lista de 11 canales disponibles. Su atributo es:
 - **Bandwidth** (double), ancho de banda disponible.
- **Channel**, canal actual utilizado. Banda de 2.4 GHz - 2.485 GHz. Su atributo es:
 - **Value_Frequency** (double), frecuencia utilizada.
- **Distance_User**, distancia a la que se encuentra el usuario de la estación. Su atributo es:
 - **Distance** (double), metros cuadrados.

3.2.2 Relaciones de la ontología

Las relaciones son las distintas conexiones que existen entre los conceptos. Se han establecido las siguientes relaciones entre las clases definidas en el apartado anterior (ver *Tabla 2*):

- **connectsTo**, se trata de la relación existente entre las clases *User* y *Station*, y define la acción de que un usuario se conecte a una estación.
- **isIdentifiedWith**, se trata de la relación existente entre las clases *Station* y *SSID*, y define la acción de que una estación está identificada por un identificador de red.
- **isUsedAsIdentifierBy**, se trata de la relación existente entre *SSID* y *AP*. Un punto de acceso necesita registrar el identificador de red de una estación para establecer la comunicación.
- **isFound**, se trata de la relación existente entre *User* y *Distance_User*. Un usuario se encuentra una distancia de la estación.

- **hasAsProvider**, se trata de la relación existente entre *AP* e *ISP*. Un punto de acceso tiene como proveedor de servicios un ISP.
- **isLocatedIn**, se trata de la relación existente entre *AP* y *Location_AP*. Un punto de acceso se encuentra ubicado en algún lugar.
- **IsPlacedIn**, se trata de la relación existente entre *ISP* y *Location_ISP*. El proveedor de servicios se encuentra localizado en algún sitio.
- **hasRangeOfFrequenciesTo**, se trata de la relación existente entre *AP* y *Channel_List*. Un punto de acceso tiene asociada una lista de canales.
- **hasChannel**, se trata de la relación existente entre *Channel_List* y *Channel*. Un canal pertenece a una lista de canales.
- **hasCurrentChannel**, se trata de la relación existente entre *Station* y *Channel*. Una estación tiene que tener asignado un canal para poder establecer la comunicación.
- **useCurrentChannel**, se trata de la relación existente entre *AP* y *Channel*. Un punto de acceso tiene que tener asignado un canal para poder establecer la comunicación.
- **evaluate**, se trata de la relación existente entre *AP* y *SNIR*. Un punto de acceso evalúa constantemente la relación señal-ruido.
- **come**, se trata de la relación existente entre *SNIR* y *Co-Channel_Interference*. La relación señal-ruido varía en función de la interferencia co-canal.
- **hasPower**, se trata de la relación existente entre *SNIR* y *Power*. La relación señal-ruido tiene una potencia asociada.

Nº	Relación	Relación Inversa	Descripción
1	connectsTo		Se trata de la relación existente entre User y Station.
2		isConnectedTo	Se trata de la relación existente entre Station y User.
3	isIdentifiedWith		Se trata de la relación existente entre Station y SSID.
4		isIdentifierOf	Se trata de la relación existente entre SSID y Station.
5	isUsedAsIdentifierBy		Se trata de la relación existente entre SSID y AP.
6		usesAsIdentifier	Se trata de la relación existente entre AP y SSID.
7	isFound		Se trata de la relación existente entre User y Distance_User.
8		isTheDistanceOf	Se trata de la relación existente entre Distance_User y User.
9	hasAsProvider		Se trata de la relación existente entre AP y ISP.
10		isAPProviderOf	Se trata de la relación existente entre ISP y AP.
11	isLocatedIn		Se trata de la relación existente entre AP y Location_AP.
12		locate	Se trata de la relación existente entre Location AP y AP.
13	IsPlacedIn		Se trata de la relación existente entre ISP y Location_ISP.
14		place	Se trata de la relación existente entre Location_ISP y ISP.
15	hasRangeOfFrequenciesT		Se trata de la relación existente entre AP y Channel_List.
16		isFrequencyRangeOf	Se trata de la relación existente entre Channel_List y AP.
17	hasChannel		Se trata de la relación existente entre Channel_List y Channel.
18		isChannelOf	Se trata de la relación existente entre Channel y Channel_List.
19	hasCurrentChannel		Se trata de la relación existente entre Station y Channel.
20		isCurrentChannelOf	Se trata de la relación existente entre Channel y Station.
21	useCurrentChannel		Se trata de la relación existente entre AP y Channel.
22		isUsedAsCurrentChannelBy	Se trata de la relación existente entre Channel y AP.
23	evaluate		Se trata de la relación existente entre AP y SNIR.
24		isEvaluatedBy	Se trata de la relación existente entre SNIR y AP.
25	come		Se trata de la relación existente entre SNIR y Co-Channel_Interference.
26		go	Se trata de la relación existente entre Co-Channel_Interference y SNIR.
27	hasPower		Se trata de la relación existente entre SNIR y Power.
28		isPowerOf	Se trata de la relación existente entre Power y SNIR.

Tabla 2. Relaciones ontología redes inalámbricas.

CAPÍTULO 4. Implementación de la ontología

Para la implementación de la ontología se ha utilizado la herramienta Protégé, la cual presenta una interfaz de usuario fácil de utilizar. Protégé permite la creación de clases, la implementación de propiedades, así como la instanciación de individuos de forma sencilla. Asimismo, ofrece OWL-DL que permite agregar reglas sobre las que inferir conocimiento en la ontología a través de un razonador DIG.

Por otro lado, el código fuente es gratis, bajo la licencia de código abierto Mozilla Public License (MPL) y el lenguaje utilizado en la codificación de la ontología es OKBC (Open Knowledge Base Connectivity). Protégé es un editor de ontologías basado en Java, lo cual hace que sea flexible para la construcción de cualquier diseño ontológico. Se pueden construir ontologías en RDF, OWL Y XML schema y la visualización de las clases y propiedades globales se realiza mediante el plug-in GraphViz. Por todas estas razones, ha sido elegida herramienta para la implementación de la ontología diseñada para el dominio de las redes inalámbricas.

4.1 Implementación de la ontología en Protégé

En primer lugar, es necesario crear y nombrar un nuevo proyecto. La primera pestaña que se observa es *Active Ontology*, la cual se utiliza para hacer una descripción general de la ontología (ver *Figura 9*).

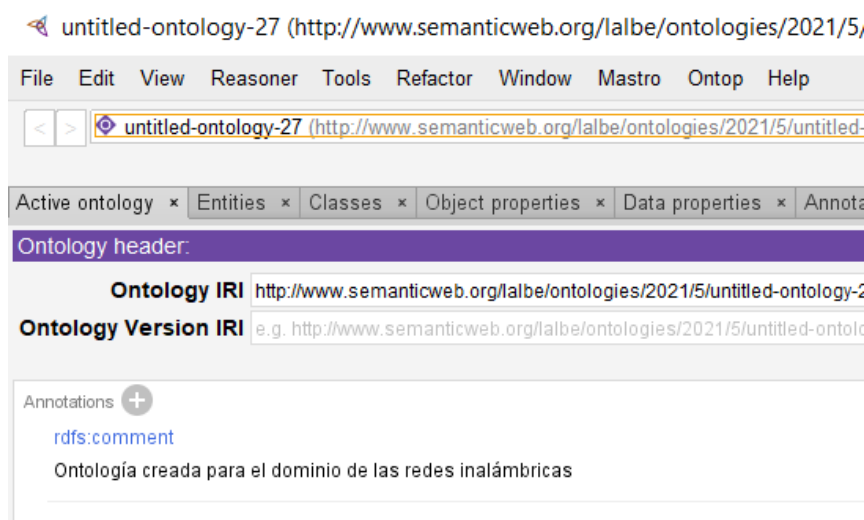


Figura 9. Comentarios en Protégé.

La siguiente pestaña es *Entities*. Inicialmente, aparece una clase predefinida *thing* a la que se pueden ir introduciendo los conceptos que formarán la ontología. Una vez seleccionada la clase principal de nuestro dominio, la seleccionamos y se habilitan tres botones. El primero *Add Subclass* permite agregar una clase y es la forma de crear un concepto (ver *Figura 10*).

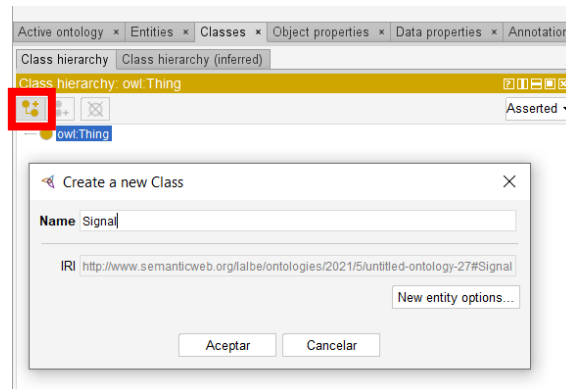


Figura 10. Ejemplo clase en Protégé.

Una vez introducido el nombre, que en este caso es *Signal*, se le asigna una URL de forma automática. Si creamos un concepto que finalmente no es necesario, y deseamos eliminarlo, se puede utilizar el tercer botón *Delete selected classes* (ver Figura 11).



Figura 11. Eliminar clase en Protégé.

Las clases deben ser únicas. Con todo ello, se obtiene el número total de conceptos que definen el dominio de la ontología diseñadas para las redes inalámbricas (ver Figura 12):

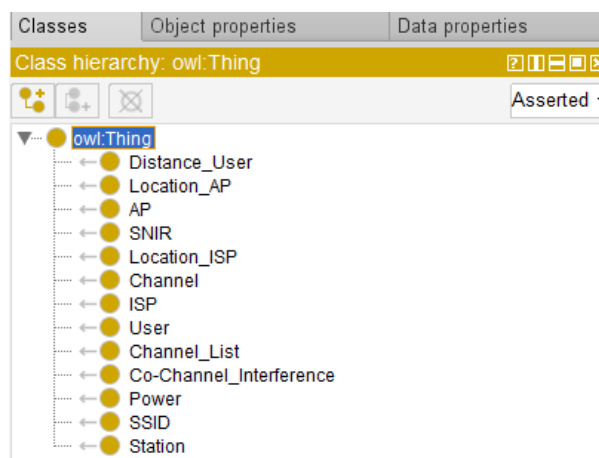


Figura 12. Conceptos ontología en Protégé.

Para la creación de atributos es necesario ir a la pestaña de *Data properties*, y seleccionar la opción *Add sub property* (ver *Figura 13*).

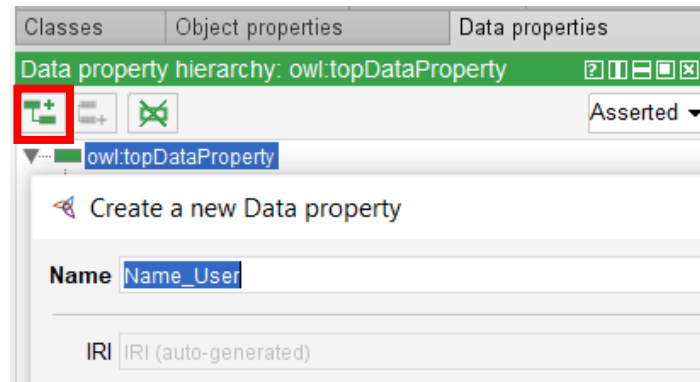


Figura 13. Creación atributos en Protégé.

Una vez introducido el nombre, por ejemplo, *Name_User*, habrá que seleccionar el dominio que corresponda, que en el ejemplo es *User*, ya que *Name_User* es un atributo de la clase *User*; y el rango del atributo de entre una lista de tipos predefinidos (ver *Figura 14*).

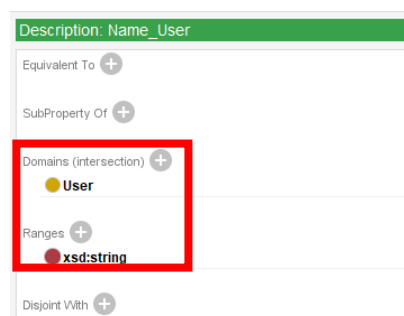


Figura 14. Parámetros atributos en Protégé.

Con todo ello, se obtiene el número total de atributos que describen las clases de la ontología (Ver *Figura 15*).

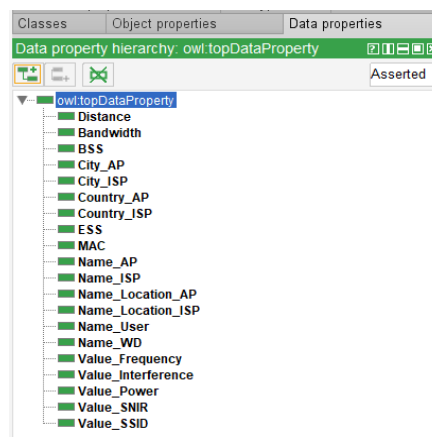


Figura 15. Atributos de la ontología en Protégé.

Para crear relaciones entre las distintas clases, basta con ir a la pestaña *Object properties*, clicar en *Add sub property* e introducir el nombre, que en este caso se va a crear la relación *connectsTo* que une la clase *User* con *Station*, pues un usuario con su dispositivo WD se conecta a una estación base (ver *Figura 16*).

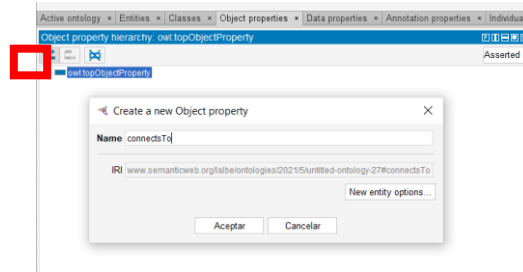


Figura 16. Creación relaciones en Protégé.

Una vez creada la relación, es necesario indicarle la clase origen y destino. En caso de la relación *connectsTo*, la clase origen es *User* y la clase destino *Station*. Además, hay que indicarle la relación inversa, que en este caso es *isConnectedTo* (ver *Figura 17*).

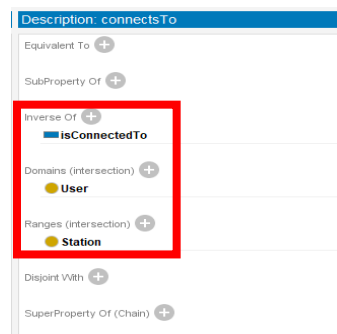


Figura 17. Parámetros relaciones en Protégé.

Finalmente, se obtiene el número total de relaciones de las clases de la ontología (Ver *Figura 18*).

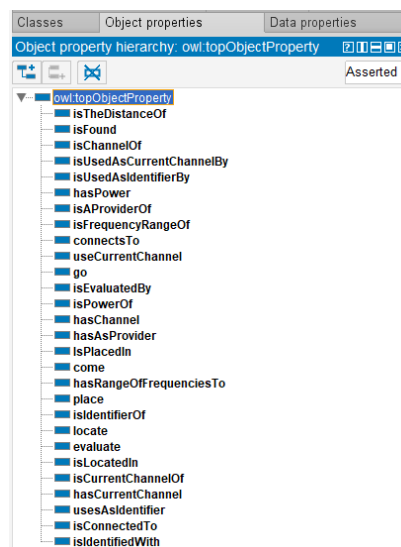


Figura 18. Relaciones de la ontología en Protégé.

Por último, guardamos la ontología creada en *File -> Save as*, y elegimos el formato del archivo (preferiblemente la extensión **owl*).

4.2 Implementación de la ontología

Para la implementación de esta ontología se ha elegido el escenario concreto de la asignación de canales en redes de área local inalámbricas operando en modo infraestructura, en la que distintos dispositivos se conectan a distintos puntos de acceso.

El primer paso es la identificación de una red compatible mediante el proceso de escaneado en el que se utilizan distintos parámetros especificados por el usuario.

El escaneado tiene como objetivo encontrar todas las áreas de servicio básico a las que se puede unir la estación, por lo que una Petición de Prueba de difusión obtiene respuesta de todos los puntos de acceso que se encuentran dentro del rango. Con todo ello, se genera un informe de escaneado, que recoge una lista de todos los BSS descubiertos y sus parámetros. La red tiene que verificar la identidad de la estación que se quiere unir, es decir, su dirección MAC (atributo definido para la clase *Station*). Tras la compilación de resultados del escaneado, la estación decide a qué BSS unirse en función del nivel de potencia y la fuerza de la señal. La *Figura 19* representa la parte inicial de la ontología que describe este proceso. Un usuario, que se encuentra a una distancia de la estación, decide conectarse a ella. El punto de acceso registra la estación mediante un identificador de red.

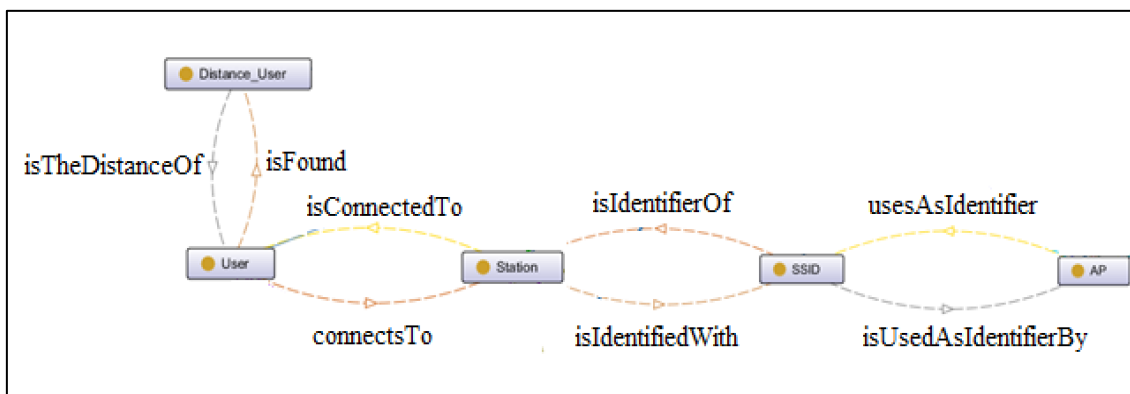


Figura 19. Bloque I de conocimiento: Gestión de la conexión.

La estación va cambiando de canal en función de las tramas *beacon* que van llegando. Una vez obtenido el acceso al medio, se espera el tiempo mínimo de canal para comprobar si hay red, y en el caso de que la haya, se procesa cualquier trama de Petición de prueba en el transcurso del tiempo máximo de canal. Como todos los puntos de acceso dentro de una EES, tienen el mismo SSID, vamos a considerar que sólo existe un punto de acceso con su BSS. En la *Figura 20*, se muestra que una estación utiliza un canal para realizar la comunicación, y que este pertenece a una lista de canales. El punto de acceso asigna el canal a la estación para poder establecer la comunicación.

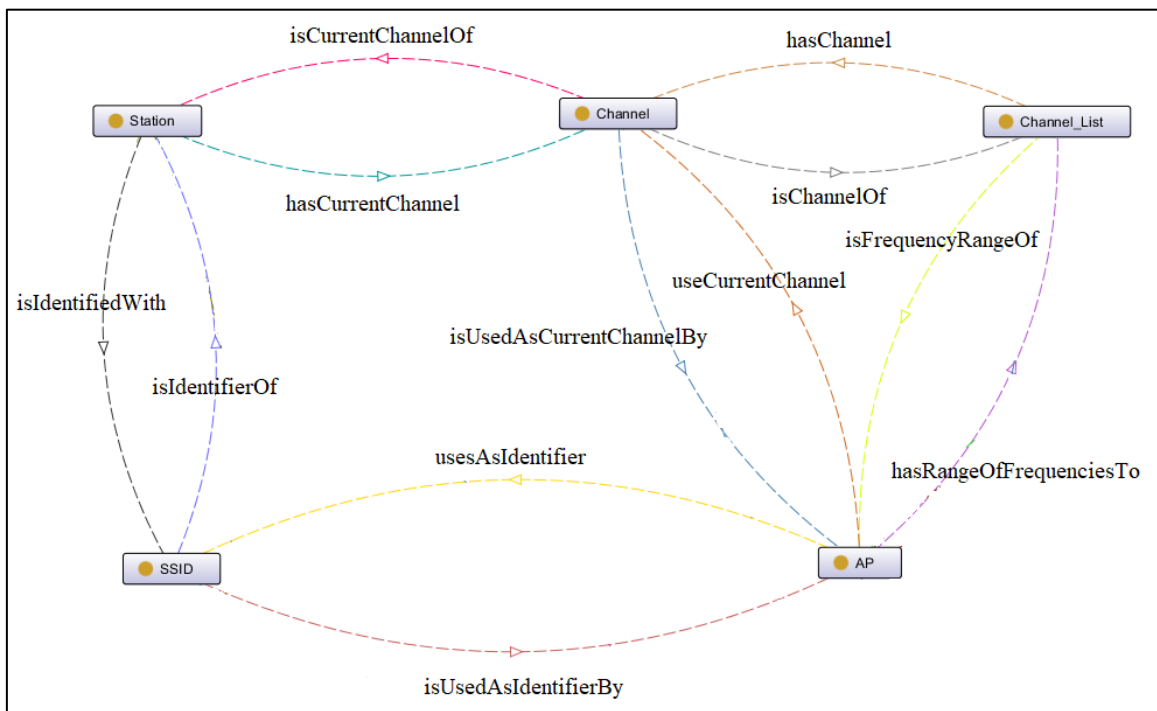


Figura 20. Bloque II de conocimiento: Gestión de los canales.

Por otro lado, el sistema de distribución registra dónde se localizan las estaciones físicamente y se encarga de entregar correctamente las tramas. En la *Figura 21*, se observa la parte del diseño de la ontología en donde se describe que un AP tiene un proveedor de servicios, el cual se encuentra situado en alguna localización.

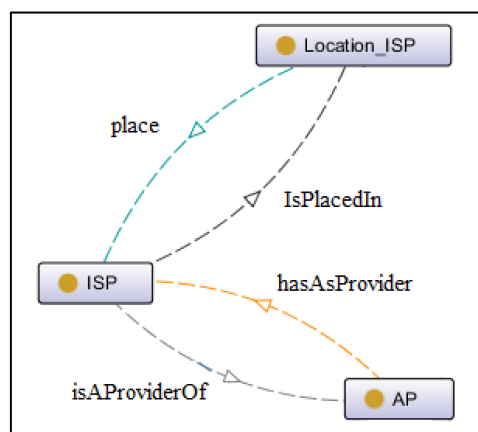


Figura 21. Bloque III de conocimiento: Gestión del ISP.

La estación móvil supervisa la calidad de la señal que recibe desde ese punto de acceso, así como la de otros puntos de acceso en el mismo ESS. Este proceso también se utiliza para volver a unirse a una red si la estación deja el área de cobertura y regresa posteriormente al mismo punto de acceso. La estación toma de *ChannelList* el primer

canal y la estación se mueve a él. Se comprobará si se puede usar o no, y en el caso de que no se pueda, se continuará con el siguiente canal de la lista. Además, se verificará la calidad de la señal, viendo el nivel de interferencia y en función de ella, se deberá pasar a la siguiente frecuencia. En la *Figura 22*, se muestra que el punto de acceso que se encuentra ubicado en *Location_AP*, evalúa la relación señal-ruido, la cual viene definida por la potencia y por la interferencia co-canal.

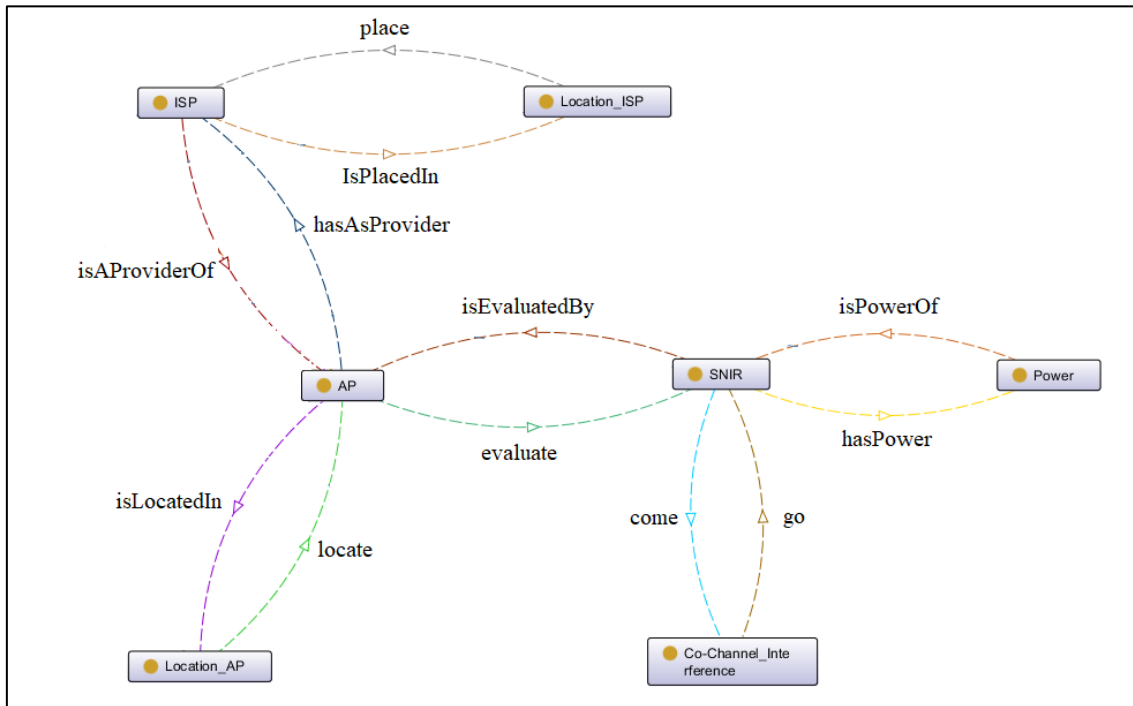


Figura 22. Bloque IV de conocimiento: Gestión de la señal.

CAPÍTULO 5. Evaluación de la ontología

5.1 Escenarios de prueba

La implementación de las ontologías en herramientas como Protégé permite la definición de aspectos de comportamiento de los recursos mediante definiciones implícitas o explícitas de las clases. Para ello, es necesario poblar la ontología de individuos y definir una serie de escenarios de prueba, que verifiquen la consistencia de la ontología. En este trabajo se han definido varios escenarios de prueba:

- Escenario A

Se crearon cuatro usuarios: Susel, Luis, Iván y José Manuel. Los tres primeros se definieron con la clase *User* y el cuarto no. El objetivo era verificar si se infería el conocimiento y se clasificaba a José Manuel como que es un usuario. En la *Figura 23*, se observa cómo Susel, Luis e Iván se definen como clase *User* y José Manuel, no.

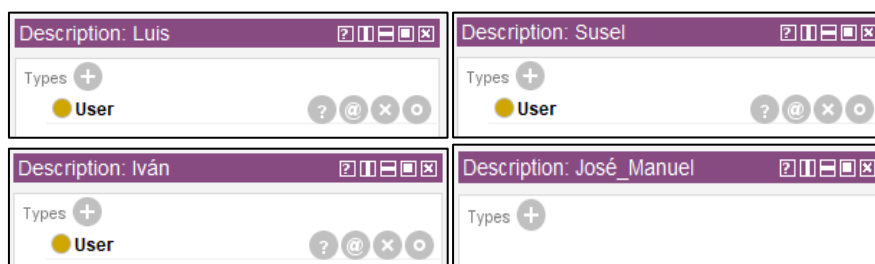


Figura 23. Escenario de prueba A.

- Escenario B

Se han introducido dos puntos de acceso (AP1 y AP2) y cuatro frecuencias (C1, C2, C3 y C4). Las dos primeras frecuencias se asignaron a AP1 y las dos restantes a AP2. Se verificó si AP1 conseguía ver las dos frecuencias no introducidas. En la *Figura 24*, se muestran las relaciones establecidas en Protégé. AP1 está ubicado en *Villarejo_Castle* y tiene como canales actuales a C1 y C2. Por otro lado, AP2 está ubicado en *Ramon_Park* y tiene como canales actuales a C3 y C4.

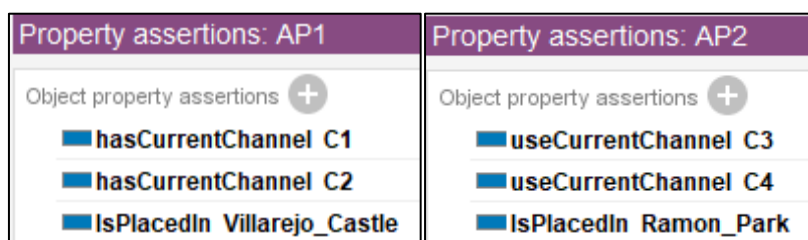


Figura 24. Escenario de prueba B.

- Escenario C

Se incluyeron localizaciones a AP1 (Villarejo_Castle) y a AP2 (Ramon_Park). La *Figura 25* muestra las ubicaciones de los puntos de acceso que se crearon con el objetivo de verificar si se inferían las relaciones inversas. Es decir, si AP1 está ubicado en Villarejo_Castle, ¿Villarejo_Castle ubica a AP1?

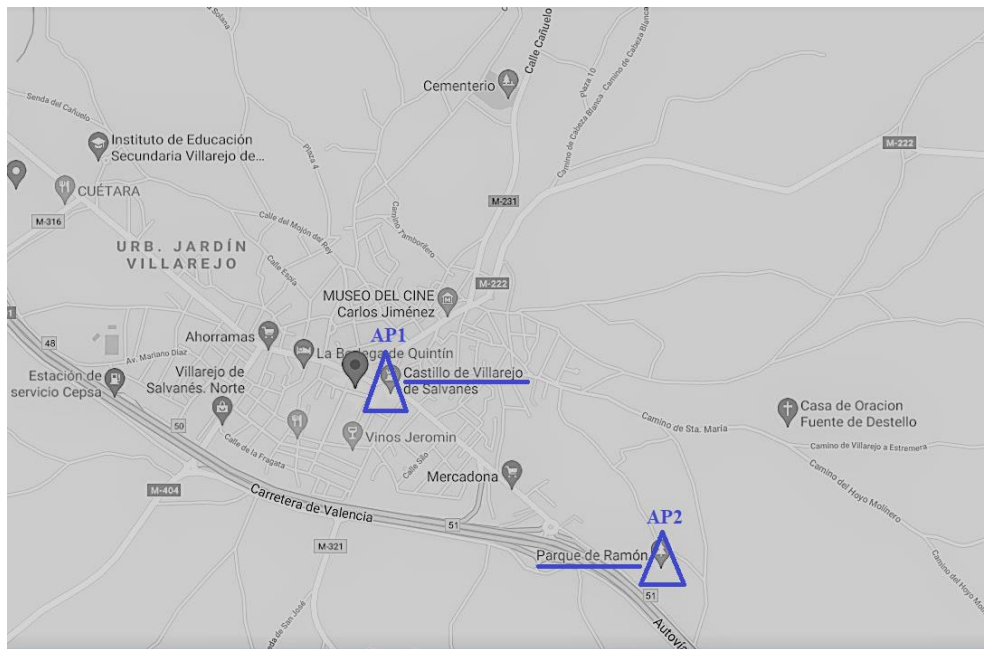


Figura 25. Escenario C de la ontología.

5.2 Creación de individuos en la ontología

Para implementar los escenarios de prueba vistos en el apartado anterior en la herramienta Protégé, es necesario agregar instancias que verifiquen la validez de la ontología. En la pestaña *Individuals* se utiliza el botón de agregar individuos, marcado en la imagen (ver *Figura 26*).

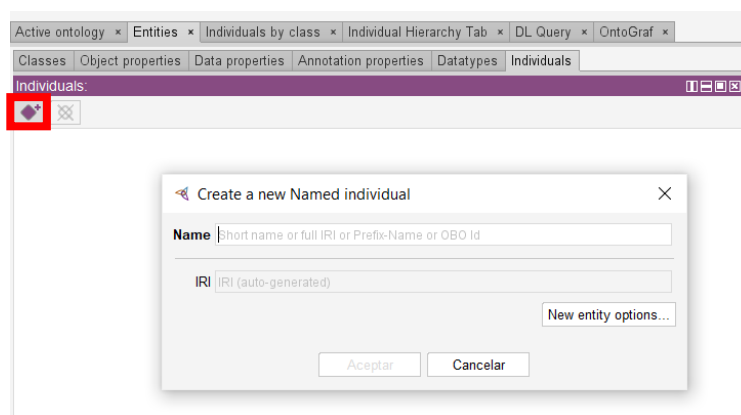


Figura 26. Creación individuos en Protégé.

Las instancias que se agregan no están asociadas a ninguna clase en particular, para asignarlas hay que regresar a la pestaña de *Classes*, seleccionar la clase a la que le queremos agregar individuos y seleccionar la opción *Members* para integrarlos. Una instancia puede pertenecer a varias clases (ver *Figura 27*).

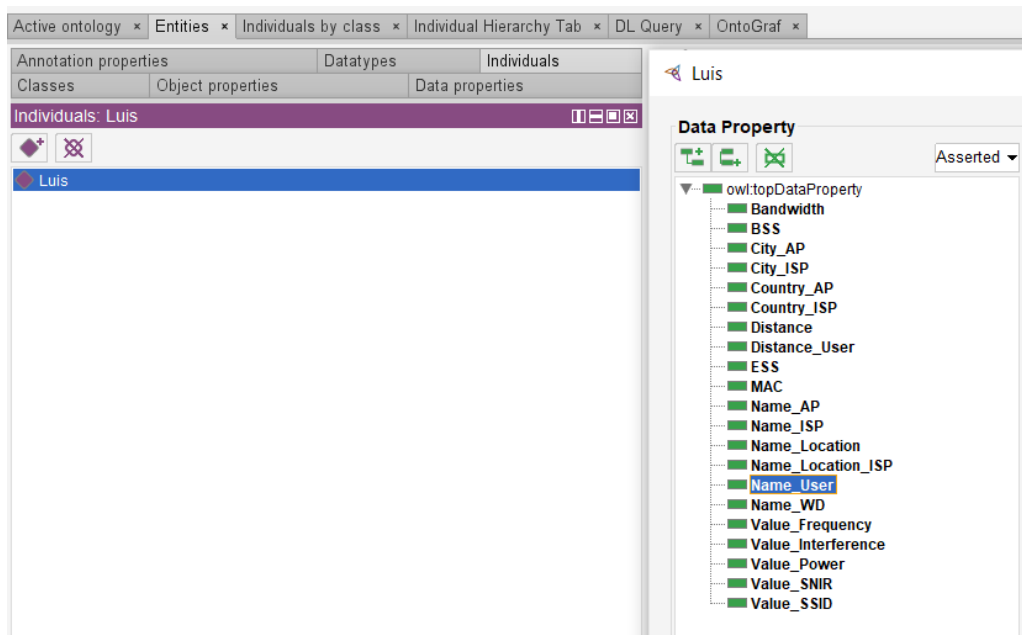


Figura 27. Parámetros individuos en Protégé.

Si se van introduciendo poco a poco individuos para cada clase, se van creando también en la vista genérica de la ontología. Por ejemplo, si se añade para la clase *AP*, los individuos *AP1* y *AP2* con sus respectivas localizaciones, se obtiene (ver *Figura 28*):

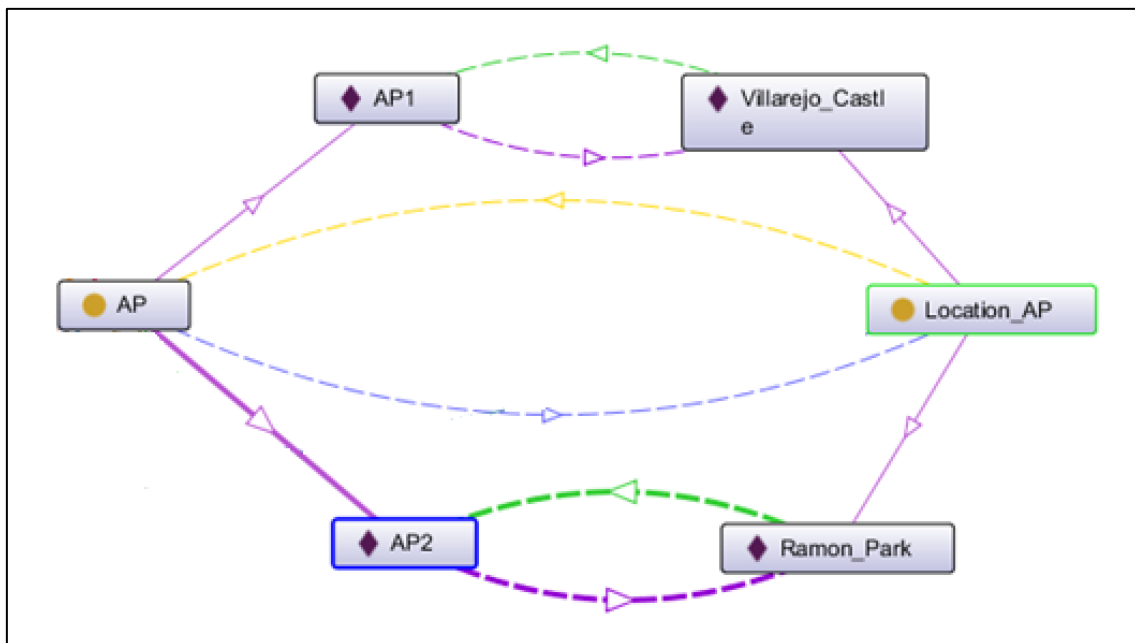


Figura 28. Ejemplo de individuos en Protégé.

Finalmente, la ontología es poblada con la siguiente cantidad de individuos (ver *Figura 29*):

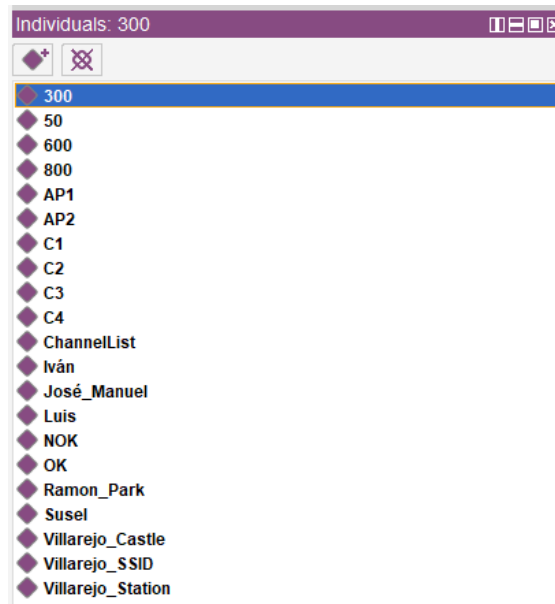


Figura 29. Población ontología en Protégé.

5.3 Definición reglas de razonamiento (SWRL)

La utilización del Lenguaje de Reglas de la Web Semántica (SWRL) proporciona la posibilidad de definir comportamiento en una ontología descrita en OWL, es decir, permite integrar tareas desde un punto de vista sintáctico y semántico. SWRL incluye reglas condicionales del tipo “Si...entonces...” precisando aún más el comportamiento de la ontología, indicando lo que deberían hacer los recursos ante eventos determinados.

Una regla se describe como causa y consecuencia, si la causa es cierta, entonces la consecuencia también. Estas reglas ayudan a complementar a los mecanismos existentes en OWL. Para crear reglas SWR, Protégé cuenta con la ventana *SWRLTab* -> *Rules* -> *New*. A continuación, se presentan algunas de las reglas SWRL definidas para la inferencia de conocimiento en la ontología propuesta:

- **Rule 1:** Channel (?X) ^ Channel_List (?Y) ^ AP (?Z) ^ isChannelOf (?X,?Y) -> useCurrentChannel (?X, ?Y)

Si X es un canal, Y es una lista de canales, Z es un AP y el canal X pertenece a la lista de canales Y, entonces AP tiene el canal X (ver la *Figura 30*). Es decir, si el canal pertenece a la lista de canales y la lista de canales es gestionada por el AP, entonces el AP usa ese canal.

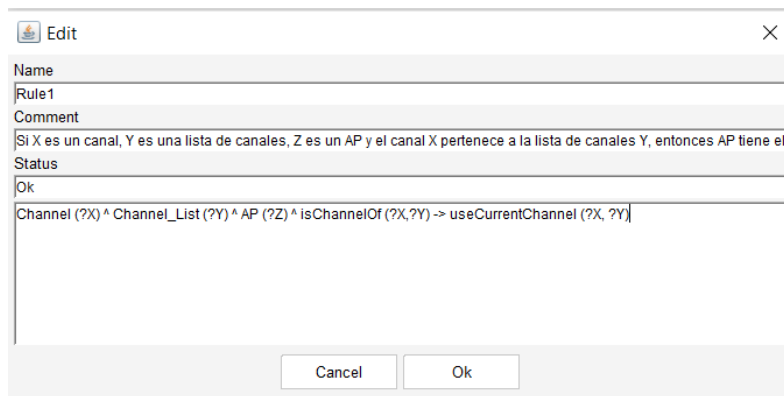


Figura 30. Creación reglas SWRL en Protégé.

- **Rule 2:** $User (?A) \wedge Station (?B) \wedge AP (?C) \wedge connectsTo (?A, ?B) \rightarrow connectsTo (?A, ?C)$

Si A es un usuario, B es una estación, C es un AP y A está conectada a B, entonces A también está conectado a C. En otras palabras, si el usuario está conectado a la estación y la estación está conectada al AP, entonces el usuario está conectado al AP también.

- **Rule 3:** $Station (?D) \wedge AP (?E) \wedge ISP (?F) \wedge hasAsProvider (?E, ?F) \rightarrow hasAsProvider (?D, ?F)$

Si D es una estación, E es un AP, F es un ISP y E tiene como proveedor a F, entonces D también tiene como proveedor a F. Es decir, si la estación está conectada al AP, y el AP es gestionado por el ISP, entonces la estación es gestionada por el ISP también.

Con todo ello, se obtiene que (ver Figura 31):

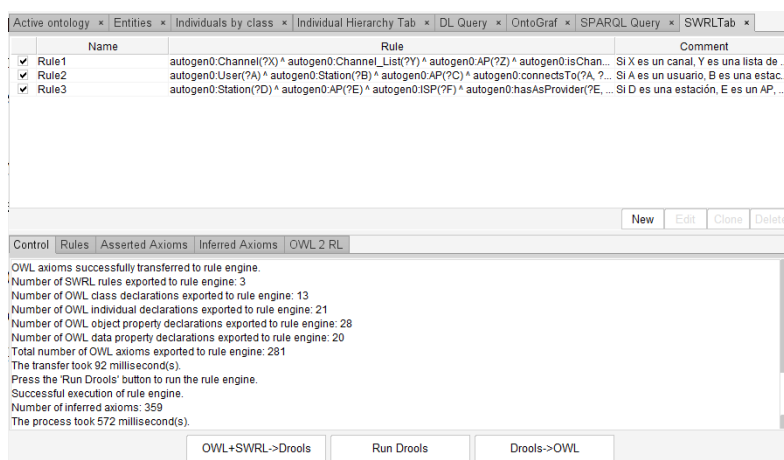


Figura 31. Conjunto de reglas SWRL en Protégé.

Siguiendo los pasos *OWL+SWRL*->*Drools*, *Run Drools* y *Drools-OWL*, se infiere nuevo conocimiento. En *Figura 32*, se puede observar que:

- Se infiere la relación inversa *IsPlacedIn Villarejo_Castle*.
- Al tener como canal actual C1 y C2, se infiere que C3 y C4 también lo pueden ser.
- Se infiere la relación inversa *usesAsIdentifier Villarejo_SSID*.

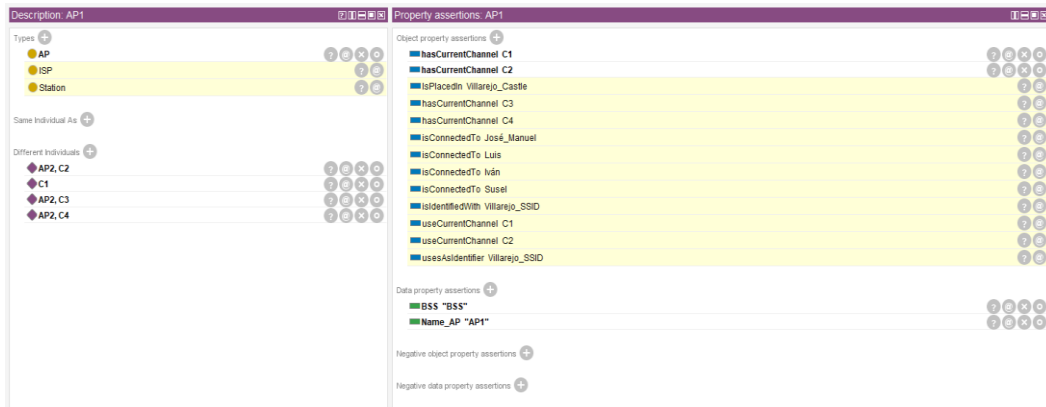


Figura 32. Resultado reglas SWRL en Protégé.

Según los escenarios de prueba definidos en el apartado 5.1 de este capítulo, la salida del razonador Pellet cuando infiere información a partir de reglas SWRL, es la siguiente:

- Para el escenario A, se infiere que igual que *Luis*, *Susel* e *Iván*, *José Manuel* también es del tipo *User* (ver *Figura 33*).

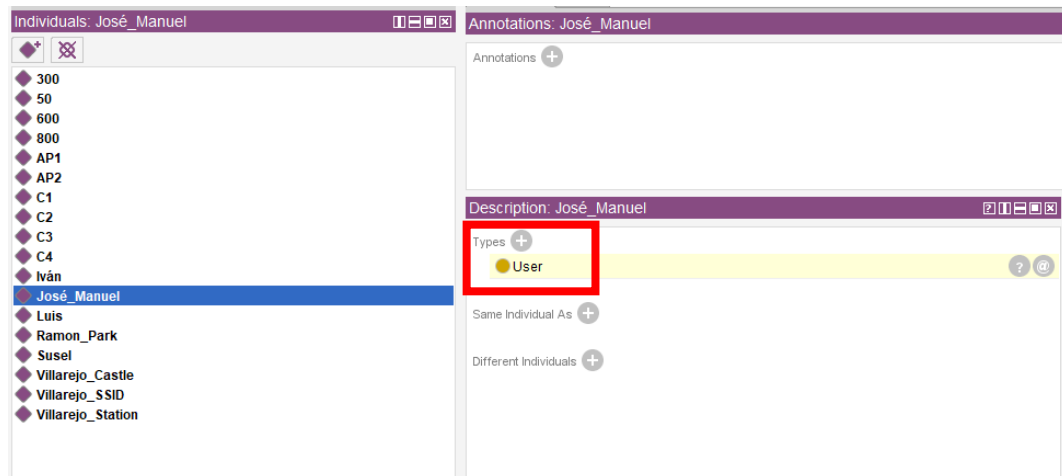


Figura 33. Resultado escenario A en Protégé.

- Para el escenario B, se verifica que *API*, igual que tiene como canales actuales a *C1* y *C2*, también puede tener a *C3* y *C4* (ver *Figura 34*).

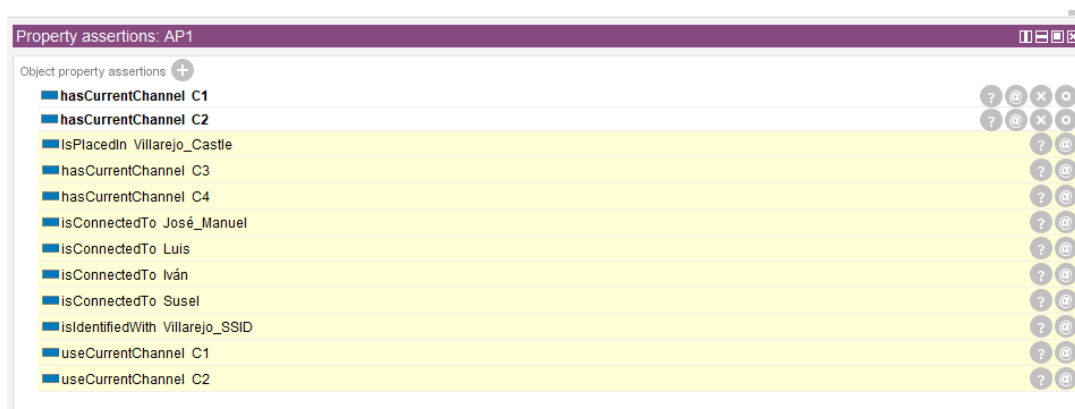


Figura 34. Resultado escenario B en Protégé.

- Para el escenario C, se infieren las relaciones inversas de que *Villarejo_Castle* es la ubicación de *AP1* y que *Ramon_Park* es la de *AP2* (ver Figura 35).

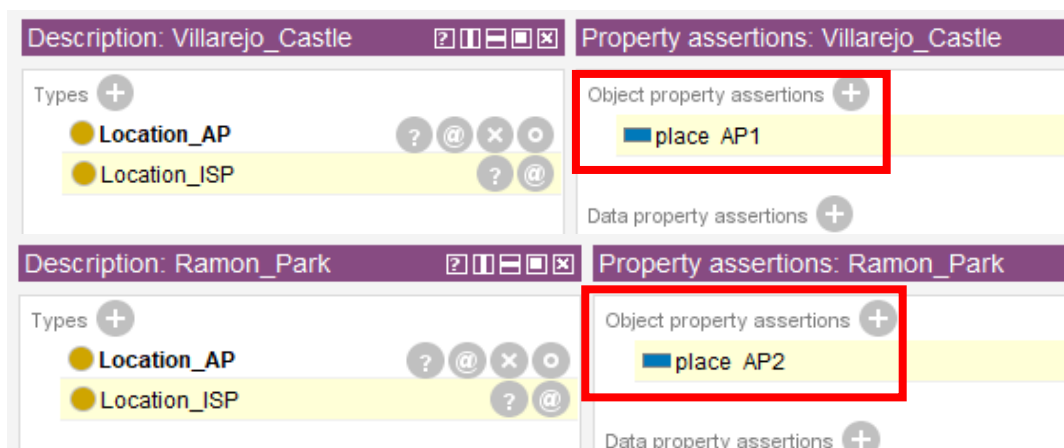


Figura 35. Resultado escenario C en Protégé.

5.4 Realización de consultas en la ontología

El lenguaje de consulta SPARQL [13] es una especificación propuesta por el W3C que proporciona una sintaxis para manipular datos. Si esta información la almacenamos en un repositorio RDF podríamos ejecutar consultas SPARQL para obtener información. La estructura básica de SPARQL tiene una sintaxis similar a SQL. Por ejemplo, si se quieren listar todas las subclases pertenecientes a una clase dentro de la ontología, la consulta correspondiente sería la siguiente:

```
SELECT ?subject ?object
  WHERE { ?subject rdfs:subClassOf ?object
}
```

Con estas consultas, se podría seguir obteniendo información de la ontología. Para que se visualice de una forma más clara, se van a realizar una serie de consultas:

- **Consulta 1:** ¿Cuáles son las frecuencias disponibles de asignación para AP1?

En la *Figura 36*, se observa que las frecuencias definidas para AP1 son **C1** y **C2**.

```
SELECT ?Frequencies WHERE{
  Wifi_ontology:AP1 Wifi_ontology:useCurrentChannel ?Frequencies
}
```

The screenshot shows a SPARQL query interface. The query is:


```
SELECT ?Frequencies WHERE{
  Wifi_ontology:AP1 Wifi_ontology:useCurrentChannel ?Frequencies
}
```

 The results table has a header 'Frequencies' and contains two rows: 'C1' and 'C2'. Both rows are highlighted with a red box.

Figura 36. Consulta SPARQL I en Protégé.

- **Consulta 2:** ¿Cuál es la ubicación de AP2?

En la *Figura 37*, se observa que la localización de AP2 es **Ramon_Park**.

```
SELECT ?Location WHERE{
  Wifi_ontology:AP2 Wifi_ontology:IsPlacedIn ?Location
}
```

The screenshot shows a SPARQL query interface with multiple tabs. The active tab is 'SPARQL Query'. The query is:


```
SELECT ?Location WHERE{
  Wifi_ontology:AP2 Wifi_ontology:IsPlacedIn ?Location
}
```

 The results table has a header 'Location' and contains one row: 'Ramon_Park'. This row is highlighted with a red box.

Figura 37. Consulta SPARQL II en Protégé.

- **Consulta 3:** ¿Qué usuarios están conectados a *Villarejo_Station*?

En la *Figura 38*, se observa que los usuarios que están conectados a *Villarejo_Station* son **Susel**, **Luis** e **Iván**, que es el resultado esperado, ya que a José Manuel no se le ha establecido la relación de conectado a *Villarejo_Station*.

```
SELECT ?User
WHERE{
  ?User rdf:type Wifi_ontology:User .
  ?User Wifi_ontology:connectsTo Wifi_ontology:Villarejo_Station
}
```

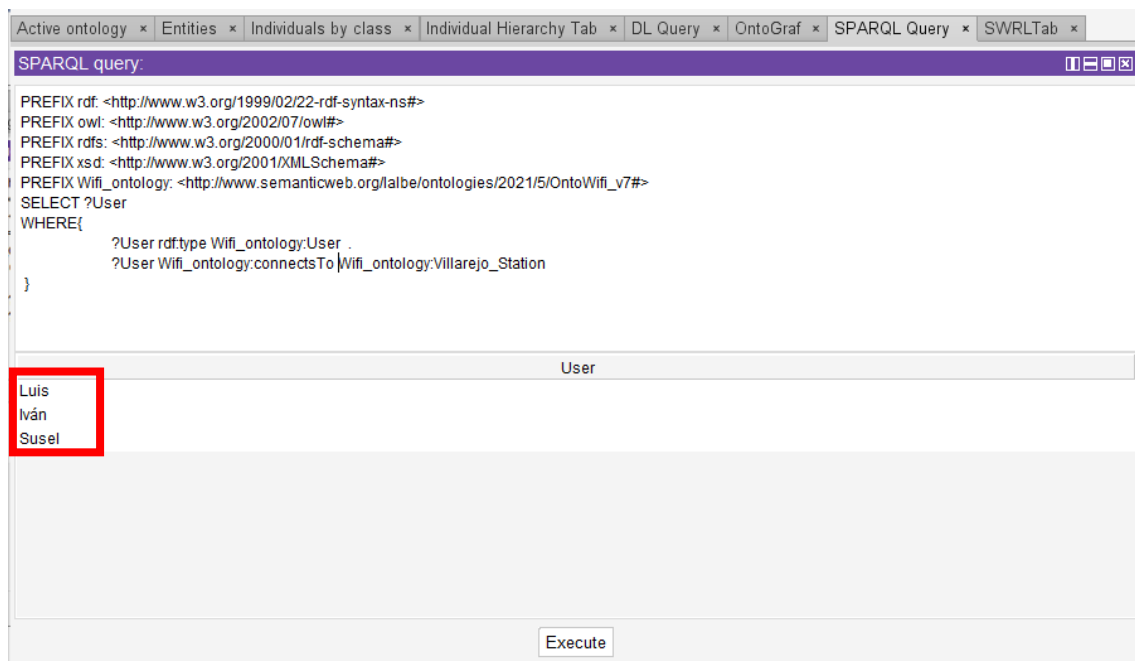


Figura 38. Consulta SPARQL III en Protégé.

- **Consulta 4:** ¿Cuánto canales tiene en total la lista de canales?

En la *Figura 39*, se observa que cuenta con 4 canales: C1, C2, C3 y C4.

```
SELECT ?Channels
WHERE{
  ?Channels rdf:type Wifi_ontology:Channel .
  ?Channels Wifi_ontology:isChannelOf Wifi_ontology:ChannelList
}
```

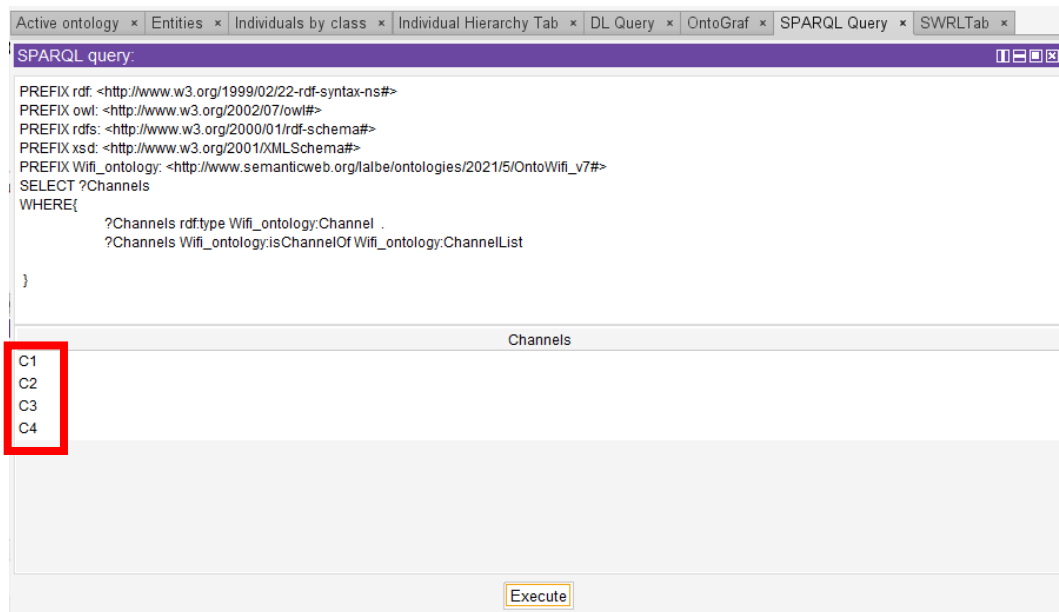


Figura 39. Consulta SPARQL IV en Protégé.

- Consulta 5: ¿Qué usuarios se encuentran conectados a más de 500 metros de la estación?

En la *Figura 40*, se observa que el único usuario que conectado a más de 500 metros de la estación es *Iván*, el cual se encuentra a 600 metros.

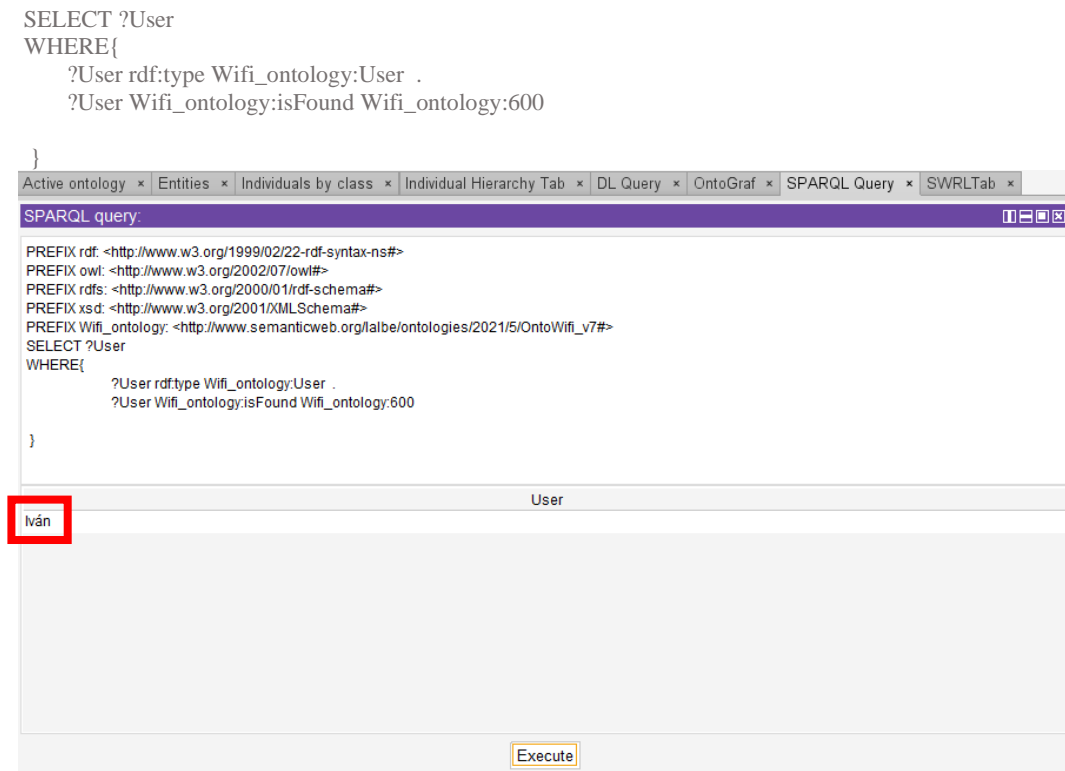


Figura 40. Consulta SPARQL V en Protégé.

- **Consulta 6:** Si José Manuel decide conectar con el resto de sus amigos ya conectados, y, además, se modela el valor de la relación señal-ruido como OK o NOK en función del valor que puede tomar, ¿cómo sería la relación señal-ruido de cada usuario?

En la *Figura 41*, se observa que cada uno de los usuarios conectados a la red pueden tener una relación señal-ruido *OK* o *NOK*.

```
SELECT ?User ?SNIR
WHERE{
  ?User Wifi_ontology:connectsTo Wifi_ontology:Villarejo_Station .
  ?SNIR rdf:type Wifi_ontology:SNIR .
  ?SNIR Wifi_ontology:isEvaluatedBy Wifi_ontology:AP1
}
```

SPARQL query:

```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX Wifi_ontology: <http://www.semanticweb.org/taibe/ontologies/2021/5/OntoWifi_v7#>
SELECT ?User ?SNIR
WHERE{
  ?User Wifi_ontology:connectsTo Wifi_ontology:Villarejo_Station .
  ?SNIR rdf:type Wifi_ontology:SNIR .
  ?SNIR Wifi_ontology:isEvaluatedBy Wifi_ontology:AP1
}
```

User	SNIR
Luis	NOK
Luis	OK
José_Manuel	NOK
José_Manuel	OK
Iván	NOK
Iván	OK
Susel	NOK
Susel	OK

Execute

Figura 41. Consulta SPARQL VI en Protégé.

CAPÍTULO 6. Conclusiones y líneas de trabajo futuro

6.1 Conclusiones

La gestión del conocimiento es una técnica muy importante que facilita el trabajo en el escenario de las redes inalámbricas. Durante los últimos años, las ontologías han pasado de ser utilizadas en el ámbito de investigación de la inteligencia artificial a convertirse en herramientas para tareas de desarrollo en dominios específicos. En los primeros capítulos de este trabajo, se ha presentado la relevancia de utilizar ontologías para modelar un dominio, además de herramientas con las que moldear e introducir restricciones con el objetivo de aumentar la consistencia de nuestros conceptos.

El diseño de ontologías es un proceso que exige creatividad, así que las ontologías nunca serán iguales, aunque se estructuren sobre el mismo dominio. La calidad de la ontología viene determinada por las pruebas realizadas mediante un SW. Se ha verificado el comportamiento de la ontología gracias al razonador Pellet, en la cual se ha inferido conocimiento de manera correcta. Protégé nos ha indicado que la ontología es coherente y consistente tras utilizar el depurador de la herramienta (ver *Figura 42*).

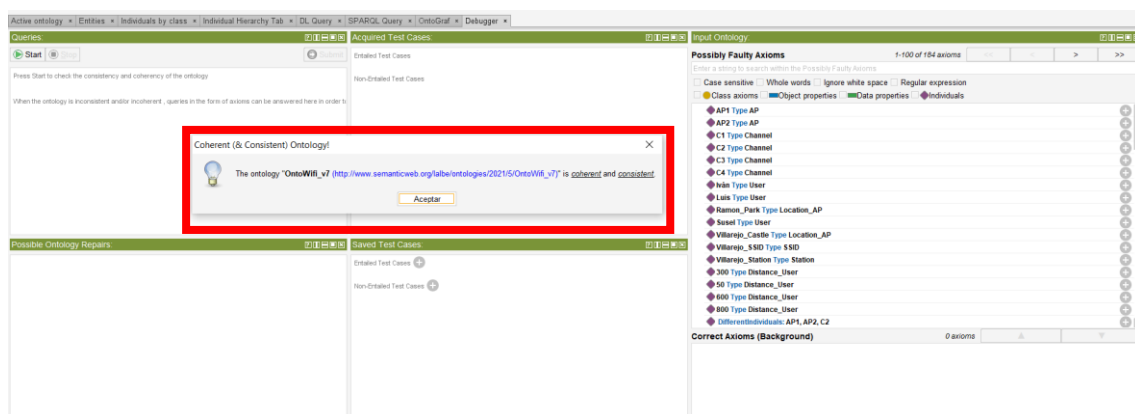


Figura 42. Resultado Debug en Protégé.

No obstante, la ontología cuenta con algunas limitaciones, como por ejemplo que la relación señal a ruido no se calcula en función de la potencia del usuario, sino que se asume que es mejor o peor en función de la distancia a la que se encuentre el User. Por otro lado, los canales no son asignados teniendo en cuenta la disponibilidad de estos, sino que se asignan dependiendo de si la distancia es mayor o menor a un rango prefijado. A pesar de todo, el aumento de la población y el establecimiento de un número mayor de relaciones podría solventar algunos de los problemas descritos, pues la introducción de grandes cantidades de datos hace posible que las máquinas detecten patrones y sean capaces de saber más fácilmente lo que va a ocurrir. La base de la Inteligencia Artificial son los datos.

6.2 Líneas de trabajo futuro

En la actualidad, estamos rodeados por automatismos que no son robots pero que se aproximan: puertas automáticas, ascensores, termostatos, teléfonos móviles, etc. Casi todo a nuestro alrededor responde ante estímulos cotidianos gracias a una programación previa. Albert Einstein decía que lo importante no es ser un super sabio, sino tener gran curiosidad e imaginación, algo que se puede extrapolar a realizar distintas modificaciones en el prototipo de ontología que se ha diseñado con la intención de conseguir metas más ambiciosas.

La principal línea de trabajo futuro es seguir modelando mediante clases y relaciones todos los procesos de escaneado, autenticación, el cambio de BSS... en definitiva, seguir flexibilizando la ontología a todo lo que percibe del entorno, para que lleve a cabo acciones que maximicen sus posibilidades de éxito. Se necesita la definición de más clases y relaciones que permitan abordar más escenarios en las redes inalámbricas. Además, se podrían seguir creando reglas SWRL y consultas con el objetivo de que la ontología tuviera dominios de trabajo más limitados, lo cual aportaría una mayor expresividad.

Por otro lado, se necesita desarrollar una aplicación que sirva como interfaz gráfica entre los usuarios y la ontología y que permita interactuar con la ontología de manera amigable.

Otra línea futura podría ser conectar la ontología con otras ontologías ya creadas y/o conectar la ontología directamente con otros ámbitos de nuestro día a día, teniendo en cuenta que las conexiones inalámbricas están cada vez más cerca de nosotros y son frecuentes en medicina, educación o diversos entornos empresariales. Campos de aplicación como la Auditoría, en el cual me encuentro inmerso, está buscando que las ontologías permitan detectar asientos inusuales que afecten a los estados financieros, de cualquier entidad, sin la participación del auditor.

Presupuesto

A continuación, se van a tratar los costes estimados de actividades individuales, así como los relativos al proyecto a nivel de hardware y software para establecer una línea de costo autorizada.

En primer lugar, se ha realizado un análisis del Presupuesto de Ejecución por Material (PEM), concepto básico que se debe conocer antes de embarcarse en cualquier proyecto. El PEM comprende el hardware y software utilizados durante las actividades del trabajo, así como los recursos materiales.

- Recursos hardware

Equipo	Precio (€)	Amortización (años)	Uso (años)	Total
Ordenador	1699,00	5,00	1,00	339,80
Coste total recursos hardware				339,80

Tabla 3. Recursos hardware.

El coste total de los recursos hardware es de TRESCIENTOS TREINTA Y NUEVE CON OCHENTA EUROS (ver *Tabla 3*).

- Recursos software

Software	Precio (€)	Amortización (años)	Uso (años)	Total
Windows 10	145,00	5,00	1,00	29,00
Office 365	69,99	1,00	1,00	69,99
Protégé	0,00	N/A	N/A	N/A
Coste total recursos software				98,99

Tabla 4. Recursos software.

El coste total de los recursos software es de NOVENTA Y OCHO CON NOVENTA Y NUEVE EUROS (ver *Tabla 4*).

- Recursos materiales

Concepto	Precio (€)	Amortización (años)	Uso (años)	Total
Papel A4	24,99	1,00	1,00	24,99
Encuadernación	70,00	N/A	N/A	70,00
Tóner	159,99	1,00	1,00	159,99
Coste recursos materiales				254,98

Tabla 5. Recursos materiales.

El coste total de los recursos materiales es de DOSCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO CON NOVENTA Y OCHO EUROS (ver *Tabla 5*).

Con todo ello, se puede calcular el coste material total de los recursos materiales necesarios para la realización de este trabajo como la suma de los recursos hardware, software y los recursos materiales.

Concepto	Coste (€)
Recursos HW	339,80
Recursos SW	98,99
Recursos Mat.	254,98
Total PEM	693,77

Tabla 6. Coste total PEM.

El coste total PEM es de SEISCIENTOS NOVENTA Y TRES CON SETENTA Y SIETE EUROS (ver *Tabla 6*).

En segundo lugar, se calculan los costes de mano de obra a razón de hora trabajada. Se incluyen tanto los costes de ingeniería y redacción, como de dactilografía.

Concepto	Precio (€)	Duración (horas)	Total
Ingeniería	25,00	480,00	12.000,00
Coste total mano de obra			12.000,00

Tabla 7. Coste total mano de obra.

El coste total de la mano de obra es de DOCE MIL EUROS (ver *Tabla 7*).

A continuación, si se suman el PEM y el coste total de mano de obra se obtiene el coste total de ejecución material. Si se estima un 20% de recargo sobre él por los gastos ocasionados por la realización del proyecto, se obtiene el presupuesto total de ejecución por contrata.

Concepto	Porcentaje	Total
PEM		693,77
Coste total mano de obra		12.000,00
Coste ejecución material		12.693,77
Recargo	0,20	2.538,75
Presupuesto de ejecución por contrata		15.232,52

Tabla 8. Presupuesto de ejecución por contrata.

El coste total de ejecución por contrata es de QUINCE MIL DOSCIENTOS TREINTA Y DOS CON CINCUENTA Y DOS EUROS ((ver *Tabla 8*).

Por último, a este presupuesto hay que añadirle los honorarios por la realización del trabajo, además del 21% de IVA, alcanzando un presupuesto final de:

Concepto	Porcentaje	Total
Presupuesto de ejecución por contrata		15.232,52
Honorarios	0,07	1.066,28
Presupuesto Total		16.298,80
IVA	0,21	3.422,75
Presupuesto Final		19.721,55

Tabla 9. Presupuesto final.

El precio final del proyecto asciende a un total de **DIECINUEVE MIL SETECIENTOS VEINTIUNO CON CINCUENTA Y CINCO EUROS** (ver *Tabla 9*).

Pliego de condiciones

Para la realización de las distintas actividades llevadas a cabo lo largo de este trabajo, se han empleado una serie de equipos y dispositivos, así como un conjunto de herramientas software.

Recursos hardware

El equipo seleccionado para realizar las pruebas necesarias en la optimización del código tiene las siguientes características:

- Fabricante: ASUS
- Modelo: ZenBook 14 UX433FA-A5121T
- Procesador: Intel® Core™ i7-8565U
- Número de núcleos: 4
- Cantidad de subprocesos: 8
- Frecuencia básica del procesador: 1,80 GHz
- Frecuencia de incremento TDP configurable: 2 GHz
- Memoria RAM: 16 GB LPDDR3
- Tarjeta gráfica: Intel HD Graphics 620
- Almacenamiento: 512 GB SSD

Recursos software

Se requerirá del siguiente SW para poder realizar todo lo expuesto en este trabajo:

- Sistema operativo Windows 10 Home de 64 bits
- Microsoft Office 365
- Protégé 5.5.0

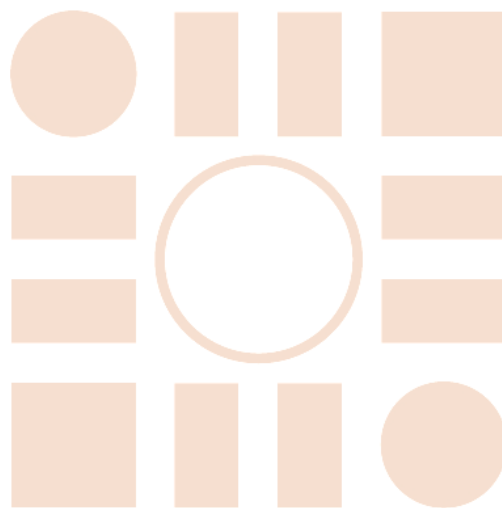
Con todo esto queda definido todo lo necesario para poder realizar este trabajo sin problemas de falta de recursos.

Bibliografía

- [1] Fundación Telefónica, “Una visión de la Inteligencia Artificial a través de la mirada pionera de Kubrick”, Madrid, 2018: <https://espacio.fundaciontelefonica.com/wp-content/uploads/2018/06/NP-Odiseas-de-la-Inteligencia.pdf>
- [2] César Salza, PRNoticias “Los tres grandes problemas que tiene la Inteligencia Artificial para evolucionar”, 2016: <https://historico.prnoticias.com/tecnologia/ciencia-y-tecnologia/20156823-inteligencia-artificial-problemas#inline-auto1611>
- [3] Blog Universidad Politécnica de Valencia: <https://histinf.blogs.upv.es/2010/12/02/historia-de-las-redes-inalambricas/>
- [4] S. Fernández Melián, Tesis doctoral “Contribución a la alineación de ontologías utilizando lógica difusa”, Alcalá de Henares, Madrid, 2013.
- [5] T. R. Gruber. A Translation Approach to Portable Ontologies. Knowledge Acquisition, 5(2):199–220, 1993.
- [6] G. i. UAH, Ficha técnica proyecto “MOON: Modelado basado en Ontologías para redes complejas”, Alcalá de Henares, Madrid, 2017.
- [7] M. S. Gast, Redes Wireless 802.11, San Francisco, California: ANAYA multimedia, 2005.
- [8] Redes inalámbricas de área personal. Disponible en <https://docplayer.es/29790262-Capitulo-2-redes-inalambricas-de-area-personal-wpan.html>
- [9] Mouna Ziouziou, Desarrollo de una ontología y de un sistema de recuperación de la información para el sector del mueble y afines, 2009.
- [10] Web oficial herramienta Apollo. Disponible en <http://apollo.open.ac.uk/>
- [11] Jesualdo Tomás Fernández Breis, Tesis doctoral “Un entorno de integración de ontologías para el desarrollo de sistemas de gestión de conocimiento”, Murcia, Marzo 2003: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10921/FernandezBreis.pdf>
- [12] Gruber, 1995; Bernaras et al, 1996; Borgo et al, 1996; Arpírez et al, 1998; Gómez-Pérez and Benjamins, 1999.
- [13] W3C, "SKOS Simple Knowledge Organization System Primer", 2009. Disponible en: <https://skos.um.es/TR/rdf-sparql-query/>
- [14] Estándar 802.11, 2012: <https://www.ieee802.org/IEEE-802-LMSC-OverviewGuide-02SEPT%202012.pdf>
- [15] Heflin, J., Hendler, J., and Luke, S., “SHOE: A Knowledge Representation Language for Internet Applications. Technical Report CS-TR-4078”, 1999.

- [16] RDF, “Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax”, 2004.
- [17] RDFS, “RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema W3C Recommendation”, 1998.
- [18] Oscar Corcho, Asuncion Gomez-Perez, “A Roadmap to Ontology Specification Languages”, 2000.
- [19] Peter Karp, “XOL: An XML-Based Ontology Exchange Language”, 2000.
- [20] D. Fensel, I. Horrocks, F. van Harmelen, S. Decker and M. Erdmann and M. Klein, “OIL in a Nutshell. In: Proceedings of the 12th European Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling, and Management”, 2000.
- [21] I. Horrocks et al., “The Ontology Inference Layer OIL, tech. Report” 2001.
- [22] Dean Mike, Schreiber Guus, “OWLWeb Ontology Language”, 2004.

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá