

**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**Facultad de Ciencias de la Computación**



---

**Metodología para el diseño de redes de ontologías  
en el área médica**

Tesis para obtener el grado de Doctora en Ingeniería del Lenguaje y del  
Conocimiento

**Presenta:**

M. en C. Cecilia Reyes Peña

**Directora de tesis:**

Dra. Mireya Tovar Vidal

**Asesora de tesis:**

Dra. Maricela Claudia Bravo Contreras

Agosto 2022

*Esta tesis está dedicada para quienes se fueron,  
pero nunca nos abandonaron.*

---

## Agradecimientos

---

A Dios por haberme permitido culminar con este proyecto.

Al CONACyT por el apoyo brindado a través del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación con el proyecto 257357, así como por la beca otorgada al CVU 785078 durante el periodo 2018-2022.

A la VIEP-BUAP por la provisión de recursos de Hardware para la implementación de la red ontológica, al igual que al Hospital Universitario por el acceso a la información de las historias clínicas de los pacientes diabéticos.

A mis asesoras de tesis la Dra. Mireya Tovar Vidal, la Dra. Maricela Claudia Bravo Contreras y la Dra. Regina Motz Carrano por su apoyo incondicional y sus consejos durante todo este proceso.

Al Dr. Guillermo De Ita, al Dr. Alejandro Reyes, al Dr. José de Jesús Lavalle y al Dr. Mario Rossainz por su colaboración y su trabajo como miembros del comité revisor.

A mis padres por el gran ejemplo de vida que me han dado, a Jesús y a Jime por ser mi motivación, y a toda mi familia por el apoyo y el cariño.

---

# Contenido

---

<b>Lista de tablas</b>	<b>VII</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>IX</b>
<b>Resumen</b>	<b>XII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XIII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Problema de investigación . . . . .	3
1.2. Objetivos de la investigación . . . . .	4
1.2.1. Objetivo general . . . . .	4
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	4
1.3. Preguntas de investigación . . . . .	5
1.4. Contribuciones . . . . .	5
1.5. Publicaciones . . . . .	6
1.6. Áreas de investigación involucradas . . . . .	6
1.7. Organización del documento . . . . .	6
<b>2. Marco teórico</b>	<b>8</b>
2.1. Razonamiento basado en lógicas descriptivas . . . . .	8
2.1.1. TBox . . . . .	10
2.1.2. ABox . . . . .	11
2.1.3. Mecanismo de razonamiento . . . . .	11
2.1.4. Mecanismo de inferencia . . . . .	11
2.2. Ontología . . . . .	12
2.2.1. Elementos de las ontologías . . . . .	13

2.2.2.	Tipos de ontologías . . . . .	14
2.2.3.	Lenguajes de las ontologías . . . . .	15
2.3.	Metodologías de diseño de ontologías . . . . .	17
2.4.	Evaluación de las ontologías . . . . .	20
2.4.1.	Verificación . . . . .	20
2.4.2.	Validación . . . . .	21
2.4.3.	Evaluación basada en criterios . . . . .	22
2.5.	Reutilización de ontologías . . . . .	24
2.5.1.	Mapeo de ontologías . . . . .	25
2.5.2.	Alineación de ontologías . . . . .	25
2.5.3.	Incompatibilidades de la integración de ontologías . . . . .	27
2.5.4.	Redes de ontologías . . . . .	27
<b>3.</b>	<b>Estado del arte</b>	<b>30</b>
3.1.	Bases de conocimiento en el área médica . . . . .	30
3.2.	Ontologías en el área médica . . . . .	32
3.2.1.	Ontologías y medicamentos . . . . .	34
3.2.2.	Ontologías y diabetes . . . . .	34
3.3.	Reutilización de ontologías . . . . .	44
3.4.	Redes de ontologías . . . . .	45
3.5.	Metodologías de diseño . . . . .	46
<b>4.</b>	<b>Metodología de diseño de redes de ontologías</b>	<b>52</b>
4.1.	Definición de los dominios, requerimientos y alcance de la red . . . . .	54
4.2.	Búsqueda de recursos . . . . .	54
4.3.	Diseño de nuevas ontologías . . . . .	55
4.4.	Integración de ontologías . . . . .	57
4.4.1.	Metodología de integración de ontologías . . . . .	57
4.4.2.	Método de referencias externas . . . . .	59
4.5.	Diseño de metarrelaciones . . . . .	60
4.6.	Integración de recursos no ontológicos . . . . .	60
4.6.1.	Poblado de ontologías . . . . .	61
4.6.2.	Metodología de integración de recursos no ontológicos . . . . .	61
4.7.	Evaluación de la red . . . . .	64
<b>5.</b>	<b>Red de ontologías de la diabetes mellitus (RODM)</b>	<b>66</b>
5.1.	Dominios, requerimientos y alcance de RODM . . . . .	66
5.2.	Búsqueda y selección de recursos . . . . .	69
5.2.1.	Recursos no ontológicos . . . . .	70

5.2.2.	Recursos ontológicos . . . . .	70
5.3.	Diseño de nuevas ontologías . . . . .	73
5.3.1.	Ontología Medicamento . . . . .	73
5.3.2.	Ontologías base . . . . .	77
5.4.	Reutilización de ontologías existentes . . . . .	77
5.4.1.	Integración de ontología medicamentos con ontología ATC . . .	79
5.4.2.	Referencias externas a SNOMED CT . . . . .	85
5.5.	Metarrelaciones de la RODM . . . . .	85
5.6.	Integración de recursos no ontológicos . . . . .	87
5.6.1.	Poblado de la red . . . . .	87
5.6.2.	Enriquecimiento de la RODM . . . . .	87
5.7.	Evaluación de la RODM . . . . .	96
5.7.1.	Caso de uso de clase Paciente . . . . .	99
5.7.2.	Caso correspondencia en nombres de entidades clínicas . . . . .	100
5.7.3.	Aplicación de criterios de evaluación . . . . .	102
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y trabajo futuro</b>	<b>104</b>
	<b>Referencias</b>	<b>107</b>
	<b>Apéndice A. Elementos ontológicos por dominio participante de la RODM</b>	<b>119</b>
A.1.	Ontología Medicamento-ATC . . . . .	119
A.1.1.	TBox de la ontología Medicamento . . . . .	119
A.1.2.	Clases de la ontología Medicamento . . . . .	120
A.1.3.	Propiedades de objeto de la ontología Medicamento . . . . .	121
A.1.4.	Propiedades de dato de la ontología Medicamento . . . . .	122
A.1.5.	Axiomas de la ontología Medicamento . . . . .	123
A.1.6.	Preguntas de competencia de la ontología Medicamento . . . . .	123
A.2.	Ontología Administración de la información clínica . . . . .	127
A.2.1.	Clases de la ontología Administración de la información clínica	127
A.2.2.	Propiedades de objeto de la ontología Administración de la in- formación clínica . . . . .	127
A.2.3.	Propiedades de dato de la ontología Administración de la in- formación . . . . .	128
A.3.	Ontología Entidad clínica . . . . .	129
A.3.1.	Clases de la ontología Entidad Clínica . . . . .	129
A.3.2.	Propiedades de objeto de la ontología Entidad Clínica . . . . .	130
A.4.	Ontología Localización geográfica . . . . .	131
A.5.	Ontología Escolaridad . . . . .	131

A.6.	Ontología Persona . . . . .	131
A.6.1.	Clases de la ontología de Persona . . . . .	131
A.6.2.	Propiedades de dato de la ontología Persona . . . . .	132
A.7.	Ontología Medida de control . . . . .	132
A.7.1.	Clases de la ontología Medida de control . . . . .	132
A.7.2.	Propiedades de dato de la ontología Medida de Control . . . . .	133
A.8.	Ontología Alimento . . . . .	133
A.8.1.	Clases de la ontología de Alimento . . . . .	133
A.8.2.	Propiedades de objeto de la ontología Alimento . . . . .	134
A.8.3.	Propiedades de dato de la ontología Alimento . . . . .	135
A.9.	Ontología Synthea . . . . .	135
A.9.1.	Clases de la ontología Synthea . . . . .	135
A.9.2.	Propiedades de objeto de la ontología Synthea . . . . .	136
A.9.3.	Propiedades de dato de la ontología Synthea . . . . .	137
A.10.	RODM . . . . .	141
A.10.1.	Prefijos de la RODM . . . . .	141
A.10.2.	Clases de la RODM . . . . .	142
A.10.3.	Metarrelaciones de la RODM . . . . .	142
A.10.4.	Propiedades de dato de la ontología de la RODM . . . . .	144
A.10.5.	Axiomas considerados en RODM . . . . .	144
A.10.6.	Axiomas finales de RODM . . . . .	145
A.10.7.	Preguntas de competencia de la RODM . . . . .	146
A.10.8.	Respuestas a las preguntas de competencia . . . . .	150

---

## Lista de tablas

---

2.1. Ejemplo de conceptos y roles. . . . .	9
2.2. Equivalencia de elementos entre lógicas descriptivas y OWL . . . . .	16
2.3. Criterios para la evaluación de ontologías. . . . .	22
3.1. Ontologías en el área médica. . . . .	33
3.2. Comparación de trabajos relacionados. . . . .	38
3.3. Ontologías de diagnóstico. . . . .	41
3.4. Ontologías de cuidados del paciente diabético. . . . .	42
3.5. Redes de ontologías en la literatura. . . . .	46
3.6. Comparativa de la metodología NeOn con la metodología propuesta . . . . .	48
5.1. Identificación de dominios participantes . . . . .	68
5.2. Ontologías adquiridas . . . . .	72
5.3. Ontologías por dominio . . . . .	78
5.4. Análisis del cambio de la representación de los elementos ATC. . . . .	81
5.5. Metarrelaciones candidatas . . . . .	86
5.6. Individuos por ontología . . . . .	87
5.7. Frecuencia de términos etiquetados . . . . .	90
5.8. Ejemplo de pares sugeridos . . . . .	92
5.9. Relevancia de preguntas de competencia de la RODM . . . . .	97
5.10. Uso de criterios de evaluación. . . . .	103
A.1. Clases de la ontología Medicamento. . . . .	120
A.2. Propiedades de objeto de la ontología Medicamento. . . . .	122
A.3. Propiedades de dato de la ontología Medicamento. . . . .	122
A.4. Axiomas de la ontología Medicamento. . . . .	123
A.5. Preguntas de competencia de la ontología medicamento. . . . .	124

A.6. Clases de la ontología de Administración de la información. . . . .	127
A.7. Propiedades de objeto de la ontología Administración de la información clínica. . . . .	127
A.8. Propiedades de dato de la ontología de Administración de la información clínica. . . . .	128
A.9. Clases de la ontología Entidad Clínica. . . . .	129
A.10. Propiedades de objeto de la ontología Entidad Clínica. . . . .	130
A.11. Clases de la ontología de Localización geográfica. . . . .	131
A.12. Clases de la ontología Escolaridad. . . . .	131
A.13. Clases de la ontología de Persona. . . . .	132
A.14. Propiedades de dato de la ontología de Persona. . . . .	132
A.15. Clases de la ontología de Medida de control. . . . .	132
A.16. Propiedades de dato de la ontología de Medida control. . . . .	133
A.17. Clases de la ontología Alimento. . . . .	133
A.18. Propiedades de objeto de la ontología de alimentos. . . . .	135
A.19. Propiedades de dato de la ontología Alimento. . . . .	135
A.20. Clases de la ontología de Synthea. . . . .	135
A.21. Propiedades de objeto de la ontología Synthea. . . . .	136
A.22. Propiedades de dato de la ontología Synthea. . . . .	137
A.23. Prefijos de la RODM . . . . .	141
A.24. Clases de la RODM . . . . .	142
A.25. Metarrelaciones de la RODM . . . . .	142
A.26. Propiedades de dato de la RODM. . . . .	144
A.27. Axiomas considerados de la red en SWRL . . . . .	144
A.28. Axiomas de la RODM en SWRL . . . . .	145
A.29. Preguntas de competencia de la RODM . . . . .	147

---

## Lista de figuras

---

2.1.	Ejemplo de una ontología de un hospital. . . . .	14
2.2.	Ejemplo de reglas SWRL. . . . .	17
2.3.	Fases de las diferentes metodologías de diseño. . . . .	19
2.4.	Ejemplo de dos ontologías de un mismo dominio. . . . .	26
2.5.	Ontología resultante de la alineación de ontologías. . . . .	26
2.6.	Enfoques del operador de empate. . . . .	27
2.7.	Incompatibilidades en la integración de ontologías. . . . .	28
2.8.	Ejemplo de una red de ontologías (Poveda-Villalón, Suárez-Figueroa, García-Castro, y Gómez-Pérez, 2010). . . . .	29
3.1.	Metodología NeOn (Poveda-Villalón y cols., 2010). . . . .	48
4.1.	Estructura de la metodología de diseño de redes propuesta. . . . .	53
4.2.	Metodología de diseño de la ontología de medicamento. . . . .	55
4.3.	Metodología de integración de ontologías. . . . .	58
4.4.	Flujo de la información en el proceso de transformación de recursos. . . . .	63
5.1.	Datos acerca de los historiales médicos. . . . .	71
5.2.	Identificación de instancias dentro del catálogo de medicamentos. . . . .	75
5.3.	Estructura de la ontología Medicamento. . . . .	76
5.4.	Diagrama de las ontologías base. . . . .	77
5.5.	Ontología del sistema de clasificación ATC. . . . .	83
5.6.	Ontología resultante de la integración de las ontologías Medicamento y ATC. . . . .	84
5.7.	Autómata para la extracción de frases nominales. . . . .	89
5.8.	Muestra de la distribución de etiquetas en las notas médicas. . . . .	89
5.9.	Patrón implícito de las propiedades de dato. . . . .	90

5.10. Patrón implícito de la propiedad de objeto <i>presenta</i> . . . . .	91
5.11. Ejemplo de tripleta en consola de inserción. . . . .	91
5.12. Tripletas correspondientes a los efectos secundarios. . . . .	93
5.13. Diagrama general de la RODM. . . . .	94
5.14. Diagrama de clases de la ontología Synthea. . . . .	98
5.15. Diagrama de clases de la ontología Synthea simplificada. . . . .	99
5.16. Diagrama de equivalencia directa de clases Paciente. . . . .	100
5.17. Diagrama de equivalencia por superclases Paciente. . . . .	101
5.18. Diagrama de equivalencia por propiedad de dato. . . . .	101
5.19. Diagrama de equivalencia por propiedad de objeto. . . . .	102
A.1. Respuesta a la pregunta de competencia número 1 en DL-Query de la ontología Medicamento. . . . .	151
A.2. Respuesta a la pregunta de competencia número 2 en DL-Query de la ontología Medicamento. . . . .	151
A.3. Respuesta a la pregunta de competencia número 3 en DL-Query de la ontología Medicamento. . . . .	152
A.4. Respuesta a la pregunta de competencia número 4 en DL-Query de la ontología Medicamento. . . . .	153
A.5. Respuesta a la pregunta de competencia número 5 en DL-Query de la ontología Medicamento. . . . .	153
A.6. Respuesta a la pregunta de competencia número 6 en DL-Query de la ontología Medicamento. . . . .	153
A.7. Respuesta a la pregunta de competencia número 7 en DL-Query de la ontología Medicamento. . . . .	154
A.8. Respuesta a la pregunta de competencia número 8 en DL-Query de la ontología Medicamento. . . . .	154
A.9. Respuesta a la pregunta de competencia número 9 en DL-Query de la ontología Medicamento. . . . .	155
A.10. Respuesta a la pregunta de competencia 1 en SPARQL de la ontología medicamento. . . . .	155
A.11. Respuesta a la pregunta de competencia 2 en SPARQL de la ontología medicamento. . . . .	155
A.12. Respuesta a la pregunta de competencia 3 en SPARQL de la ontología medicamento. . . . .	156
A.13. Respuesta a la pregunta de competencia 4 en SPARQL de la ontología medicamento. . . . .	156
A.14. Respuesta a la pregunta de competencia 5 en SPARQL de la ontología medicamento. . . . .	156

A.15. Respuesta a la pregunta de competencia 6 en SPARQL de la ontología medicamento. . . . .	156
A.16. Respuesta a la pregunta de competencia 7 en SPARQL de la ontología medicamento. . . . .	157
A.17. Respuesta a la pregunta de competencia 8 en SPARQL de la ontología medicamento. . . . .	157
A.18. Respuesta a la pregunta de competencia 9 en SPARQL de la ontología medicamento. . . . .	157
A.19. Respuesta a la pregunta de competencia número 2 de la RODM. . . . .	158
A.20. Respuesta a la pregunta de competencia número 3 de la RODM. . . . .	158
A.21. Respuesta a la pregunta de competencia número 7 de la RODM. . . . .	158
A.22. Respuesta a la pregunta de competencia número 8 de la RODM. . . . .	159
A.23. Respuesta a la pregunta de competencia número 9 de la RODM. . . . .	159
A.24. Respuesta a la pregunta de competencia número 10 de la RODM. . . . .	159
A.25. Respuesta a la pregunta de competencia número 11 de la RODM. . . . .	159
A.26. Respuesta a la pregunta de competencia número 12 de la RODM. . . . .	160
A.27. Respuesta a la pregunta de competencia número 13 de la RODM. . . . .	160
A.28. Respuesta a la pregunta de competencia número 14 de la RODM. . . . .	161
A.29. Respuesta a la pregunta de competencia número 15 de la RODM. . . . .	162
A.30. Respuesta a la pregunta de competencia número 16 de la RODM. . . . .	163
A.31. Respuesta a la pregunta de competencia número 17 de la RODM. . . . .	164
A.32. Respuesta a la pregunta de competencia número 18 de la RODM. . . . .	165
A.33. Respuesta a la pregunta de competencia número 19 de la RODM. . . . .	166
A.34. Respuesta a la pregunta de competencia número 20 de la RODM. . . . .	167
A.35. Respuesta a la pregunta de competencia número 21 de la RODM. . . . .	168
A.36. Respuesta a la pregunta de competencia número 22 de la RODM. . . . .	169
A.37. Respuesta a la pregunta de competencia número 23 de la RODM. . . . .	170
A.38. Respuesta a la pregunta de competencia número 24 de la RODM. . . . .	171
A.39. Respuesta a la pregunta de competencia número 25 de la RODM. . . . .	171
A.40. Respuesta a la pregunta de competencia número 26 de la RODM. . . . .	172
A.41. Respuesta a la pregunta de competencia número 28 de la RODM. . . . .	172
A.42. Respuesta a la pregunta de competencia número 29 de la RODM. . . . .	172

---

## Resumen

---

Este trabajo de tesis contiene la descripción de una metodología de diseño de redes de ontologías a partir del uso de recursos ontológicos y no ontológicos. Esta metodología tiene la finalidad de brindar elementos necesarios para el diseño de nuevas ontologías, reutilización de ontologías existentes, enriquecimiento de la red por medio de la integración de recursos no ontológicos y evaluación de la red resultante, impactando así a diversas áreas de la ingeniería ontológica ya que propone enriquecimiento de una red de ontologías sin modificar la estructura de las ontologías participantes. Esto último permite que esta metodología resalte sobre las existentes en la literatura.

Este trabajo también ofrece una aplicación de la metodología de diseño de redes, la cual se enfoca en la construcción de una red de ontologías acerca de la diabetes mellitus (RODM) enfocada a la representación de información respecto a la población mexicana, con la finalidad de brindar apoyo en la toma de decisiones médicas. Esta red considera la representación de factores de riesgo, síntomas, signos, diagnóstico, enfermedades y tratamiento relacionados a la diabetes mellitus (DM); así como información de historiales médicos de personas que ya padecen dicha enfermedad y sus complicaciones. La red fue evaluada mediante un enfoque de validación por medio de la solución de preguntas de competencia y verificación por medio de criterios de evaluación como la consistencia, modularidad y adaptabilidad. La consistencia fue verificada por medio del razonador Pellet (Incremental), el cual indicó la ausencia de contradicciones en las definiciones de la red. Por su parte, la modularidad fue evaluada respecto a agregar información y verificar si existen cambios en las estructuras de cada una de las ontologías participantes de la red, las cuales no fueron modificadas manteniendo así la modularidad. Finalmente, la adaptabilidad se verificó al agregar a la red una nueva ontología que contiene datos sintéticos acerca de la información clínica de pacientes y se determina la interacción que esta ontología puede tener respecto al resto.

---

# Abstract

---

This thesis work contains the description of an ontology network design methodology based on the use of ontological and non-ontological resources. This methodology has the purpose of providing necessary elements for the ontology design, ontology reusing, and ontology network enrichment through non-ontological resource integration and ontology network evaluation, thus impacting several areas of ontology engineering since it proposes the enrichment of an ontology network without modifying the structure of the participating ontologies. The latter allows this methodology to stand out from the existing ones in the literature.

This work also offers an application of the network design methodology, which focuses on the construction of an ontology network about diabetes mellitus (RODM) focused on the representation of information regarding the Mexican population, with the purpose of providing support in medical decision-making. This network considers the representation of risk factors, symptoms, signs, diagnosis, diseases, and treatment related to diabetes mellitus (DM); as well as information from medical histories of people who already suffer from this disease and its complications. The network was evaluated using a validation approach through the solution of competency questions and verification by evaluation criteria such as consistency, modularity and adaptability. Consistency was verified using the Pellet (Incremental) reasoner, which indicated the absence of contradictions in the network definitions. Modularity was evaluated with respect to adding information and verifying whether there are changes in the structures of each of the ontologies participating in the network, which were not modified, thus maintaining modularity. Finally, adaptability was verified by adding to the network a new ontology containing synthetic data about patients' clinical information and determining the interaction that this ontology may have with respect to the rest.

---

## Introducción

---

El uso de herramientas computacionales enfocadas a la toma de decisiones relacionadas al diagnóstico médico busca prevenir errores de medicación e identificación de enfermedades, considerando los principales factores como lo son: signos, sintomatología, enfermedades y condiciones médicas (Salmasian, Tran, Chase, y Friedman, 2015).

La representación de conocimiento del dominio médico a través de ontologías puede ser muy útil en la identificación de factores de riesgo de la diabetes, su relación con otros posibles padecimientos y los tratamientos recomendados. El uso de ontologías permite la incorporación de mecanismos de inferencia y razonamiento lógico; esto aunado con la información de historiales médicos, facilitará el descubrimiento (mediante mecanismos de inferencia) de información útil para la prevención y tratamiento de la diabetes mellitus (DM). Una ontología es una representación de una parte del mundo real, esta parte es conocida como dominio. Formalmente, Gruber (Gruber, 1995) define a la ontología como: *una especificación explícita de una conceptualización*. Esta definición es complementada en (Gruber, 1993; Borst, 1997), explicando que una ontología es un vocabulario representativo para un dominio compartido de un discurso definido a través de clases, relaciones o propiedades, funciones, individuos y reglas semánticas, donde cada ontología y cada elemento que la conforma son identificados mediante un único IRI (*Internationalized Resource Identifier*). Utilizar un enfoque de redes de ontologías permite obtener todos los beneficios de las ontologías sin comprometer la integridad de cada una de las participantes, ya que su enfoque permite interconectar

ontologías por medio de metarrelaciones.

Esta tesis describe una metodología de diseño de redes de ontologías para información del área médica a partir del uso de recursos ontológicos y no ontológicos, la cual pueda brindar elementos necesarios para representar información acerca de diferentes dominios. Esta metodología brinda herramientas para generar y manejar recursos ontológicos como el diseño de ontologías desde cero y el diseño de ontologías a partir de la integración de pares de ontologías existentes, con la finalidad de tener ontologías que gracias a sus características cumplan con los requerimientos de la red, así como la generación de instancias y relaciones que involucren a una o más ontologías participantes. Las etapas de la metodología también incluyen la definición de preguntas de competencia para definir el propósito y el alcance de la red, la creación de referencias de vocabularios externos por medio de claves que puedan ligar elementos mediante consultas, y la evaluación de la red resultante por medio de la validación y la verificación, ya que en conjunto dichos enfoques permiten visualizar si existen errores de diseño ontológico así como respecto al dominio a representar (ver Capítulo 4). Los recursos ontológicos considerados para trabajar con esta metodología deben cumplir con ciertas características para minimizar errores de diseño, como representar uno o más de los dominios participantes de la red, ya sea de forma total o parcial, el nivel de detalle o especificación de los datos debe corresponder con los requerimientos de la red y detectar si la ontología contiene elementos del dominio que no son necesarios para el propósito de la red. En esta consideración podría sonar atractivo el conservar información no considerada en la definición de la red, sin embargo, es necesario verificar si el tamaño del modelo es óptimo para evitar la alta demanda de recursos computacionales para el uso de la red. Finalmente, pero no menos importante, es que cualquier recurso ontológico a utilizar debe estar previamente correctamente evaluado por expertos en el dominio o por especialistas en ontologías.

Como parte de la aplicación de la metodología de diseño, se tiene el caso de estudio de la DM donde se tiene el propósito de construir una red de ontologías acerca de esta enfermedad, la cual está enfocada a la representación de información sobre la población mexicana, con la finalidad de brindar apoyo en la toma de decisiones médicas. Esta red considera la representación de factores de riesgo, síntomas, signos, diagnóstico, enfermedades y tratamiento relacionados a la DM; así como información de historiales médicos de personas que ya padecen dicha enfermedad y sus complicaciones. Dentro de esta aplicación se utilizaron recursos no ontológicos como los expedientes clínicos, los cuales fueron capturados como instancias de la red y a su vez fueron explotados por medio de técnicas de procesamiento de lenguaje natural para extender la estructura de la red.

La red resultante fue evaluada mediante un enfoque de validación por medio de la respuesta a preguntas de competencia y verificación por medio de criterios de evalua-

ción como la consistencia, modularidad y adaptabilidad. La consistencia fue verificada por medio del razonador Pellet (Incremental), el cual indicó la ausencia de contradicciones en las definiciones de la red. Por su parte, la modularidad fue evaluada respecto a agregar información y verificar si existen cambios en las estructuras de cada una de las ontologías participantes de la red, las cuales no fueron modificadas manteniendo así la modularidad. Finalmente, la adaptabilidad se verificó al agregar a la red una nueva ontología que contiene datos sintéticos acerca de información clínica de pacientes y se determinó la interacción que esta ontología puede tener respecto al resto.

## 1.1. Problema de investigación

La principal forma de adquisición de conocimiento de los seres humanos es por medio de la experiencia directa, a través de la cual se aprende información sobre el mundo y sobre la acción ejercida para adquirir dicho conocimiento (Bruner y Olson, 1973). Lo anterior indica, que una persona experta en un dominio no sólo conoce información especializada acerca del dominio, sino que también conoce factores externos del dominio y las interacciones del dominio con el mundo real, mediante los cuales puede contribuir a la generación de nuevo conocimiento. Específicamente en el área médica, los expertos en DM toman decisiones acerca de la prevención, diagnóstico y tratamiento de esta enfermedad a partir de información propia del paciente y conocimiento adquirido por experiencia. Sin embargo, el transmitir o divulgar dicho conocimiento no es una tarea fácil, ya que capturar y gestionar el conocimiento acerca de la DM requiere del diseño y ejecución de una metodología que permita: determinar los conceptos más relevantes del dominio, su correcta estructuración, la integración del conocimiento médico existente en vocabularios, taxonomías, diccionarios médicos, y ontologías; así como la generación de reglas que representen los procesos de deducción del experto médico.

Una solución a estos requerimientos es una red de ontologías, en la cual se represente el conocimiento, los datos y restricciones que un experto médico utiliza durante la revisión y el diagnóstico para proponer un tratamiento, todo esto con la finalidad de facilitar la transferencia del conocimiento y así minimizar errores de diagnóstico y medicación. El diagnóstico, tratamiento y prevención de la DM, involucra varias dimensiones conceptuales, como son: el perfil del paciente mexicano, demografía, estatus socioeconómico, historial médico, entre otros. Por otra parte, un experto médico cuenta con una formación rigurosa basada en conocimientos de la medicina general y farmacología.

Otra ventaja de usar una red de ontologías es que esta permite la interacción de ontologías de diferentes dominios a partir de una conceptualización del mundo real, facilitando así la identificación y el manejo de cada una de las dimensiones conceptuales

requeridas en el dominio de la DM. A pesar de que existen diversas metodologías de diseño de ontologías como (Fernández-López, Gómez-Pérez, y Juristo, 1997; Yuniarta y cols., 2019; Trokanas, Koo, y Cecelja, 2018; Ungkawa, Widyantoro, y Hendradjaya, 2017; Smirnov, Levashova, Ponomarev, y Shilov, 2021) muchas de ellas no son aplicables al enfoque de red porque no incluyen como manejar ontologías que no comparten información, siendo esto relevante, ya que se requiere abarcar dominios cercanos al de la DM. En la literatura se pueden encontrar metodologías para el diseño específicamente de redes de ontologías, siendo una de las más populares NeOn (Suárez-Figueroa, 2010), sin embargo, esta carece de suficientes estrategias acerca de la implementación de recursos ontológicos que no han sido estructurados dentro de una ontología y que impactan a la red de ontologías.

Concretamente, el problema de investigación abordado en este trabajo de investigación resalta la carencia de la metodología de diseño de las redes de ontologías, ya que son escasas en el estado del arte y carecen de información complementaria acerca de la explotación de recursos no ontológicos para poblado, enriquecimiento y extensión de una red de ontologías.

## **1.2. Objetivos de la investigación**

En esta sección se presenta el objetivo general de esta investigación, así como los objetivos específicos de la misma.

### **1.2.1. Objetivo general**

Desarrollar una metodología de diseño de redes de ontologías para la construcción de una red acerca de la DM en pacientes mexicanos para el apoyo en la toma de decisiones en el diagnóstico médico, utilizando recursos ontológicos y no ontológicos.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

A continuación se listan los objetivos específicos de este trabajo de investigación.

- Definir e implementar una metodología para la integración de ontologías.
- Definir e implementar una metodología para la integración de recursos no ontológicos en una ontología.
- Construir una red de ontologías que represente elementos del contexto de la población mexicana como la talla, peso, entre otros, así como la relación de la

diabetes con otras enfermedades, antecedentes heredo-familiares, tratamientos y síntomas.

- Evaluar la red de ontologías sobre la DM mediante un enfoque validación y verificación.

### 1.3. Preguntas de investigación

A continuación se muestra la pregunta de investigación que este trabajo de tesis busca responder.

- ¿Es posible la reutilización de ontologías existentes para construir una red de ontologías que pueda representar y generar nueva información acerca de la diabetes en el contexto de la población mexicana?
- ¿Es posible utilizar recursos no ontológicos para el enriquecimiento dentro de una metodología de diseño de redes de ontologías?

### 1.4. Contribuciones

Las contribuciones derivadas de este trabajo de tesis son:

- Metodología de diseño de redes de ontologías, la cual ofrece métodos y técnicas para el manejo de recursos ontológicos para la integración de ontologías e importación de vocabulario y recursos no ontológicos para el diseño de nuevas ontologías y enriquecimiento de existentes. Cabe resaltar que la metodología ofrece mayor información acerca del manejo de recursos no ontológicos para el poblado, asociación y enriquecimiento de una red de ontologías, sin modificar la estructura de las ontologías participantes respecto a NeOn (Suárez-Figueroa, Gómez-Pérez, y Fernández-López, 2012), siendo esta una de las metodologías más populares dentro de la literatura.
- Red de ontologías de la DM, la cual ofrece una representación ontológica de las características más relevantes de pacientes diabéticos mexicanos, así como elementos propios del tratamiento, diagnóstico, factores de riesgo y relación de la DM respecto a otras enfermedades. La red contiene información en español y también incluye etiquetas del idioma inglés para los nombres de las clases, facilitando así el uso de esta a usuarios internacionales.

## 1.5. Publicaciones

Las publicaciones derivadas de este trabajo son:

- Reyes-Pena, C., & Tovar-Vidal, M. (2019). Ontology: components and evaluation, a review. *Research in Computing Science*, 148(3), 257-265.
- Reyes-Pena, C., & Vidal, M. T. (2020). Ontology Reusing: A Review. *Research in Computer Science*, 149(4), 107-113.
- Pena, C. R., Vidal, M. T., Bravo, M., & Motz, R. (2020). Drug ontology for the public mexican health system. In K. Stefanidis, P. Rao, H. Kondylakis, & G. Troullinou (Eds.), *Proceedings of the third international workshop on semantic web meets health data management (SWH 2020) co-located with the 19th international semantic web conference (ISWC 2020), athens, greece, november 2, 2020* (Vol. 2759, pp. 58–69).
- Reyes-Peña, C., Tovar, M., Bravo, M., & Motz, R. (2021). An ontology network for Diabetes Mellitus in Mexico. *Journal of Biomedical Semantics*, 12(1), 1-18.

## 1.6. Áreas de investigación involucradas

La principal área de investigación en este trabajo es la ingeniería ontológica, ya que la creación de una metodología de diseño impacta directamente en la tarea del diseño de nuevas ontologías. Adicionalmente, la metodología también involucra a las tareas de poblado, enriquecimiento y evaluación ontológica.

Para la tarea de poblado ontológico se hace uso de técnicas de procesamiento de lenguaje natural, específicamente la tarea de recuperación de la información, ya que el proceso de poblado fue semiautomático por medio de la identificación de elementos clave. Otro uso de esta tarea fue el enriquecimiento, donde se utilizaron técnicas de identificación de patrones morfosintácticos para detectar individuos pertenecientes a la ontología de entidades clínicas, así como propiedades de objeto asociadas a estos.

## 1.7. Organización del documento

Este documento está organizado en cinco capítulos y un apéndice. El capítulo 2 contiene definiciones teóricas acerca de las ontologías, partiendo desde la definición de razonamiento hasta la participación de este dentro de las ontologías; una vez abordado

el tema de las ontologías, se mencionan los lenguajes de representación, las técnicas de evaluación, una descripción de las ontologías en la literatura, y como reutilizar ontologías para finalmente llegar a la definición de redes de ontologías. El capítulo 3 contiene una recopilación del estado del arte acerca de las bases de conocimiento y ontologías en el área médica, incluyendo también trabajos existentes respecto a la reutilización de ontologías, redes de ontologías y metodologías de diseño. Esta última sección indica las posibles desventajas de intentar diseñar redes de ontologías con metodologías de diseño de ontologías tradicionales, ya que muchas de estas carecen de información sobre el uso de algunos recursos. El capítulo 4 describe la metodología de diseño de redes de ontologías enfocada a utilizar información del área médica; dicha metodología hace énfasis en el uso de recursos ontológicos y no ontológicos dentro de diversas tareas de la ingeniería ontológica y culmina con la evaluación de la red resultante. El capítulo 5 relata la aplicación de la metodología de diseño tomando como caso de estudio la enfermedad de la DM utilizando recursos ontológicos existentes, así como recursos no ontológicos como lo son los expedientes clínicos de pacientes diabéticos. Por último, el capítulo 6 relata las conclusiones del trabajo realizado y el trabajo a futuro. El apéndice de este documento contiene información detallada de las ontologías participantes de la red.

---

## Marco teórico

---

Este capítulo presenta la definición y los componentes de las ontologías, así como los lenguajes utilizados para el diseño y consulta de las mismas. El capítulo comienza con una breve descripción acerca del razonamiento lógico, el TBox y el ABox, siendo estos las bases de la representación del conocimiento por medio de las ontologías. Posteriormente, el capítulo continúa con la descripción de los componentes y la evaluación de las ontologías, lenguajes formales de representación de estas, así como tareas pertenecientes a la ingeniería ontológica. Finalmente, en la sección de Reutilización de ontologías, se menciona la definición de las redes de ontologías, algunos beneficios de su uso y la diferencia que existe entre reutilizar ontologías mediante técnicas de alineación y mapeo.

### 2.1. Razonamiento basado en lógicas descriptivas

El razonamiento está fuertemente asociado al proceso humano de pensar, específicamente a la parte de justificar una conclusión a la que se ha llegado y el convencimiento de otros para aceptar tal conclusión (Serna y Flórez, 2013). Para llegar a la construcción de una conclusión es necesario tener conocimiento acerca del tema involucrado y su relación con el mundo real. En computación existen diversas formas de representar el conocimiento, siendo las lógicas descriptivas un lenguaje para ello.

Las lógicas descriptivas se pueden definir como formalismos descriptivos para representar el conocimiento por medio de una terminología adecuada según el dominio

(Nardi y Brachman, 2003; Baader, Horrocks, y Sattler, 2004). Al ser lógicas formales, permiten expresar conocimiento mediante la estructura *Concepto-Rol-Concepto* donde el concepto se refiere al conjunto específico de instancias pertenecientes a un dominio de interés y el rol indica la relación semántica entre los conceptos. Los roles deben indicar que concepto ejerce el rol sobre el otro, siendo el primero el dominio y el segundo el rango. Las lógicas descriptivas enriquecen a los roles por medio de características como la transitividad, jerarquías de roles y roles inversos, gracias a esto, es posible razonar usando la definición y las características de los mismos (Bueno y Ch, 2002; Maurello-Rincón, 2001; Huertas, 2006). En la Tabla 2.1 se muestra un ejemplo de roles y conceptos relacionados a la familia (Maurello-Rincón, 2001).

Tabla 2.1: Ejemplo de conceptos y roles.

Concepto (Dominio)	Rol	Concepto (Rango)
Persona	esHijoDe	Persona
Mujer	esEsposa	Hombre
Hombre	esPrimoDe	Persona
Hombre	esPadre	Persona

En cuanto a los conceptos, las lógicas descriptivas ofrecen un nomenclatura para la construcción de definiciones de los mismos utilizando restricciones, cuantificadores y conectores sobre la participación de los roles. A continuación se muestra la nomenclatura utilizada en las lógicas descriptivas (Maurello-Rincón, 2001; Huertas, 2006):

- Negación ( $\neg$ ): la negación de una proposición es verdadera cuando dicha proposición es falsa, y viceversa, por lo que se dice que es el complemento lógico.
- Subsunción ( $\sqsubseteq$ ): incluye un concepto o rol en uno más amplio.
- Restricción de al menos ( $\geq$ ): un elemento debe contener por lo menos un valor que satisfaga a una preposición.
- Restricción a lo más ( $\leq$ ): un elemento debe contener por mucho una cantidad de valores limitada que satisfaga a una preposición.
- Conector disyunción ( $\vee$ ): conector lógico, cuyo valor de verdad resulta falso, solo sí ambas proposiciones son falsas, y cierto de cualquier otra forma.
- Conector conjunción ( $\wedge$ ): conector lógico cuyo valor de verdad resulta cierto, solo sí ambas proposiciones son ciertas, y falso de cualquier otra forma.

- Cuantificador universal ( $\forall$ ): afirma que todos los elementos de un conjunto cumplen con una determinada propiedad.
- Cuantificador existencial ( $\exists$ ): indica que hay uno o más elementos en un conjunto que cumplen una determinada propiedad.
- Intersección ( $\cap$ ): el resultado de los elementos que conformar un concepto que coinciden con los elementos de otro concepto.
- Unión ( $\cup$ ): el resultado de los elementos que conformar un concepto que se une con los elementos de otro concepto.

Dentro del uso de las lógicas descriptivas en la representación del conocimiento, se tienen modelos como las bases de conocimiento, las cuales son usadas para construir conclusiones a partir del conocimiento necesario para comprender, formular y resolver problemas acerca del dominio en particular, teniendo como componentes principales el *TBox* y *ABox* (Abu-Nasser, 2017; Aronson, Liang, y Turban, 2005; Badaró, Ibañez, y Agüero, 2013; Adeli, 2014). Otro modelo de representación de conocimiento son las ontologías, siendo estas una evolución de las bases de conocimiento que conservan claramente los elementos *TBox* y *ABox*.

### 2.1.1. TBox

El *TBox* (*Terminology Box*) es la parte de la representación de conocimiento a través de las lógicas descriptivas que contiene el conocimiento intencional o general del dominio usando la terminología, normalmente en forma de taxonomía, construida por medio de operaciones y declaraciones que describen las propiedades de los conceptos usando definiciones no cíclicas (Nardi y Brachman, 2003). Dentro del *TBox* se realizan las siguientes tareas del razonamiento: subsunción (*subsumption*), también conocida como clasificación, indica que un subconjunto *A* está contenido en un conjunto *B* ( $A \sqsubseteq B$ ); la satisfactibilidad indica que existe un conjunto no vacío que satisface de forma verdadera una definición; la consistencia la cual verifica que no existan contradicciones entre la terminología (Baader y cols., 2004); y la equivalencia ( $\equiv$ ) donde dos definiciones son equivalentes si obtienen los mismos valores de verdad para el mismo conjunto (Rademaker, 2012).

Retomando el ejemplo de la sección anterior, se establece el siguiente enunciado: *Una persona que tiene al menos un hijo graduado*, se representa en el *TBox* como:  $\text{Persona} \sqcap (\exists \text{Hijo.Graduado})$  (Maurello-Rincón, 2001).

### 2.1.2. ABox

El ABox (*Assertion Box*) es la parte de la representación que contiene el conocimiento extendido por medio de afirmaciones (conocimiento afirmativo), el cual es específica a los individuos del dominio. Las tareas básicas de razonamiento que se lleva a cabo en ABox son: la comprobación de instancias (*Instance Checking*), la cual verifica si un individuo dado es una instancia de (pertenece a) un concepto específico; consistencia de la base de conocimiento, verifica si cada concepto en la base de conocimiento admite por lo menos un individuo; la realización, que encuentra el concepto más específico de un objeto individual, el cual es una instancia de; y recuperación, que encuentra a los individuos en la base de conocimiento que son instancias de un concepto dado (Nardi y Brachman, 2003).

Retomando el ejemplo de la sección anterior, teniendo el mismo enunciado: *Una persona que tiene al menos un hijo graduado*, se representa en el ABox como *Juan* que es una persona y *María* es su hija graduada: *Persona(Juan)*, *Graduado(María)*, *Hijo(Juan,María)* (Maurello-Rincón, 2001).

### 2.1.3. Mecanismo de razonamiento

El mecanismo de razonamiento tiene como propósito generar conocimiento basado en los propios principios de diseño de la ontología. Para esto se realizan las siguientes tareas (Antoniou y Van Harmelen, 2004):

- Verificación de consistencia: contradicciones en las definiciones de todo el TBox.
- Pertenencia de la clase: si una clase *A* tiene como subclase a una clase *B* y a su vez una instancia *x* pertenece a la clase *B*, entonces la instancia *x* también tiene pertenencia a la clase *A*.
- Equivalencia de clases: si una clase *A* es equivalente a una clase *B*, a su vez la clase *B* es equivalente a una clase *C*, entonces *A* y *C* son equivalentes.
- Clasificación: se define dentro del TBox que ciertos pares propiedad-valor son condiciones suficientes para pertenecer a una clase *A*, entonces si una instancia *x* satisface tales condiciones, entonces *x* debe ser una instancia de la clase *A*.

### 2.1.4. Mecanismo de inferencia

El mecanismo de inferencia tiene la tarea de hacer inferencias al decidir cuáles reglas definidas en el diseño satisfacen a las instancias del ABox, asignarles preferencias

y ejecutar la de mayor prioridad (Giarratano y Riley, 2001), además de proveer el razonamiento necesario para formular conclusiones acerca de la información representada mediante lógicas (Aronson y cols., 2005).

Para formular las conclusiones, el mecanismo de inferencia tiene un proceso recursivo a partir de tres etapas: *Match*, *Select* y *Execute*. Durante el estado de *Match*, los datos acerca de las instancias se comparan con las reglas lógicas definidas en el TBox. Todas las reglas que se pueden ejecutar se almacenan en un conjunto denominado *conjunto de conflictos*. Después, se selecciona una regla del conjunto de conflictos (*Select*) según algunos criterios, principalmente la precedencia, con la finalidad de que dicha regla será la primera en ejecutarse (o única en ejecutarse, dado que no exista otra regla que se pueda satisfacer). Finalmente, los resultados de ejecución de la regla se almacenan en el ABox con los datos iniciales (*Execute*) (Abu-Nasser, 2017).

## 2.2. Ontología

Una ontología es una representación de una parte del mundo real, esta parte es conocida como dominio. Formalmente, Gruber (Gruber, 1995) define a la ontología como: *una especificación explícita de una conceptualización*. Esta definición es complementada en (Gruber, 1993; Borst, 1997), explicando que una ontología es un vocabulario representativo para un dominio compartido de un discurso definido a través de clases, relaciones o propiedades, funciones, individuos y reglas semánticas, donde cada ontología y cada elemento que la conforma son identificados mediante un único IRI (*Internationalized Resource Identifier*). Utilizar un enfoque de redes de ontologías permite obtener todos los beneficios de las ontologías sin comprometer la integridad de cada una de las participantes, ya que su enfoque permite interconectar ontologías por medio de metarrelaciones. Por su parte, Luna et al. (Luna, Bonilla, y Torres, 2012) la define como una teoría que especifica un vocabulario relativo dentro de un dominio con la finalidad de ayudar a la interoperabilidad semántica entre sistemas dentro de la web.

La ontología es considerada como una estructura bien definida de un conjunto que contiene los conceptos más representativos de un universo y describe la relación entre ellos usando estructuras jerárquicas (Couldry y Kallinikos, 2018; Ren, Lu, y Wang, 2018; Hlomani, 2014); dicha estructura deberá representar formalmente al universo o un discurso particular, así como sólo una parte del mismo (Martínez-Gil, Alba, y Montes, 2008). La construcción de la ontología es metodológica y depende directamente de los tipos de objetos de estudio, dichos objetos deben contener una descripción textual legible para los humanos (Couldry y Kallinikos, 2018), es decir, las ontologías deben tener un vocabulario bien definido y legible para expresar los objetos principales acerca de un dominio en específico, así como sus relaciones (Ramos, Núñez, y Casañas,

2009).

Uno de los principales propósitos de las ontologías es brindar estructura a la información, por lo que se pueden convertir en una poderosa representación con técnicas automatizadas para organizar las instancias, un ejemplo de esto es el almacenamiento de historiales médicos de los pacientes (Moreno y Lombardo, 2018).

Con la creciente aplicación de las ontologías, se han llegado a considerar como un estándar para representar el conocimiento (Huitzil, Straccia, Díaz-Rodríguez, y Bobillo, 2018). Las ontologías son consideradas una evolución de las bases de conocimiento, ya que amplía el T-Box de una base de conocimiento a través del uso de lógicas descriptivas, lo que permite mayor expresividad en la representación.

### 2.2.1. Elementos de las ontologías

Las ontologías pueden ser vistas como un conjunto que tiene los siguientes componentes (Huitzil y cols., 2018)(Tello, 2001):

- **Instancias (Objetos):** es la representación de los principales objetos del dominio a representar, acorde a la finalidad de la ontología.
- **Propiedades de tipos de Dato:** indica la información acerca del dominio en un formato máquina (valores enteros, flotante, texto, entre otros).
- **Conceptos (Clases):** son las ideas principales acerca del dominio que serán formalizadas. Visto desde la lógica, los conceptos pueden ser descritos usando propiedades específicas que deberán ser satisfechas por ellos mismos (Barchini y Álvarez, 2010).
- **Propiedades de objeto:** son ligas entre los conceptos con la finalidad de representar la estructura de la ontología lo más fiel posible a la realidad, ya sea que dicha estructura sea o no taxonómica.
- **Axiomas:** los axiomas son las restricciones, reglas y definiciones de correspondencias lógicas que deben cumplirse en las relaciones entre los elementos de la ontología (Chmielewski, Paciorkowska, y Kiedrowicz, 2017), también pueden ser vistos como la más pequeña unidad de conocimiento dentro de una ontología (Ta y Thi, 2015).

Para ilustrar la definición y los componentes de una ontología, se muestra el ejemplo de un hospital. Un hospital puede estar categorizado según el financiamiento que tenga, como lo es el hospital público que recibe aportaciones económicas de gobierno y el hospital privado cuyo pago de servicios corre a cuenta del usuario en su totalidad.

Otra característica de los hospitales es que cuentan con doctores que laboran en ellos. Un doctor puede trabajar en uno o más hospitales independientemente del financiamiento. En la Figura 2.1 se muestra la ontología del hospital, teniendo como jerarquía de clases la clasificación de los hospitales mediante el conjunto de clases *Hospital*, *Hospital\_Privado* y *Hospital\_Publico*. También existe la clase *Doctor*, el cual se asocia al resto mediante la propiedad de objeto *trabajaEn*. Las propiedades de dato de la clase *Doctor* contienen información acerca del nombre (*tieneNombre*) y de la cédula profesional de cada uno (*tieneCedulaProfesional*), por su parte la clase *Hospital* tiene la propiedad de dato *tieneUbicacion* para representar la dirección en la que cada hospital se localiza. Este ejemplo cuenta con cinco instancias en total, tres correspondientes a la clase *Doctor*, una para la clase *Hospital\_Privado* y otra para la clase *Hospital\_Publico*.

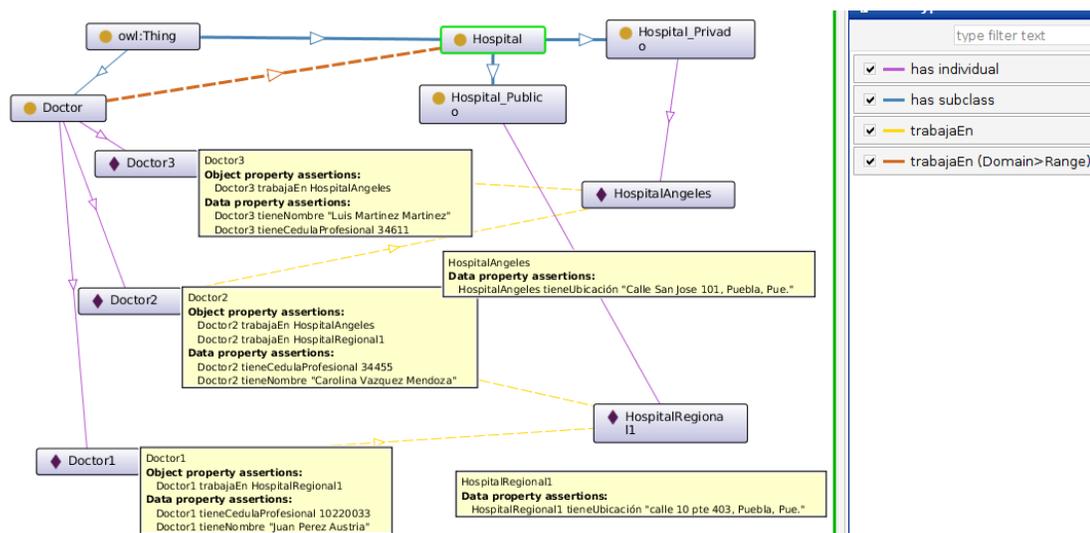


Figura 2.1: Ejemplo de una ontología de un hospital.

### 2.2.2. Tipos de ontologías

Definir una clasificación para los tipos de ontologías puede tornarse muy complejo debido a que pueden clasificarse según su enfoque, su aplicación, su creación, su dominio en específico, entre otros; e incluso considerarse como genéricas (Smith, 2003); a pesar de eso, las ontologías suelen clasificarse en dos grupos según la naturaleza de su razonamiento: las ontologías clásicas y las ontologías difusas. Las ontologías clásicas utilizan lógicas descriptivas para representar y razonar el conocimiento, mientras

que las ontologías difusas utilizan la lógica difusa o borrosa, normalmente aplicada a rangos de valores respecto a algunas variables.

### 2.2.3. Lenguajes de las ontologías

A continuación se describen algunos lenguajes para el diseño y consulta de las ontologías.

- *Resource Description Framework* (RDF) y *Resource Description Framework Schema* (RDFS) son estándares para el intercambio de datos en la web (RDF, 2019), el cual provee de un modelo de datos basado en anotaciones a partir de tripletas de tipo *Sujeto Propiedad Objeto* (Pan, 2009). El alcance de estos estándares es limitado, ya que no permite modelar restricciones entre las tripletas (Pan, 2009; Antoniou y Van Harmelen, 2004). A continuación se muestra algunos de los elementos predefinidos utilizados para definir una ontología en RDFS (Pan, 2009):
  - **rdfs:Class**: es la declaración de que un recurso es una clase.
  - **rdfs:subClassOf**: indica la relación de subsunción en la jerarquía de clases.
  - **rdfs:subPropertyOf**: indica la relación de subsunción en la jerarquía de propiedades.
  - **rdfs:domain**: restringe todas las instancias de una propiedad en particular para describir instancias de una clase en específico.
  - **rdfs:range**: restringe los valores de las instancias de una propiedad en particular de una clase en específico.
- *SPARQL*: es un lenguaje de consulta basado en la sintaxis SQL (*Structured Query Language*) que permite estructurar documentos de tipo RDF y RDFS como grafos etiquetados (*SPARQL Protocol and RDF Query Language*, 2013). Al realizar una consulta, los grafos son analizados y se devuelve un conjunto de tripletas que satisfagan a la consulta realizada.
- *OWL*: Es un lenguaje de la web semántica llamado *Web Ontology Language* (OWL por sus siglas en inglés), su finalidad es representar conocimiento por medio de la lógica descriptiva, el cual, a diferencia del estándar RDFS, permite crear restricciones semánticas enfocadas a determinar cardinalidad, características de las propiedades y enriquecimiento de definiciones de clases (OWL, 2019). OWL es compatible con RDFS y SPARQL. En la Tabla 2.2 se muestra una equivalencia

entre elementos que se utilizan en OWL y que tienen una correspondencia directa dentro de las lógicas descriptivas (Sikos, 2017).

Tabla 2.2: Equivalencia de elementos entre lógicas descriptivas y OWL .

Lógicas descriptivas	OWL
Concepto atómico (nombre del concepto)	Nombre de clase
Concepto	Clase
Rol atómico (nombre del rol)	Nombre de propiedad
Rol	Propiedad
Individuo	Individuo
Axioma	Axioma
Vocabulario o firma	Vocabulario controlado
Base de conocimiento	Ontología

- *OWL2*: es una evolución de OWL, el cual extiende las características de expresividad basadas en tipos de datos usados en las propiedades y las restricciones semánticas aplicadas a las mismas (*OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition)*, 2012).
- *Semantic Web Rule Language (SWRL)*: es un lenguaje extendido de OWL y OWL2, en el cual se definen reglas semánticas a partir de un antecedente (*body*) y un consecuente (*head*), ambos están compuestos de ninguno o más átomos (conjunciones).

En la Figura 2.2 se muestra un ejemplo de SWRL para representar reglas asociadas a la estructura de una familia. En el ejemplo, la ontología consta de tres clases: Persona, Hombre y Mujer. Las instancias están clasificadas acordes a las dos últimas clases y están asociadas entre ellas mediante la propiedad de objeto *esHijoDe*. Como resultado de la aplicación de la regla  $esHijoDe(?hijo, ?progenitor) \wedge esHijoDe(?hijo2, ?progenitor) \rightarrow esHermano(?hijo, ?hijo2)$ , la cual asocia mediante la propiedad de objeto *esHermanoDe* a dos instancias que comparten el rango. Esta asociación no podría ser posible mediante OWL, ya que en este ejemplo no se cuenta con alguna clase Hermano.

- *Description Logics Query (DL Query)*: es un lenguaje de consulta de ontologías que obedece a la sintaxis Manchester y requiere de un agente razonador para conseguir respuestas. Si bien los resultados de las inferencias son fácilmente accesibles desde este lenguaje, es difícil realizar consultas que requieran filtrar datos por medio de valores específicos.

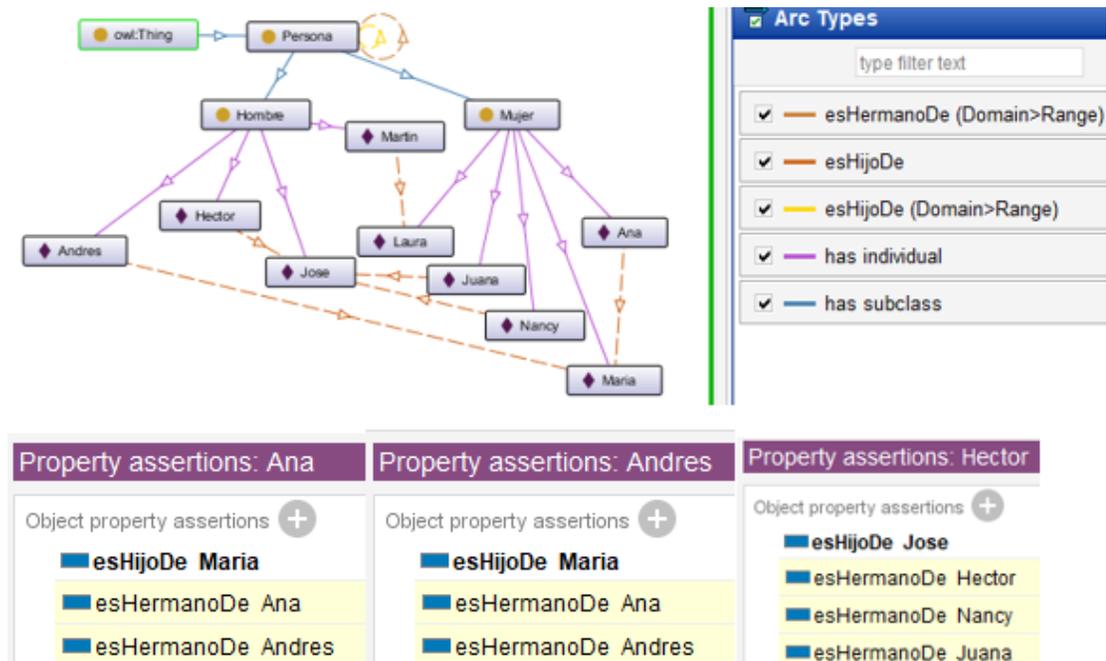


Figura 2.2: Ejemplo de reglas SWRL.

## 2.3. Metodologías de diseño de ontologías

Una metodología de diseño de ontologías se puede definir como un conjunto de métodos y técnicas que garanticen que los resultados obtenidos dentro de cada uno de los procesos de diseño sean los adecuados (Silva-López, Silva-López, Bravo, Méndez-Gurrola, y Sánchez-Arias, 2014).

Normalmente, las metodologías atacan principalmente el diseño de la estructura de la ontología a partir de tres etapas: identificación de términos que describan a las clases, organización de las clases por medio de relaciones taxonómicas y no taxonómicas, y restricciones entre las relaciones para dar significado a la taxonomía (Cristani y Cuel, 2005).

A continuación, se describen los diferentes enfoques para abordar las metodologías de diseño de ontologías:

- **Diseño manual:** Esta metodología requiere que el diseñador de la ontología tenga conocimientos previos del dominio a representar, puesto que la conceptualización dependerá de los conocimientos disponibles.
- **Diseño automático:** Para la creación automática de ontologías, se necesita gran-

des cantidades de información acerca del dominio (comúnmente se utilizan documentos agrupados a través de un corpus), a los que se les aplica técnicas de procesamiento de lenguaje natural para identificar los conceptos del dominio a representar, las relaciones entre ellos y los axiomas, principalmente. Uno de los aspectos mayormente abordados por medio de este enfoque es la extracción de términos relevantes a partir de una colección de documentos, usando estrategias de tipo lingüísticas (por medio de características lingüísticas de las palabras, oraciones y documentos), estadísticas (independientes del lenguaje), basadas en ubicación de términos relevantes dentro de un documento y pesado de términos entre otras (Siddiqi y Sharan, 2015).

- **Diseño semiautomático:** Es una mezcla de diseño basado en las dos anteriores, en la cual algunas fases de una metodología de diseño se realizan de forma automática y otras de forma manual.

En la Figura 2.3 se muestran las diferentes fases de las metodologías de diseño Methontology (Fernández-López y cols., 1997), DMTO (*Diabetes Mellitus Treatment Ontology*) (El-Sappagh, Kwak, Ali, y Kwak, 2018) y MODC (*Methodology for Ontology Design and Construction*) (Bravo, Hoyos Reyes, y Reyes-Ortiz, 2019). Las tres metodologías coinciden en comenzar con determinar los requerimientos de la ontología y finalizan en la implementación y evaluación de la ontología resultante. Sin embargo, las etapas del desarrollo de las tres metodologías tienen diferencias notables en la especificación de las tareas a realizar en cada etapa. En el caso de Methontology ofrece un conjunto de etapas con un propósito específico sin especificar a detalle las tareas a realizar a diferencia de lo propuesto por MODC. DMTO contiene etapas específicas del diseño de cada uno de los componentes de la ontología. Para seleccionar una metodología óptima para el diseño de ontologías se debe considerar los requerimientos de la misma, las características del dominio, los recursos existentes, así como la experiencia del diseñador.

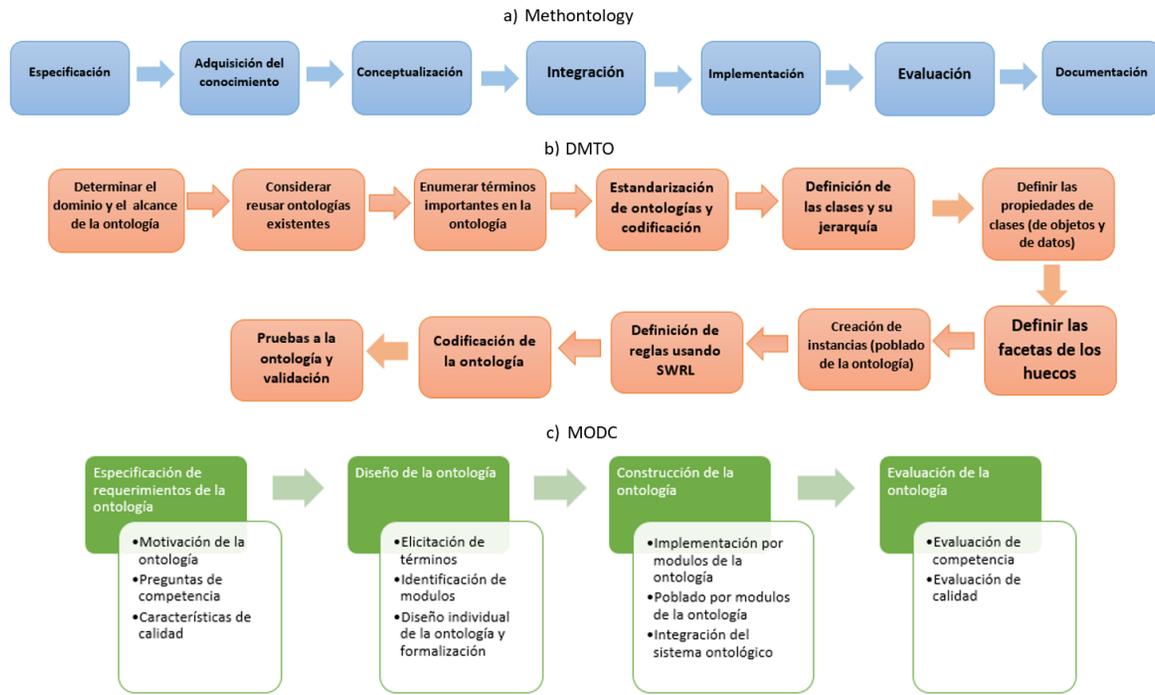


Figura 2.3: Fases de las diferentes metodologías de diseño.

## 2.4. Evaluación de las ontologías

Al ser las ontologías un modelo de representación de una conceptualización del mundo real, la necesidad de evaluar los diferentes aspectos es fundamental para garantizar que dicho modelo sea lo más apegado a la realidad del dominio establecido.

Para determinar si una ontología es de calidad, existe la evaluación de ontologías desde un enfoque construido por dos aspectos primordiales: la verificación (Amith, He, Bian, Lossio-Ventura, y Tao, 2018) y la validación (Ramos y cols., 2009). Estos enfoques pueden utilizar herramientas como lo son el uso de razonadores para verificar la consistencia, los casos de prueba y error para la búsqueda de errores en las definiciones (Rodríguez, Hidalgo-Delgado, y Martínez, 2018), y software especializado como el desarrollado en (Poveda-Villalón, Gómez-Pérez, y Suárez-Figueroa, 2014).

### 2.4.1. Verificación

El enfoque de evaluación de ontologías basado en la verificación es usado para determinar si la ontología es correctamente construida o no, a través de las preguntas de competencia, las cuales definen una parte de la tarea para la que fue diseñada la ontología (Ramos y cols., 2009). También, determina si la construcción de la ontología es adecuado para representar el mundo real (Yilmaz, Durak, Oğuztüzün, y Çağiltay, 2018). La verificación tiene los siguientes enfoques:

- **Léxica:** está relacionada con el vocabulario utilizado para conceptualizar el dominio; regularmente se realiza por medio de las métricas *precision*, *recall* y *F – measure* (Ta y Thi, 2015) (Brank, Grobelnik, y Mladenic, 2005). Este enfoque incluye aspectos relacionados con la reusabilidad de ontologías (Jain y Meyer, 2018).

- **Taxonómica:** específicamente esta verificación está enfocada a las relaciones *IS – A* y *HAS – A* dentro de la ontología.
- **Semántica:** está basada en la consistencia que brindan las características semánticas de la ontología (Vrandečić, 2009) considerando el significado y el contenido de dichas características (Jain y Meyer, 2018).
- **Contexto:** puede ser evaluado a través de otras ontologías web o aplicaciones específicas (Sekandar, 2018), las cuales deben pertenecer al mismo dominio.
- **Sintáctica:** esta verificación se enfoca en la coherencia de las definiciones dentro de la ontología (Sekandar, 2018). Para una verificación más profunda, es necesario usar algunos criterios de evaluación (Jain y Meyer, 2018).
- **Estructural, arquitectura y diseño:** tiene el propósito de identificar la ausencia de principales conceptos en la estructura, ciclos, conceptos con la misma definición, pero con diferente nombre, entre otros errores (Ramos y cols., 2009). En este tipo de verificación, no existen métricas bien definidas debido a que podrían ser ambiguas (Vrandečić, 2009), ya que normalmente dichas métricas son libres de contexto (Gangemi, Catenacci, Ciaramita, y Lehmann, 2006).

### 2.4.2. Validación

El enfoque de la validación de ontologías se refiere a la necesidad de que las definiciones sean lo más real posible para modelar y representar el dominio (Ramos y cols., 2009), es decir, indica si las definiciones de la ontología son un modelo del mundo real (Yilmaz y cols., 2018). Dentro del enfoque de validación, existen diferentes bases para abordarlo:

- **Gold Standard:** En la evaluación basada en *Gold Standard* consiste en la comparación de dos ontologías donde, la ontología a evaluar se coteja con una ontología *Gold* que engloba el mismo dominio, la cual fue creada por un experto, por lo tanto, se asume que dicha ontología está completa, ya que en caso contrario la evaluación podría tener errores (Lourdusamy y John, 2018). Esta estrategia es comúnmente utilizada para ontologías desarrolladas por medio de metodologías de diseño automático o semi-automático (J. Yu, Thom, y Tam, 2007).
- **Basada en aplicación:** esta validación está enfocada a determinar si los resultados de una ontología propuesta satisface o no la tarea para la cual fue diseñada (Brank y cols., 2005).

- **Basada en datos:** para aplicar esta validación es necesario comparar la información de la ontología respecto a los datos (información) existente acerca del dominio, principalmente usando corpus de documentos (Brank y cols., 2005). Un aspecto importante a considerar por medio de esta validación, es determinar si la ontología contiene los elementos suficientes para representar el dominio (Jain y Meyer, 2018).
- **Basada en la experiencia del usuario:** este tipo de evaluación es totalmente empírica y sugestiva, ya que está basada en la perspectiva que tenga un usuario al utilizar la ontología a evaluar, por lo que se recomienda la opinión de un experto del dominio (Lourdusamy y John, 2018).

### 2.4.3. Evaluación basada en criterios

El enfoque de evaluación de ontologías por medio de criterios está basado en considerar aspectos o características que sean cuantificables (McDaniel, Storey, y Sugumar, 2018), por lo que, el uso de herramientas como el razonador es muy común para facilitar la medición de ciertos criterios de evaluación de ontologías (J. Yu y cols., 2007). En la Tabla 2.3 se describen algunos criterios de evaluación y algunas herramientas utilizadas para aplicar dichos criterios.

Tabla 2.3: Criterios para la evaluación de ontologías.

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Herramientas utilizadas para aplicar el criterio</b>
Coherencia	Mide si existen contraindicaciones entre los elementos de la ontología de acuerdo a la consistencia lógica (Vrandečić, 2009).	Razonador Pellet (Souza, Duran, y Almeida, 2018)
Cobertura	Indica que tan bien la ontología representa o modela el dominio (Hloman y Stacey, 2014).	Cuestionarios aplicados a expertos (Souza y cols., 2018), mapeo de ontologías y representación con bases de datos del dominio (Obrst, Ceusters, Mani, Ray, y Smith, 2007)

Legalidad	Refiere a la frecuencia de los errores sintácticos (Brank y cols., 2005).	Búsqueda de instancias con sintaxis incorrecta (Afify, Badr, Moawad, y Tolba, 2017)
Exactitud	Mide la representación del conocimiento dentro de la ontología en relación al mundo real (Vrandečić, 2009).	Preguntas de competencia (Obrst y cols., 2007)
Consistencia	Indica si existen contradicciones entre las definiciones y los elementos de la ontología (Gómez-Pérez, 2001).	Razonador Pellet (Souza y cols., 2018)
Riqueza	Cuantifica las características sintácticas más importantes que son usadas en la ontología (Brank y cols., 2005).	
Adaptabilidad	Referente a que los futuros usos de la ontología (McDaniel y cols., 2018).	
Claridad	Capacidad de comunicar el significado de los términos independientemente del contexto (McDaniel y cols., 2018).	
Índice de cercanía	Mide la cercanía o semejanza estructural entre los conceptos (Iqbal, Murad, Sliman, y da Silva, 2018).	
Índice de similitud	Se refiere a la corrección de proposiciones dentro de la estructura del conocimiento (Iqbal y cols., 2018).	
Concisión	Refiere a la existencia de información irrelevante, innecesaria o redundancias (Jain y Meyer, 2018).	
Modularidad	Indica si la ontología fue creada usando una metodología apropiada con la finalidad de definir si existen elementos reutilizables (Gangemi y cols., 2006).	
Enredamiento	Mide la distribución de múltiples conceptos, al igual que si existen intersecciones dentro de la estructura (J. Yu y cols., 2007).	
Conectividad	Indica los conceptos importantes basándose en la cantidad de relaciones que tienen (J. Yu y cols., 2007).	

Complejidad	Indica si el contenido de la ontología es explícito o puede ser inferido para definir si la ontología está completa (Gómez-Pérez, 2001).	
Sensibilidad	Mide la modificación de los elementos a partir de un pequeño cambio en una definición (Gómez-Pérez, 2001).	
Acoplamiento	Refiere al número de conceptos externos que son referenciados de forma externa o importados (Hlomani y Stacey, 2014).	
Cobertura estándar	Identifica a aquellos elementos que no están definidos en la ontología (Olifer, 2015).	
Eficiencia computacional	Mide el rendimiento del razonador al procesar la ontología (Jain y Meyer, 2018).	

## 2.5. Reutilización de ontologías

Construir nuevas ontologías desde cero, es un proceso que requiere de mucho tiempo y conocimiento acerca del dominio, tanto como para la etapa de diseño, así como la etapa de evaluación. En la actualidad, existen diversas ontologías construidas a partir de un mismo dominio, las cuales contienen un diseño estructural similar que cubren un mismo propósito, haciendo que la información en ambas sea una representación repetida o traslapada. Utilizar ontologías previamente diseñadas y evaluadas permite construir representaciones a menor costo que la construcción de ontologías de forma tradicional (Suárez-Figueroa, 2010), además de incrementar la interoperabilidad de las ontologías involucradas (Zulkarnain, Meziane, y Crofts, 2016).

En general, la reutilización de ontologías busca generar nuevas ontologías a partir del ensamble, extensión, especificación o adaptación de ontologías existentes que puedan ayudar a representar en mayor medida un dominio de conocimiento en común (Pinto y Martins, 2000). Esta tarea pertenece al conjunto de técnicas conocidas como aprendizaje ontológico (*Ontology Learning*), el cual se define como un enfoque para extender ontologías existentes mediante nuevos conceptos y relaciones semánticas disponibles en diferentes recursos (enriquecimiento y adaptación), resolución de inconsistencias apoyándose de la integración de otras ontologías, y creación de instancias (poblado) (Petasis, Karkaletsis, Paliouras, Krithara, y Zavitsanos, 2011).

Dentro de las técnicas existentes para la reutilización de ontologías, existe el mapeo, la alineación, las redes de ontologías, entre otros. Para seleccionar la técnica óptima para la construcción de una ontología, se debe considerar las respuestas de las siguientes

preguntas:

- ¿El modelo incluye diferentes dominios?
- ¿Existe una ontología para satisfacer cada uno de los componentes del modelo?
- ¿Es necesario crear ontologías desde cero para complementar el modelo o sólo algunas definiciones ontológicas (relaciones, axiomas, etc.)?

Algunos aspectos a considerar para considerar si una ontología es candidata a participar en las técnicas de reutilización de ontologías, son los criterios de evaluación, como la modularidad que indica si existe un conjunto de componentes que puede ser reutilizado (Gangemi y cols., 2006), la conectividad mide la relevancia de los conceptos a partir de la cantidad de relaciones que los involucren (J. Yu y cols., 2007), y el acoplamiento, el cual indica el número de conceptos externos que son referenciados o importados en el nuevo modelo (Hlomani y Stacey, 2014).

### 2.5.1. Mapeo de ontologías

El mapeo de ontologías (*Ontology Mapping* o *Ontology Matching*) es el proceso por el cual se identifican correspondencias entre dos ontologías correspondientes al mismo dominio, dichas correspondencias no pertenecen a ninguna de ellas (De Bruijn y cols., 2006)(Noy, 2009). El nivel de detalle de la información contenida en ambas ontologías afecta las correspondencias resultantes (Finke, Filice, y Kahn Jr, 2019).

Formalmente, el mapeo de ontologías está definido como una 4-tupla  $\langle e, e', r, c \rangle$ , donde  $e$  y  $e'$  son entidades de dos ontologías ( $O_1$  y  $O_2$  respectivamente);  $r$  es una relación semántica  $\in \{\sqsubseteq$  más general,  $\sqsupseteq$  más específico, y  $\equiv$  equivalente}; y un valor de confianza  $c$  cuyo valor está dentro del rango  $(0, 1]$ , siendo 0 no confiable y 1 confiable (Harrow y cols., 2017). Además, el proceso para realizar esta tarea cuenta con tres etapas: el descubrimiento, la representación y la ejecución del mapeo (De Bruijn y cols., 2006). En la Figura 2.4 se muestran dos ontologías, las cuales al aplicarles el mapeo se encontraría una correspondencia expresada en la 4-tupla  $\langle Car, Vehicle, \equiv, 1 \rangle$ .

### 2.5.2. Alineación de ontologías

Dentro del aprendizaje ontológico, la alineación de ontologías es la tarea que pone diferentes modelos en correspondencia a través del descubrimiento de similitudes entre las entidades discretas de dos ontologías mediante un proceso semi-automático, todo esto con la finalidad de brindar interoperabilidad semántica (Levachkine, 2008) (De Bruijn y cols., 2006) (Suarez-Figueroa, Gomez-Perez, Motta, y Gangemi, 2012).

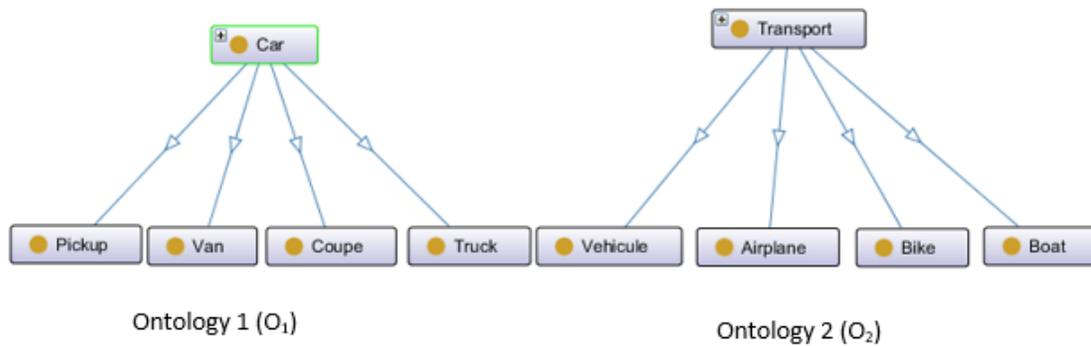


Figura 2.4: Ejemplo de dos ontologías de un mismo dominio.

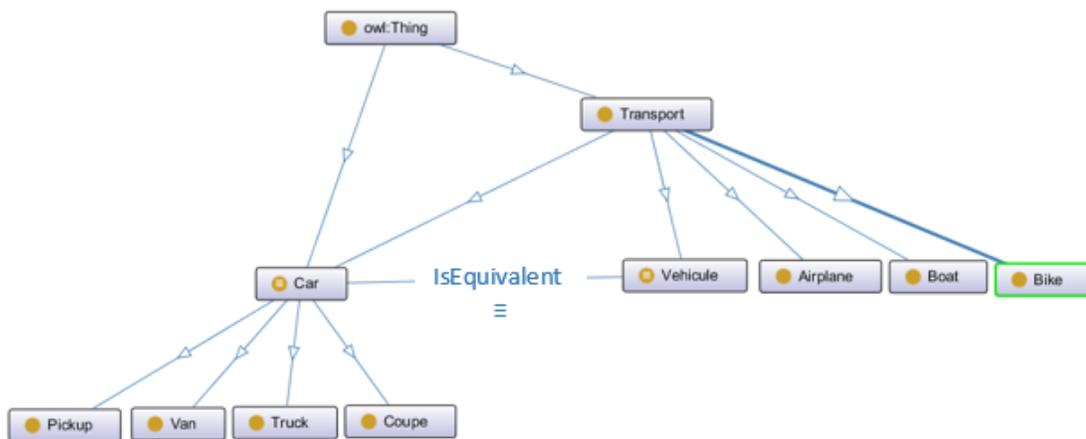


Figura 2.5: Ontología resultante de la alineación de ontologías.

Específicamente, la alineación de ontologías permite visualizar correspondencias, transformar recursos y consultar ambas ontologías al mismo tiempo (Levachkine, 2008), ya que ambas pasan a ser parte de una nueva ontología resultante a diferencia del mapeo que sólo provee 4-tuplas como resultado.

Formalmente, la alineación de ontologías está definida como  $OM = O_1 \cup O_2 \cup M$  (Harrow y cols., 2017); donde  $M$  es el conjunto de correspondencias que resultan del proceso de aplicar un operador de empare *Match Operator*. En la Figura 2.5 se observa la ontología resultante de aplicar la alineación de ontologías ilustradas en la Figura 2.4.

El operador de empare puede trabajar bajo dos enfoques: basado en esquema y basado en instancias (ver Figura 2.6). El enfoque basado en esquema considera los conceptos y las relaciones para determinar correspondencias a través de medidas de

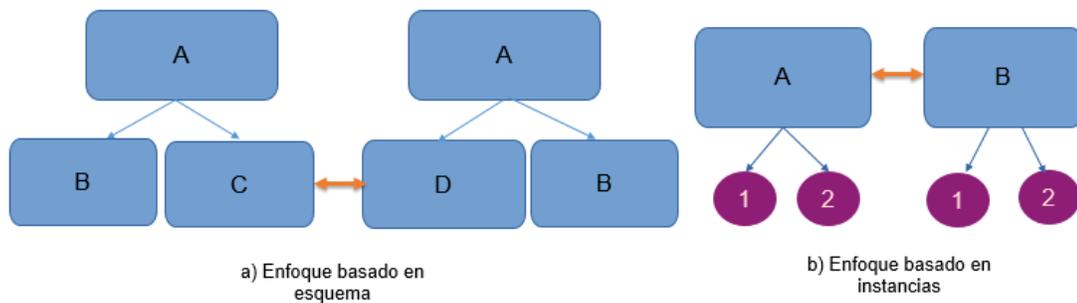


Figura 2.6: Enfoques del operador de empate.

similitud; mientras que, el enfoque basado en instancias considera las instancias pertenecientes a diferentes clases para descubrir la similitud, es decir, si dos clases tienen las mismas instancias se consideran similares (De Bruijn y cols., 2006).

Para evaluar los resultados obtenidos mediante la aplicación de la alineación de ontologías, se enfocan en utilizar la validación basada en usuario, ya que es necesario que los usuarios estén familiarizados con la representación formal de las ontologías involucradas para validar si los resultados no tienen contradicciones o algún otro error de diseño (Dragisic y cols., 2016). En (Harrow y cols., 2017) recomiendan utilizar algunas medidas como precisión (*precision*), recuerdo (*recall*) y *F-measure*, o los enfoques *Gold* y *Silver Standard* para reforzar la evaluación.

### 2.5.3. Incompatibilidades de la integración de ontologías

Las tareas del mapeo y alineación de ontologías están enfocadas a trabajar con ontologías que comparten el mismo dominio, por lo que se engloban en el término de integración de ontologías. Sin embargo, a pesar de compartir dominio, es necesario considerar que al tratar de integrar dos o más ontologías pueden existir incompatibilidades relacionadas con el diseño de las mismas (De Bruijn y cols., 2006), como se muestra en la Figura 2.7.

### 2.5.4. Redes de ontologías

A diferencia de las tareas de integración de ontologías, las redes de ontologías involucran a ontologías de diferentes dominios, y puede definirse como una colección de ontologías relacionadas por metarrelaciones que indican la dependencia entre ellas (Suarez-Figueroa y cols., 2012). Específicamente, el diseño de redes de ontologías hace referencia a crear metarrelaciones entre entidades ontológicas, siendo este el proceso

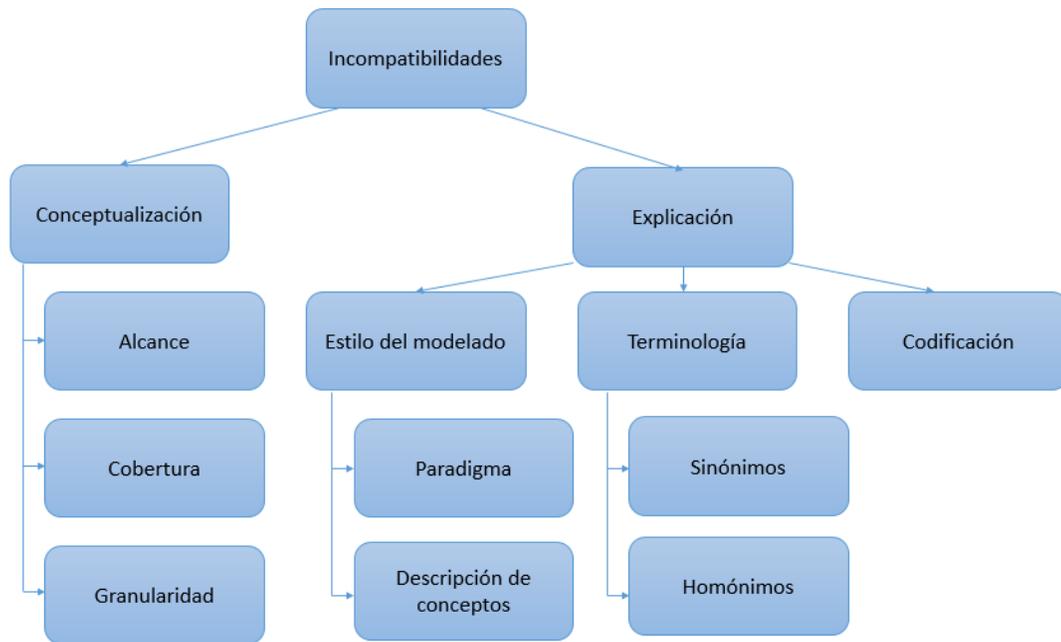


Figura 2.7: Incompatibilidades en la integración de ontologías.

inverso a la modularización de ontologías, la cual busca crear módulos que funcionen como entidades ontológicas por sí mismos. Las metarrelaciones en las redes de ontologías (por ejemplo: versión, inclusión, inconsistencia, similitud, entre otras) son definidas a partir de la participación de las ontologías usadas en la red (Savić, Ivanović, y Jain, 2018) y son independientes de los dominios representados en las ontologías (Romero, 2015). Una de las principales características de las redes de ontologías es la forma de razonamiento dentro de ellas, ya que las definiciones deben propiciar un razonamiento donde la colección de ontologías genere conocimiento en conjunto sin modificar los componentes de ninguna de las ontologías participantes. Esto permite conservar la integridad, debido a que cada ontología representa un dominio en particular y ha sido previamente evaluada de forma independiente.

Un ejemplo de una red de ontologías es presentada en (Poveda-Villalón y cols., 2010), donde la representación usa triángulos para indicar las ontologías involucradas; la Figura 2.8 resalta el uso de las metarrelaciones *ubicadoEn*, *consisteEn*, entre otras; las cuales definen la manera en que las ontologías utilizadas están relacionadas dentro de la red y no pertenecen a ninguna de ellas.

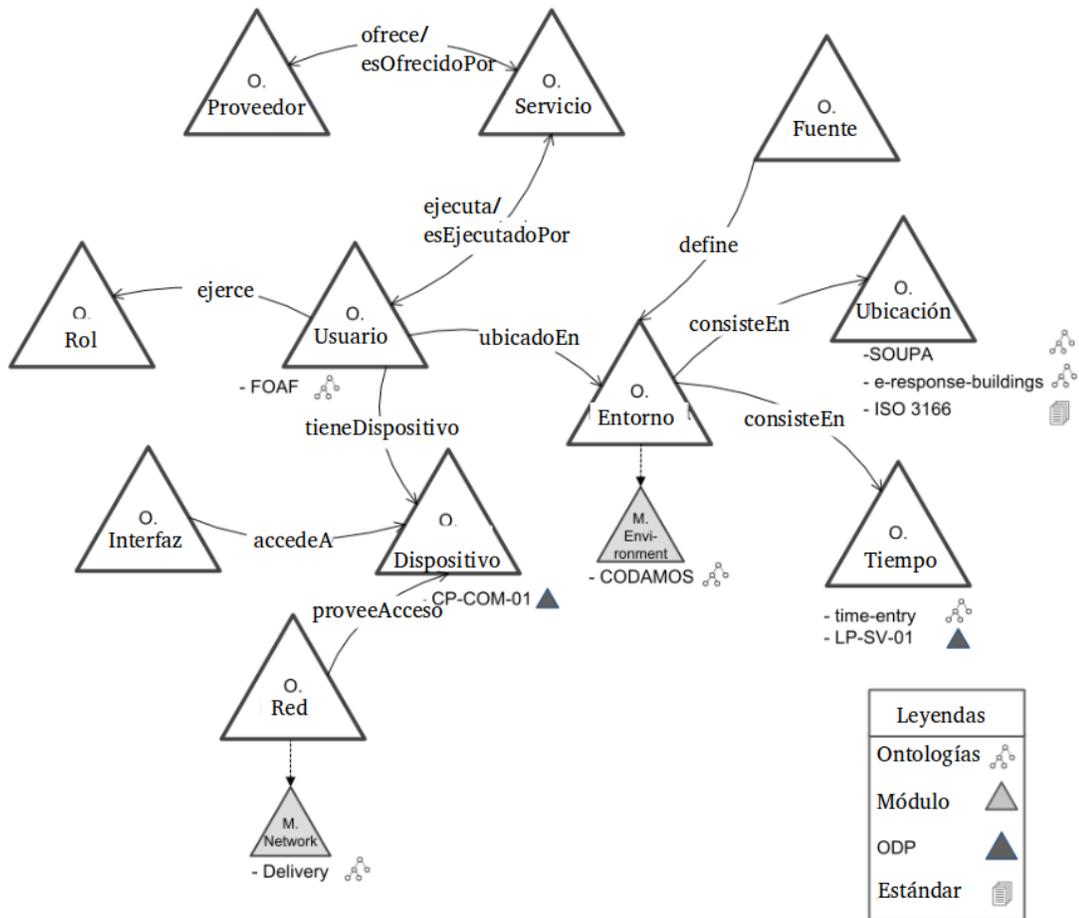


Figura 2.8: Ejemplo de una red de ontologías (Poveda-Villalón y cols., 2010).

---

## Estado del arte

---

En este capítulo contiene trabajos relacionados con la representación de la información y el conocimiento del área médica por medio de bases del conocimiento y ontologías. También, se relatan los trabajos relacionados específicamente al uso de estas representaciones respecto al diagnóstico, educación y recomendaciones para la DM, incluyendo una tabla comparativa que resalta las características de los trabajos revisados respecto a la propuesta planteada en este trabajo de investigación. Otro tema abordado en el estado del arte es la reutilización de ontologías en las redes de ontologías existentes dentro de la literatura para culminar con una mención de las características de las metodologías de diseño existentes.

### 3.1. Bases de conocimiento en el área médica

En esta sección contiene la descripción de algunos trabajos relacionados específicamente a la representación del conocimiento acerca de la DM por medio de bases de conocimiento y sistemas expertos.

Jonghwan Hyeon et al. (Hyeon y cols., 2016) proponen una base de conocimiento orientada al área médica a partir de comentarios y usando reglas *Ripple-Down Rules*, las cuales generan un árbol de decisión de  $n$ -ramas; las pruebas se realizaron a partir de un banco de comentarios acerca de resultados de exámenes médicos de 18 categorías (anemia, riñón, tumor, entre otros). Existe un sistema propuesto para la construcción de bases del conocimiento en el área médica, el cual consta de tres etapas: procesamiento

de datos, en esta etapa se extraen las entidades y las relaciones del dominio médico usando un método de segmentación jerárquica; la segunda etapa es el análisis de los datos, los cuales se asocian a reglas a través de algoritmos *Apriori* (si un elemento es infrecuente, su superconjunto debe ser infrecuente); por último la etapa de validación por medio de una plataforma enfocada a la tarea pregunta-respuesta (Lin, Wu, Wang, y Pan, 2016).

Naser et al. (Naser y ALmursheidi, 2016) desarrollaron una base de conocimiento para diagnosticar padecimientos relacionados con el cuello como: enfermedad degenerativa del disco cervical, hernia en el disco cervical, osteoartritis, entre otras; el diagnóstico se da a partir de una serie de preguntas de tipo booleano y ordenadas a manera de un árbol de decisión dentro de la base de conocimiento; el resultado del diagnóstico aconseja utilizar medicación específica, así como acudir con un médico; la evaluación se llevó a cabo por un caso de uso.

Existe una base de conocimiento acerca de enfermedades organizadas acorde a la clasificación internacional de enfermedades, la cual trata de identificar enfermedades similares entre sí para simplificar el diagnóstico médico; la similitud es calculada a través de distancias entre enfermedades respecto al último común superconcepto y por un proceso probabilístico bayesiano respecto a la frecuencia de los síntomas respecto a las enfermedades reforzando con estrategias de *Machine Learning*; los resultados son evaluados a través de un enfoque *Gold Standard* (Omura, Tateishi, y Okumura, 2015)

Cole-Lewis et al. (Cole-Lewis y cols., 2016) desarrollaron una base de conocimiento orientada a representar y generar nuevo conocimiento relacionado a la diabetes a partir de la experiencia de las personas que padecen la enfermedad, así como a las personas expertas encargadas de instruirlos; dicha base fue evaluada por medio de los criterios: precisión del dominio, completitud, relevancia y claridad.

Existe un sistema experto basado en lógica difusa para el diagnóstico de prediabetes, diabetes tipo 1, tipo 2 y gestacional a partir del conocimiento de un experto; dicho sistema contiene reglas con variables de tipo difusas y binarias como: sexo, edad, índice de masa corporal (*IMC*), hidratación, entre otras; dicho sistema se evaluó con casos de uso (Cruz-Gutiérrez y López, 2015). También existe otro sistema experto difuso basado en una ontología, el cual representa el conocimiento de médicos expertos en diabetes, por medio de reglas en SWRL y utilizando nueve factores de riesgo de la diabetes (alimentación, ejercicio, edad, entre otras) agrupados en cuatro intervalos (bajo, medio, alto y muy alto riesgo); el sistema fue evaluado mediante el criterio de consistencia a través del índice de Kappa (Mekruksavanich, 2016).

## 3.2. Ontologías en el área médica

La representación del conocimiento en el área médica es de gran utilidad, ya que permite transmitir el conocimiento adquirido de diversas fuentes como libros, artículos y experiencia, de una forma organizada y legible. Dicho conocimiento puede ser utilizado para mejorar la literatura y la enseñanza, así mismo generar nuevo conocimiento por medio de técnicas dentro de la inteligencia artificial. A continuación se presenta un conjunto de trabajos relacionados con la representación del conocimiento acerca del área médica.

SNOMED CT (Donnelly, 2006) es una ontología que contiene un estándar de terminología clínica reconocida internacionalmente. En sus inicios, su principal propósito era el de brindar un soporte estructurado para los historiales clínicos electrónicos con la finalidad de agilizar el intercambio de información entre los mismos. Actualmente, existen diversas versiones en múltiples lenguajes de la ontología, y esta misma ha integrado otros estándares internacionales como lo es IDC-10 (*International Disease Classification version 10*), entre otros. Existe otra ontología que muestra una jerarquía de clasificación de enfermedades llamada DO (*Disease Ontology*) (Schriml y cols., 2012), donde el propósito es proponer una estructura base que se preste a la múltiple referencia de terminologías médicas provenientes de otros recursos como lo son: MeSH, ICD-10, NCI's thesaurus, SNOMED CT y OMIM disease-specific.

Se ha propuesto el uso de una ontología para integrar información médica de forma heterogénea con la finalidad de crear un repositorio utilizando un algoritmo de detección de similitud; para la creación de la ontología principal, fue necesario mapear características de ontologías ya conocidas para ampliar el dominio (Ren y cols., 2018). También existe una extensión de la ontología HPO, en la cual se le agregan sinónimos y traducciones de los diversos términos como anotaciones, y su publicación en un sitio web (Köhler y cols., 2018).

Existe un prototipo orientado a dispositivos móviles, el cual por medio de sensores, monitorea pacientes médicos con la finalidad de proveer información acerca de su estado físico y de salud; para esto se implementó una ontología que extrae información explícita relacionada a los pacientes por medio del razonador Pellet, este último también se utiliza para evaluar la ontología respecto a la consistencia e integridad (Khozouie, Fotouhi-Ghazvini, y Minaei-Bidgoli, 2017). También se ha desarrollado un sistema para otorgar recomendaciones de salud y alertas personalizadas acerca de enfermedades crónicas como diabetes, hipertensión y asma, para esto, se recolectó información en la red social Twitter acerca la polaridad de los tweets con la finalidad de obtener características distintivas para la presentación de la información a los pacientes y repositorios que contienen bases de conocimiento y ontologías acerca de las enfermedades;

las alertas proporcionadas por el sistema son personalizadas y toman en consideración parámetros como niveles de glucosa, peso, pulso, entre otras (Apolinario y cols., 2018).

Otra aplicación de las ontologías para representar la información almacenada en los historiales médicos acerca de diversos padecimientos, es presentada en (Martínez-Costa, Karlsson, y Schulz, 2014); esta ontología está formada a partir de patrones semánticos obtenidos a partir de cuestionarios personalizados acerca de las enfermedades, así como de la propia estructura de los historiales; la terminología de la ontología fue tomada del estándar SNOMED CT, el cual es utilizado internacionalmente.

En la Tabla 3.1 se hace una descripción resumida de la participación de las ontologías en el área médica.

Tabla 3.1: Ontologías en el área médica.

<b>Cita</b>	<b>Dominio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observación</b>
(Donnelly, 2006)	Enfermedades, Medicamentos, Contexto demográfico, entre otros	Terminología clínica internacionalmente reconocida	Difícil acceso a las versiones multilingües, Alta demanda de rendimiento computacional
(Khozouie y cols., 2017)	Monitoreo de pacientes	Destaca el uso de sensores para el constante monitoreo de la salud física de los pacientes	Trabaja con el razonador Pellet
(Martínez-Costa y cols., 2014)	Manejo de historiales clínicos	Plantea el manejo de historiales clínicos por medio de la recuperación de información de cuestionarios personalizados.	Uso de terminología de SNOMED CT
(Schriml y cols., 2012)	Enfermedades	Jerarquía de clasificación de enfermedades	Uso de referencias cruzadas de otros vocabularios del mismo dominio

### 3.2.1. Ontologías y medicamentos

En la parte del dominio enfocada a los fármacos, hay ontologías para representar los fármacos acordes a su acción, su vía de administración, entre otros aspectos como parte de una ontología de soporte para la toma de decisiones en el diagnóstico médico (Bravo y cols., 2019). Existen trabajos específicamente dedicados a la identificación automática de eventos relacionados con efectos adversos causados por los fármacos en historiales médicos a través de la definición de la relación semántica *CausadaPor*; para lograr esto se utilizó un corpus manualmente etiquetado por expertos del dominio y se desarrollaron patrones lingüísticos considerando entidades nombradas (Casillas, Pérez, Oronoz, Gojenola, y Santiso, 2016). Dentro de este tenor, existe la integración por medio de mapeo de ontologías de principios activos y de comportamiento de los alimentos para determinar las interacciones entre ambos elementos (Spyrou y Lange, 2016). Otra ontología formada a partir de la reutilización de ontologías, específicamente por medio del mapeo es *OMCR (Ontology of Chinese Medicine for Rheumatism)* (Liu, Wang, Zhu, y He, 2017), en la cual se representa el conocimiento de la medicina tradicional china utilizada para el tratamiento del reumatismo por medio de las interacciones de entidades químicas representadas en la ontología *ChEBI (Chemical Entities of Biological Interest)* (de Matos y cols., 2010). En (Herrero-Zazo y cols., 2013) se presenta una ontología llamada DINTO, la cual está enfocada a representar las interacciones entre medicamentos. Esta ontología fue diseñada a partir de recursos lingüísticos para etiquetar corpus e identificación de palabras clave, siguiendo la metodología de diseño Methontology (Fernández-López y cols., 1997). Para su evaluación, se utilizaron escenarios de uso y la resolución de preguntas de competencia.

### 3.2.2. Ontologías y diabetes

En esta sección contiene la descripción de algunos trabajos relacionados específicamente a la representación del conocimiento acerca de la DM por medio de ontologías.

Existe una ontología acerca de la diabetes mellitus tipo 2 (DMT2), la cual contiene información desde el diagnóstico a partir de perfiles de pacientes, considerando datos personales como talla y antecedentes familiares, hasta los planes de vida personalizados que incluyen alimentación y actividad física; para la construcción de la ontología se aplicaron técnicas de *Ontology Matching* para integrar diversas ontologías respecto a medicina, medicamentos, alimentos y fenotipos entre otros; para brindar un diagnóstico se utilizaron axiomas y funciones internas; por último, esta ontología fue evaluada principalmente con casos de uso (El-Sappagh y cols., 2018). Dentro de este tenor, se propone un sistema de soporte para la toma de decisiones enfocado al control de la DMT2 basado en una ontología difusa donde se consideraron los siguientes datos:

demografía, estudios de laboratorio de diabetes, perfil hematológico, sintomatología, estudios de laboratorio acerca de las funciones renales, perfil lipídico, marcadores tumorales, análisis de orina, pruebas de funciones hepáticas, entre otros; para poblar dicha ontología se utilizaron 60 historiales médicos reales (El-Sappagh y Elmogy, 2016).

También, se ha diseñado un modelo para enriquecer la educación de los pacientes con diabetes acerca de su tratamiento, brindando un seguimiento personalizado por medio de reglas. Para esto se cuenta con cuatro ontologías que dan soporte, las cuales son: paciente, condiciones médicas (incluye síntomas, tratamiento y complicaciones), actividad y contenido educacional; para la evaluación de este modelo, se consideraron los criterios de exactitud y consistencia usando el razonador Pellet (Quinn, Bond, y Nugent, 2018).

Se construyó una ontología de fenotipos de DMT2 para dar soporte a la integración de diversos modelos ontológicos con la finalidad de ayudar a crear un sistema completo que apoye a clasificar registros médicos electrónicos de pacientes y proveer conocimiento inferido acerca de la enfermedad; entre los modelos se encuentran cuidados crónicos, procedimientos médicos y farmacéuticos, factores de riesgo y antecedentes familiares (Liaw y cols., 2014).

Se presenta una ontología específica acerca de la diabetes tipo 2, sus etapas y sus fenotipos asociados a partir de estructuras ontológicas ya diseñadas; la identificación de los fenotipos es a través de minería de texto por medio de técnicas basadas en la frecuencia de los términos (TF-IDF) y usando el corpus de PUBMED en su versión europea; durante el proceso de construcción de la ontología, se aplicó la validación de la información por expertos en diabetes (Vasant y cols., 2015).

Yu et al. (H. Yu, Liaw, Taggart, y Khorzoughi, 2013) proponen el diseño de un sistema ontológico que permita identificar personas que padezcan diabetes tipo 2 a partir de registros médicos electrónicos almacenados en una base de datos, a través de una serie de consultas en el lenguaje SPARQL; para lograr el objetivo, se plantea que una vez implementada la ontología acerca de la diabetes, se realicen consultas a la base de datos y el resultado pueda ser mapeado en un ABox dentro de la ontología; posteriormente el razonador apoyado de las consultas en SPARQL podrá ir clasificando la información.

Sherimon et al. (Sherimon y Krishnan, 2016) desarrollaron una ontología acerca de la diabetes llamada *OntoDiabetic*, la cual está enfocada dar soporte a las decisiones clínicas para identificar si un paciente puede ser diabético a partir de la evaluación de factores de riesgo mediante el uso de reglas; dicha ontología está formada a partir de cuatro ontologías, las cuales contienen la siguiente información: registros médicos de los pacientes, un cuestionario personalizado, respuestas del cuestionario por paciente y análisis clínicos; la ontología fue evaluada por medio de los criterios funcionalidad, confiabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad. También existe una ontología

para proponer el grado de padecer diabetes mellitus tipo 1 (DMT1), DMT2, prediabetes y gestacional, a partir de cinco características principales (edad paciente, estado del paciente, síntomas, factor de riesgo y análisis de laboratorio) representadas por clases y atributos, los cuales son asociados por medio de reglas SWRL (Alharbi, Berri, y El-Masri, 2015).

Existe una ontología con la finalidad de identificar complicaciones en adultos que padecen diabetes utilizando sus historiales médicos; se busca que dichas complicaciones sean expresadas mediante reglas y así, determinar si el paciente tiene un alto o bajo grado de riesgo de padecer una complicación en específico; la ontología fue evaluada bajo el criterio de consistencia usando los razonadores FaCT++ y HermiT (Daghistani, Al Shammari, y Razzak, 2015).

El-Sappagh et al. (El-Sappagh, Elmogy, y Riad, 2015) proponen un sistema de conocimiento intensivo a partir de casos basados en razonamiento, el cual tiene una ontología difusa para representar conocimiento acerca de la diabetes tipo 2, con la finalidad de dar solución a problemas asociados al diagnóstico de dicha enfermedad; las variables involucradas en el diagnóstico de la diabetes fueron tomadas a partir de historiales médicos, las cuales son: edad, análisis de laboratorios, género, ocupación, entre otras; para la evaluación, el rendimiento del sistema fue comparado con clasificadores basados en *Machine Learning* como Naïve Bayes, *Support Vector Machine*, entre otros. Otro trabajo relacionado a este tipo de sistemas se presenta en (El-Sappagh y Elmogy, 2017), donde una ontología difusa para el diagnóstico de la diabetes en OWL2 es utilizada como case base; la ontología contiene información acerca de demografía, análisis de laboratorio, marcadores tumorales, síntomas, entre otros, los cuales fueron tomados de una base de datos de historiales médicos; la ontología fue evaluada por los criterios: completitud, abstracción, cohesión, conceptualización, complejidad y comprensión.

Galopin et al. (Galopin, Bouaud, Pereira, y Séroussi, 2015) proponen un sistema de soporte de decisiones clínicas basado en una ontología, la cual representa el conocimiento plasmado en la literatura acerca del cuidado de pacientes que sufren de diabetes e hipertensión, apoyándose de una base de conocimiento que contiene reglas semánticas.

También existe un sistema que determina la condición de un paciente diabético a partir de información difusa proveniente de sensores con la finalidad de recomendar alimentos y medicamentos usando el Internet de las cosas; dicho sistema está basado en una ontología que contiene información de pacientes, cuidados físicos, resultados de análisis de laboratorio, comida, medicamentos, entre otros; y se encarga de asistir la toma de decisiones a partir de reglas SWRL tanto para determinar la condición de un paciente, así como realizar recomendaciones a partir de esta; para la evaluación de este sistema se utilizaron métricas como *Recall*, *Precision*, *Accuracy* y *F-Measure* (Ali y cols., 2018).

Nachabe et al. (Nachabe, Girod-Genet, El Hassan, y Al Mouhammad, 2018) presentan una ontología que contiene información acerca de alimentación, actividades físicas y síntomas en pacientes diabéticos con la finalidad de monitorearlos y asistirlos durante una crisis médica; la ontología está compuesto por seis ontologías, las cuales contienen información acerca de: perfil de pacientes diabéticos, signos vitales en diabéticos, actividad diaria, alimentación, medicamentos y síntomas; dichas ontologías se relacionan a través de reglas SWRL y fueron evaluadas por medio de escenarios y consistencia por medio del razonador *Pellet*.

A manera de resaltar la participación del área computacional respecto a la DM, la siguiente tabla (ver Tabla 3.2) compara las características principales de este trabajo de investigación con relación a las características encontradas en la literatura revisada, considerando los factores más importantes para la tarea del diagnóstico médico de la diabetes. Cabe resaltar, que existen otras características menos comunes utilizadas para el mismo propósito de representar el conocimiento de la DM son: Actividad física (Nachabe y cols., 2018), Demografía (Elhefny, Elmogy, Elfetouh, y Badria, 2016) (El-Sappagh y cols., 2015), Exploración física (Signos vitales incluidos) (Chen y cols., 2019) (Nachabe y cols., 2018) y Genes (Chen y cols., 2019).

En la Tabla 3.3 se muestran algunos casos de ontologías que están enfocadas a la tarea de diagnóstico de la diabetes. Un caso de uso de las ontologías, además de involucrar tareas de diagnóstico, involucran el plan de vida y complicaciones posibles de un paciente, para lo cual se describen algunos ejemplos en la tabla 3.4.

Tabla 3.2: Comparación de trabajos relacionados.

Autores	DT1	DT2	AF	DP	Tt	RDE	RI	Observaciones	Evaluación utilizada
(Vasant y cols., 2015)	No	Si	No	No	No	Si	No	Ontología sobre la diabetes limitándose a contener sólo clases y propiedades provenientes de otras ontologías.	Validación por expertos en diabetes.
(Ali y cols., 2018)	No	Si	No	Si	Si	No	Si	Sugiere medicación y alimentos de pacientes diabéticos a partir de su condición médica.	<i>Recall, Precision, Accuracy y F-Measure.</i>
(Nachabe y cols., 2018)	Si	Si	No	Si	Si	No	Si	Tiene la finalidad de informar acerca de los estilo de vida de un paciente diabético, discriminando el diagnóstico de la enfermedad.	Uso de escenarios y consistencia a través de <i>Pellet</i> .
(Galopin y cols., 2015)	No	Si	No	No	Si	Si	Si	Representa conocimiento asociado al cuidado de pacientes diabéticos, por lo que no incluye ningún tipo de diagnóstico.	No especifica.
(Daghistani y cols., 2015)	No	Si	No	Si	No	Si	Si	Propone el grado de padecer complicaciones a partir de valores relacionados con exámenes de laboratorio, edad, grado de obesidad entre otros.	Consistencia usando FaCT++ y Hermit.
(El-Sappagh y cols., 2018)	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No incluye tratamientos basados en insulina ni sus consecuencias	Validación y Verificación.

(El-Sappagh y cols., 2015)	No	Si	No	Si	No	Si	No	Este sistema parte de variables para determinar de forma difusa si un paciente sufre diabetes o el riesgo de padecerla.	Comparación de rendimiento respecto a clasificados basados en <i>Machine Learning</i> .
(Sherimon y Krishnan, 2016)	No	Si	No	Si	No	Si	Si	Esta ontología propone el grado de padecer diabetes y sólo incluye padecimientos cardíacos como consecuencia de la misma.	Funcionalidad, confiabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad.
(Mekruksavanich, 2016)	No	Si	No	Si	No	No	Si	Este sistema está limitado a proponer un grado de propensión de padecer diabetes.	Consistencia (índice de Kappa).
(Cruz-Gutiérrez y López, 2015)	Si	Si	No	Si	No	No	Si	Este sistema está limitado a trabajar sólo con signos que se presenta en una persona en un momento en específico, sin considerar su historial médico.	Casos de uso.
(H. Yu y cols., 2013)	No	Si	No	Si	No	No	Si	Esta propuesta está limitada a trabajar sólo con expedientes, por lo que está incompleta al no contar con conocimiento proveniente de un médico especialista	No especifica.

(El-Sappagh y Elmogy, 2017)	No	Si	Si	Si	No	Si	Si	La relación de la diabetes con otras enfermedades sólo se utiliza para el diagnóstico de la diabetes, no para sugerir un padecimiento a futuro	Compleitud, abstracción, cohesión, conceptualización, complejidad y comprensión.
(Quinn y cols., 2018)	No	Si	No	Si	Si	Si	Si	Este modelo no brinda un diagnóstico de posibles enfermedades, sólo brinda información educacional ya establecida.	Exactitud y consistencia
(Liaw y cols., 2014)	No	Si	Si	Si	Si	No	No	Este modelo sólo está diseñado para clasificar expedientes a partir de información estructurada por lo que está imposibilitado para dar un diagnóstico.	No especifica
(Alharbi y cols., 2015)	Si	Si	No	Si	No	No	Si	Esta ontología propone el grado de padecer diferentes tipos de DM a partir de características específicas presentadas en un momento determinado en un paciente.	No especifica.

Tabla 3.3: Ontologías de diagnóstico.

<b>Cita</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>	<b>Recursos utilizados</b>	<b>Evaluación</b>
(Alharbi y cols., 2015)	Ontología que propone el grado de padecer diferentes tipos de diabetes a partir de características específicas presentadas en un momento determinado en un paciente.	Incluye los tipos de diabetes más comunes	Existen valores predeterminado para los factores de riesgo para determinar el diagnóstico.	Historiales médicos, guías de cuidado del diabético	No específica.
(El-Sappagh y Elmogy, 2016)	Ontología que propone el grado de padecer DMT2 a partir de los resultados de diversos análisis de laboratorio	Los valores de los resultados de los análisis de laboratorio están delimitados en rango difusos.	La relación de la DMT2 con otras enfermedades sólo se usan para el diagnóstico de la misma, no para sugerir un padecimiento a futuro.	Historiales médicos	Criterios de evaluación.

(El-Sappagh y cols., 2018)	Ontología que propone el grado de padecer DMT2 considerando diversos factores.	Utilizan expertos en diabetes para obtener conocimiento.	No incluyen tratamientos basados en insulina. Sólo consideran padecimientos cardíacos como consecuencia de la DMT2.	Historiales médicos y expertos.	Validación y verificación.
----------------------------	--	--	---	---------------------------------	----------------------------

Tabla 3.4: Ontologías de cuidados del paciente diabético.

<b>Cita</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>	<b>Recursos utilizados</b>	<b>Evaluación</b>
(Daghistani y cols., 2015)	Ontología para identificar complicaciones de la diabetes tipo 2 utilizando, historiales médicos de los pacientes y uso de reglas para así determinar un grado de riesgo de padecer una complicación.	Las reglas consideran la combinación de la diabetes con otras enfermedades.	El factor de riesgo de padecer alguna complicación sólo está limitado a los valores alto o bajo.	Historiales médicos	Criterio de consistencia.

(Sherimon y Krishnan, 2016)	Ontología para modelar estilos de vida de los pacientes diabéticos para determinar posibles factores de riesgo y tratamientos médicos.	Contiene formularios personalizados para extraer la información de los pacientes.	Los factores de riesgo considerados son pocos y muy generales.	Información de pacientes proporcionada por dichos pacientes.	Criterios de evaluación.
(Nachabe y cols., 2018)	Ontología acerca de alimentación, actividades físicas y síntomas en pacientes diabéticos con la finalidad de monitorear sus signos y asistirlos durante una crisis médica.	Considera la alteración de los signos vitales y aportaciones nutricionales.	Las complicaciones involucradas son muy generales y están solamente asociadas a los niveles de glucosa en la sangre.	Historiales médicos.	Criterios de evaluación.

### 3.3. Reutilización de ontologías

Zulkarnain et al. (Zulkarnain y cols., 2016) proponen una metodología para la reutilización de ontologías dentro del área médica, dicha metodología está enfocada en usar uno o más módulos ontológicos a través de la extracción de términos, la recomendación de ontologías y el mapeo; para la evaluación de la ontología resultante está basada en los recursos provenientes del dominio. Pinto et al. (Pinto y Martins, 2000) desarrollaron otra metodología para reutilizar ontologías mediante un enfoque de integración, donde las ontologías candidatas para esta tarea deben ser compatibles con los requerimientos del dominio de acuerdo a las partes del conocimiento que fueron cambiadas o removidas. Finalmente en la última etapa, la estructura de la ontología es construida de forma completa o parcial mediante la integración.

Finke et al. (Finke y cols., 2019) proponen la unión de tres ontologías, pertenecientes al dominio médico por medio del mapeo de ontologías, las cuales representan información acerca de las enfermedades DO (Schriml y cols., 2012), los fenotipos humanos (*Human Phenotype Ontology*, HPO) y de radiología (*Radiology Gamuts Ontology*, RGO); para esto, se buscaron elementos que fueran sinónimos y las cadenas de texto más largas entre las principales clases RGO respecto de DO y HPO; en el caso del mapeo de relaciones se identificaron tres tipos: equivalencia (*sameAs*), subsunción (*subsumption*) y causalidad (*mayCause*), con la finalidad de integrar un esquema de relación partiendo de elementos provenientes en el siguiente orden DO-RGO-HPO. Dragisic et al. (Dragisic y cols., 2016) proponen evaluar los resultados de la alineación de ontologías a través del enfoque validación por el usuario; para esto, se considera tres aspectos principales: perfil del usuario (familiaridad con el dominio y los elementos del conocimiento representado), los servicios brindados por el sistema final, y la interfaz del usuario (explicación de los resultados).

### 3.4. Redes de ontologías

En (Romero, 2015) se desarrolló una red de ontologías para describir el dominio de la evaluación pedagógica y la generación semi-automática de herramientas de evaluación mediante el uso de otras ontologías de evaluación. Poveda-Villalón et al. (Poveda-Villalón y cols., 2010) construyeron una red de ontologías para entornos móviles (mIO) usando los escenarios 2,3,7,8 y 9 de la metodología NeOn (Suárez-Figueroa y cols., 2012); para esto, se reutilizan algunas ontologías para crear módulos como tiempo, locación, usuario, entre otros; los módulos son conectados mediante relaciones semánticas extraídas de lenguaje natural expresado en texto, el cual describe los casos de uso.

Campos et al. (Campos y cols., 2018) desarrollaron los primeros pasos de una metodología para la construcción de una red de ontologías que represente conocimiento acerca de la calidad de las condiciones de los ambientes (*Environmental Quality Research*), específicamente abordando el dominio de la calidad del agua en la ciudad de Mariana en Brasil; todo esto a partir de la identificación de conceptos relevantes del dominio y los recursos ontológicos existentes del mismo. Una vez recabada la información, se identifican los elementos en común de las ontologías existentes con el fin de definir los módulos participantes para el resultado final y así como los cambios de formas ontológicas a las más convenientes según el propósito de la red y la cobertura del dominio.

En (Corcho y cols., 2021) se ha utilizado la metodología NeOn para construir una red de ontologías enfocada en representar el dominio de proveedores y servicios de tecnología informática. Esta red parte de una ontología central (Core), la cual contiene información generalizada del dominio que a su vez representa el punto de convergencia de la información. El resto de las ontologías utilizadas son específicas sobre un dominio participante de la red y la conexión entre ellas y la ontología central se realiza por medio de tareas de mapeo. En (Sila, Belo, y Barros, 2018) también utilizan la metodología NeOn para diseñar una red de ontologías para la evaluación de la educación superior en Brasil, con la finalidad de utilizar recursos ontológicos en la integración de ontologías existentes, así como el diseño de nuevas ontologías mediante recursos no ontológicas utilizando el escenario 2 de la metodología, el cual sugiere el uso de la metodología de diseño de ontologías Methontology (Fernández-López y cols., 1997).

En (Santos y cols., 2018) se crea una red de ontologías para homologar datos acerca de crímenes, el diseño está basado en los mapeos de ontologías utilizando modelos conceptuales. El proceso de diseño se realiza por medio de las etapas: elicitación de requerimientos de integración, donde se establece el propósito de la red por medio del diseño de un escenario; análisis de la integración, donde se asocian los modelos conceptuales que interactuarán con las ontologías por medio de mapeos; diseño de la integración;

implementación; pruebas y funcionamiento.

En la Tabla 3.5 se destacan algunas características de las redes de ontologías encontradas en la literatura con la finalidad de resaltar la aplicación en el dominio de las mismas.

Tabla 3.5: Redes de ontologías en la literatura.

Cita	Dominios involucrados	Descripción	Recursos utilizados
(Romero, 2015)	Evaluación pedagógica y generación semi-automática de herramientas de evaluación	Generación semi-automática de exámenes	Ontologías
(Poveda-Villalón y cols., 2010)	Entornos móviles, localización, usuarios, Tiempo, entre otros	Esta red de ontologías se diseña a partir del uso de algunos escenarios de la metodología NeOn	Ontologías y recursos de lenguaje natural
(Campos y cols., 2018)	Medición de las condiciones ambientales y calidad del agua	Selección de ontologías a partir del contenido de términos relevantes del dominio	Ontologías

### 3.5. Metodologías de diseño

Una de las metodologías más populares en la literatura es (Noy, McGuinness, y cols., 2001), donde se presenta una guía para la creación de ontologías desde cero. Dentro de los pasos se hace mención a la reutilización de ontologías existentes por medio de la modificación o adaptación de la ontología a reutilizar. Sin embargo, no se abunda acerca de la forma de realizar estas modificaciones, y cabe mencionar que uno de los propósitos de las redes es mantener la integridad de ontologías previamente desarrolladas, con lo cual sería contradictorio utilizar estas recomendaciones que podrían llegar a ser muy costosas. Otra metodología de diseño de ontologías popular en la literatura es Methontology (Fernández-López y cols., 1997), la cual en su etapa de integración hace mención de la reutilización de definiciones de meta-ontologías con la finalidad de facilitar la traducción de la ontología resultante, pero no hace mención de las tareas adicionales como el razonamiento que podría aportar dicha meta-ontología, o como utilizarla para incorporar mayor información semántica.

En (Yunianta y cols., 2019) se presenta la metodología de diseño de ontologías OntoDI que considera la integración de datos a través de tres etapas principales: en la primera destaca la identificación del propósito de la ontología, en la segunda la formalización, construcción y evaluación de la ontología, finalmente en la tercera hace resaltar el refinamiento de la ontología por medio de datos provenientes del dominio. Si bien esta metodología hace alusión al enriquecimiento de estructuras ontológicas por medio de recursos no ontológicos, no contiene información acerca de cómo construir una red de ontologías, ya que no especifica la interconexión de dos o más ontologías que compartan o no información.

MetROn (Trokanas y cols., 2018) es una metodología para generar ontologías que puedan ser reutilizables, tomando los criterios de modularización, convención de los nombres, anotación de detalles, coherencia y mínimos requerimientos. Si bien esta metodología tiene un conjunto de etapas donde se considera la reutilización de ontologías existentes y la creación de espacios de nombres (*Namespaces*) y puede ser útil para trabajar cada uno de los módulos que conformarían una red de ontologías, no brindan mayor información acerca de cómo trabajar cada uno de estas ontologías resultantes como una colección. Dentro de la finalidad de generar ontologías fácilmente reutilizables, en (Ungkawa y cols., 2017) se describe una metodología de diseño de ontologías desde cero enfocada al correcto diseño de la forma de pequeñas ontologías por medio de una convención de nombres para los vocabularios concluyendo en la generación de consultas normalizadas, sin embargo, esta metodología carece de información al respecto de la reutilización de otras ontologías existentes o de cómo estas ontologías resultantes pueden interactuar con otras.

En (Smirnov y cols., 2021) crearon una metodología de cuatro etapas basadas en niveles de desarrollo de ontologías globales, locales y de aspectos. La primera etapa es de nivel global acerca del propósito de la ontología. La segunda etapa es de nivel local donde se considera el desarrollo técnico de la ontología considerando la reutilización de ontologías existentes. Dichas ontologías deben ser ajustadas a las necesidades del nuevo modelo y ser nuevamente evaluadas, lo cual podría ser un problema, puesto que se podría ajustar una ontología para que cumpla con las necesidades y contener inconsistencias en las definiciones originales, deformando así todo el modelo. La tercera etapa es de nivel de aspectos, ya que se enfoca en la conexión de fragmentos ontológicos resultantes de la etapa 2 por medio de la alineación de ontologías. Finalmente, la etapa 4 de nivel global está enfocada en la formalización de la ontología resultante por medio de herramientas.

A diferencia de las metodologías de diseño presentadas anteriormente, NeOn (Suárez-Figueroa y cols., 2012) es una metodología para el diseño de redes de ontologías, la cual consta de un conjunto de escenarios definidos acorde a la disponibilidad de los recursos con los cuales se construirá la red (ver Figura 3.1). Por ejemplo, en el caso de los

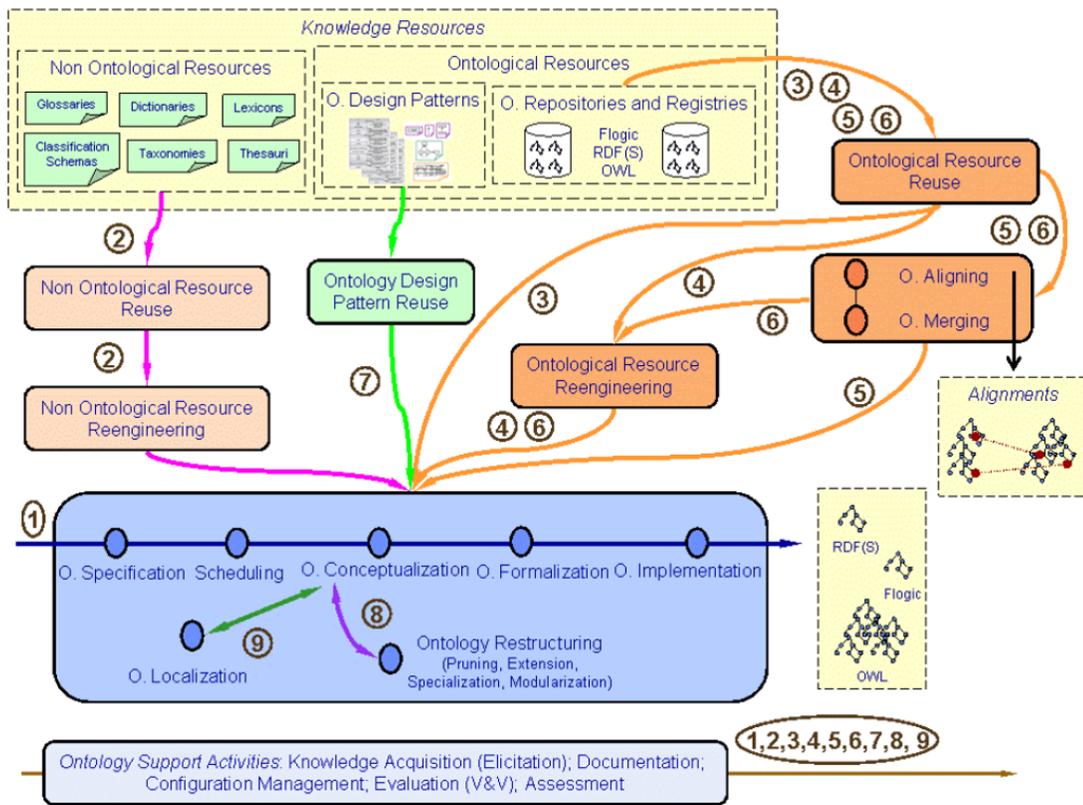


Figura 3.1: Metodología NeOn (Poveda-Villalón y cols., 2010).

recursos no ontológicos se orienta al desarrollador a la construcción de nuevas ontologías usando la metodología Methontology (Fernández-López y cols., 1997), mientras que para los recursos ontológicos se presentan opciones de reutilización por medio de alineación o fusión resultando en nuevas ontologías. Adicionalmente, la metodología hace referencia al uso de patrones de diseño ontológico para reutilizar definiciones semánticas sin necesidad de integrar un modelo adicional. En la Tabla 3.6 se observa una descripción general de cada uno de los escenarios de la metodología NeOn y su equivalencia respecto a la metodología desarrollada en este trabajo.

Tabla 3.6: Comparativa de la metodología NeOn con la metodología propuesta

Escenario de NeOn	Descripción	Ventajas	Desventajas	Equivalencia en la red
-------------------	-------------	----------	-------------	------------------------

Escenario 1: desde la especificación hasta la implementación	Creación de ontologías desde cero sin reutilizar recursos partiendo de la identificación de requerimientos y de la planeación de actividades	Este escenario es muy útil para cuando los requerimientos son pocos y se cuentan con los recursos de información acerca del dominio necesarios	Para la construcción de redes de ontologías donde participan gran cantidad de dominios, el diseño de ontologías desde cero puede volverse un proceso muy costoso	Creación de nuevas ontologías desde cero
Escenario 2: Reutilización y reingeniería de recursos no ontológicos	Selección de recursos no ontológicos para el rediseño de ontologías	Considera el uso de recursos no ontológicos a través de 12 patrones ya definidos para la transformación de información enfocada a la estructura del TBox y del ABox	Este escenario motiva a sólo crear nuevas ontologías a partir de información que contiene meta-datos como tesauros o lexicones, discriminando otro tipo de información	Se considera el uso de recursos no ontológicos ni estructurados para distintos fines como diseño, poblado o enriquecimiento de ontologías o a nivel de la red
Escenario 3: Reutilización de recursos ontológicos	Reutilización de ontologías de forma parcial o completa	Considera reutilizar ontologías generales (ontologías que no son de un dominio en específico) como tiempo y espacio	Ninguno	En la reutilización de ontologías se considera las ontologías de dominio y las generales

Escenario 4: Reutilización y reingeniería de recursos ontológicos	Rediseño de recursos ontológicos	El rediseño de ontologías permite modificar una ontología para acoplarse a las necesidades de la red	Se necesitaría realizar una evaluación para cada ontología rediseñada con la finalidad de garantizar que sigan siendo correctas las definiciones	Solo se considera la reutilización de ontologías sin modificar la estructura original
Escenario 5: Reutilización y fusión de recursos ontológicos	Creación de nuevos recursos ontológicos a partir de la reutilización	Propone la alineación de dos ontologías a partir del matching de elementos	Actualmente existe el problema de la sinonimia en la tarea de la alineación	Se considera la fusión de ontologías
Escenario 6: Reutilización, fusión y reingeniería de recursos ontológicos	Se toma la decisión de reutilizar recursos ontológicos de manera completa o parcial permitiendo el rediseño de nuevas ontologías	Permite realizar modificaciones para ajustar las características de una ontología a las características de la red	Al tratarse de dos ontologías grandes, se necesitarían procesos automatizados de fusión.	Se considera la fusión de ontologías
Escenario 7: Reutilización de patrones de diseño de ontologías	Uso de patrones de diseño previamente establecidos	Utilizar patrones establecidos puede ser una buena guía para la construcción de definiciones de una ontología en particular	La disposición de patrones adecuados para cada ontología puede no siempre ajustarse a las características del dominio	No considerado

Escenario 8: Reestructuración de recursos ontológicos	Podado, modularización o extensión de ontologías	Tomar elementos relevantes de una ontología y despreciar el resto minimizando el costo computacional	No todas las ontologías pueden ser modularizadas sin perder la esencia de la estructura	No considerado
Escenario 9: Localización de recursos ontológicos	Adición de etiquetas de lenguaje a los elementos de la red	Propone agregar etiquetas con la terminología acorde a cierta cultura con lo cual da mayor legibilidad y reusabilidad a la red	Es un proceso costoso	Se manejan etiquetas no sólo para fortalecer el lenguaje sino más bien para dar mayor interacción con vocabularios internacionales

La revisión del estado del arte ha permitido establecer las principales decadencias de los modelos propuestos ante los requisitos de la representación de la información principalmente la utilizada por la secretaria de salud. La principal carencia es la falta de modelos desarrollados en idiomas diferentes al inglés, así como el diseño complejo de algunos que no permite su reutilización de forma parcial. En cuestión a las metodologías de diseño, pocas metodologías se enfocan en la construcción de redes de ontologías ya que no consideran la clara modularización de los modelos a construir. Otra ventaja de la metodología desarrollada en esta tesis respecto a algunas reportadas en la literatura, es el uso de recursos ontológicos y no ontológicos para el enriquecimiento de la red resultante.

---

# Metodología de diseño de redes de ontologías

---

Este capítulo presenta la metodología propuesta para el diseño de redes de ontologías del dominio médico, la cual parte desde la definición de los elementos de la red, los dominios participantes, incluyendo el alcance de la misma; posteriormente, la búsqueda y adquisición de los recursos necesarios de cada dominio, así como un conjunto de tareas de ingeniería ontológica de diseño, reutilización, poblado y evaluación de ontologías enfocadas al concepto de redes de ontologías. La metodología está compuesta por siete etapas (ver Figura 4.1), donde cada una cuenta con una serie de metas a realizar, recomendaciones para alcanzarlas y algunas herramientas de apoyo (como metodologías de diseño e integración de ontologías) que faciliten el modelado. En las secciones siguientes se describen cada una de las etapas de la metodología.

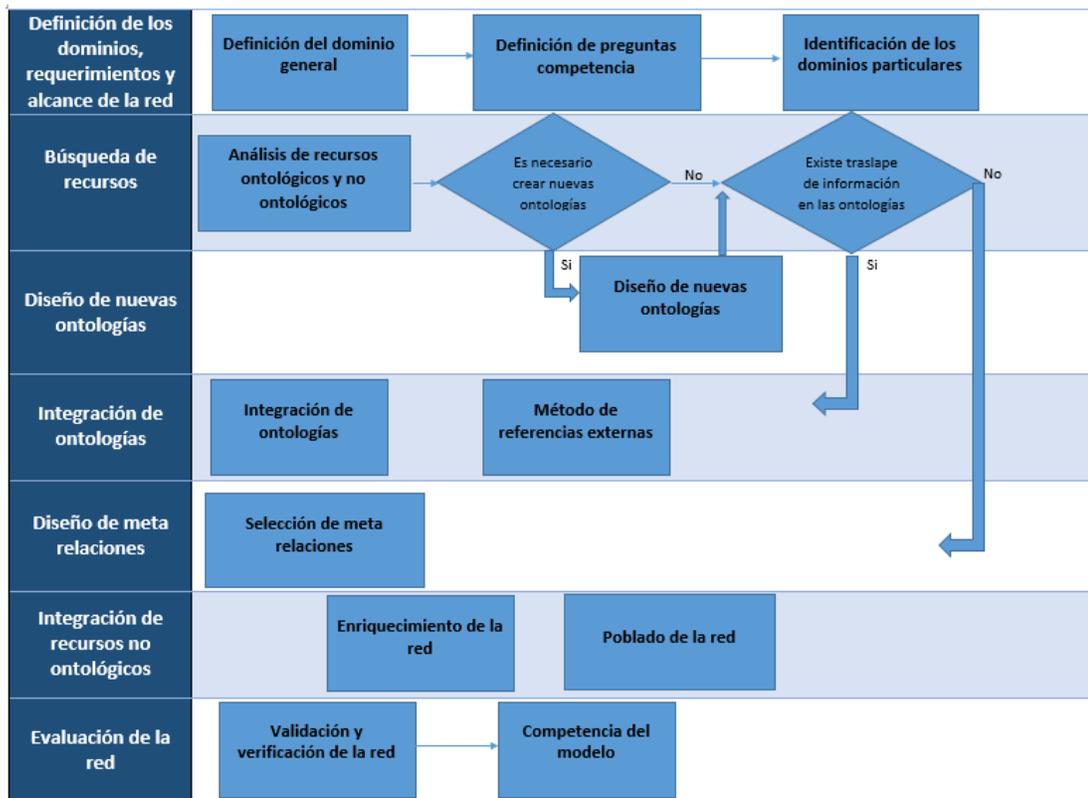


Figura 4.1: Estructura de la metodología de diseño de redes propuesta.

## 4.1. Definición de los dominios, requerimientos y alcance de la red

En esta primera etapa de la metodología, se proponen tareas de definición del dominio, de los requerimientos y del alcance de la red de ontologías, con la finalidad de identificar las tareas finales que deberá realizar la red y los recursos necesarios para llevarlas a cabo.

En (El-Sappagh y cols., 2018) plantean que para definir el dominio y los requerimientos se debe buscar la respuesta a la siguiente pregunta: *¿Qué parte del mundo real corresponde a la red de ontologías?*. A partir de la respuesta se puede visualizar los términos referentes a cada uno de los principales dominios involucrados que deberá contener la red de ontologías. Para la definición de los requerimientos de la red, se debe delimitar el alcance de cada uno de los dominios participantes, ya que esto permite que la representación ontológica resultante tenga las características necesarias y pertinentes respecto al dominio, sin abusar de definiciones que podrían consumir recursos y no ser utilizadas en la aplicación final. La estrategia para delimitar el alcance es por medio de las preguntas de competencia que podría hacer un experto a la red resultante, considerando los posibles escenarios de uso y los usuarios finales (Fernández-López y cols., 1997)(El-Sappagh y cols., 2018)(Bravo y cols., 2019). Posteriormente, se aplica la técnica de elicitación de términos a las preguntas de competencia para determinar formalmente cada uno de los dominios participantes. En la técnica de elicitación de términos se selecciona los sustantivos o pronombres que tengan relevancia utilizados en las preguntas de competencia con la finalidad de identificar los conceptos relevantes y su asociación respecto al dominio correspondiente.

## 4.2. Búsqueda de recursos

La búsqueda de recursos para el diseño de una red de ontologías en el área médica debe considerar dos tipos principales de recursos: los ontológicos y los no ontológicos. Los recursos ontológicos son aquellos modelos de representación de conocimiento, como ontologías, grafos de conocimiento, o bases de conocimiento, que ya existen en la literatura y pueden contribuir directamente a la representación de uno o más de los dominios participantes de la red, ya sea de forma total o parcial. Dichos recursos deben estar aprobados por expertos en el dominio o por especialistas en ontologías. Para la adquisición de recursos ontológicos en el área médica se puede considerar realizar búsquedas en el portal BioPortal (for Biomedical Ontology, 2005).

Para la adquisición de recursos no ontológicos se recomienda buscar y adquirir in-

formación acerca del dominio médico, que esté disponible en diversos medios como libros, sitios web, catálogos, expedientes clínicos e incluso entrevistas al personal de salud, entre otros; descartando aquella información que no aporte conocimiento de forma directa a los dominios principales que se representarán por medio de la red.

### 4.3. Diseño de nuevas ontologías

Esta etapa tiene como meta principal el utilizar recursos no ontológicos para la creación de nuevas ontologías de dominio desde cero, esto ante la ausencia de ontologías que se ajusten a los requerimientos de representación de un dominio en particular. Para alcanzar esta meta, se brinda como herramienta una metodología de diseño que está enfocada para trabajar con información de catálogos. Sin embargo, se puede seguir alguna otra metodología de diseño que sea adecuada para trabajar acorde a la naturaleza de la estructura de la información o automatizar las tareas de cada etapa. Esta metodología propuesta está enfocada para el diseño de ontologías basándose en la información planteada en catálogos asociada al área médica, y está compuesta de nueve etapas (ver Figura 4.2), las cuales se describen a continuación:

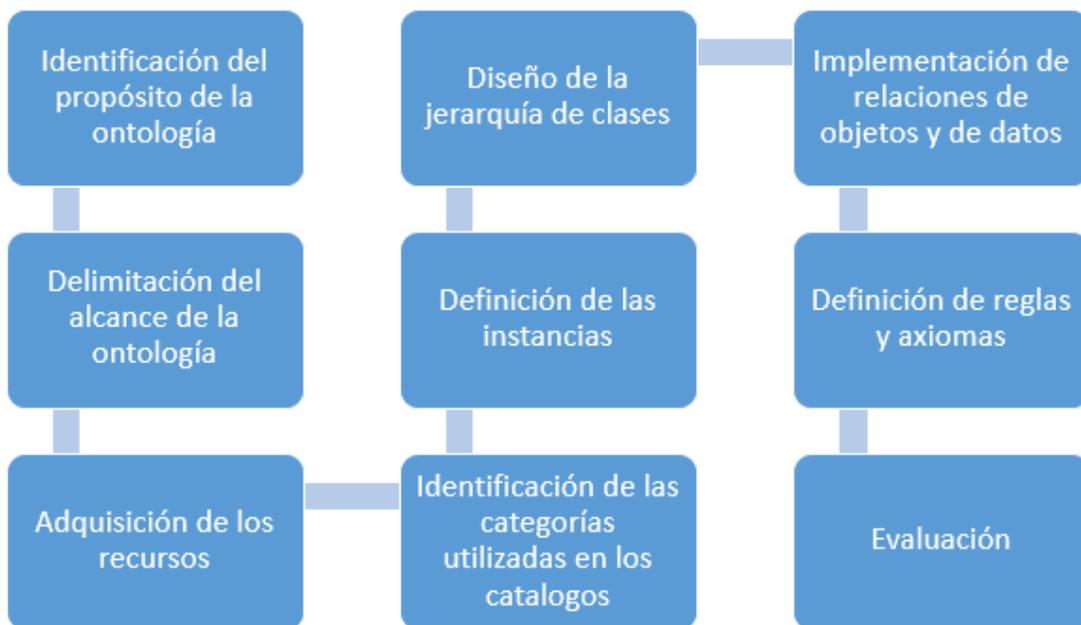


Figura 4.2: Metodología de diseño de la ontología de medicamento.

1. Identificación del propósito de la ontología: en esta etapa se debe visualizar la respuesta a la siguiente pregunta: *¿Qué tarea se desea que realice la ontología?* Para la representación de la información acerca de los medicamentos, se desea que la ontología sirva como buscador de medicamentos donde indique las características de los mismos.
2. Delimitación del alcance de la ontología: para medir el alcance de la ontología se necesita concretar el propósito de manera formal y específica para determinar que entidades se verán involucradas dentro de la ontología.
3. Adquisición de los recursos disponibles: en esta etapa se recolecta la información y conocimiento necesario para representar las entidades que se han visualizado durante la delimitación del alcance, así como de entidades intermedias que sirvan para relacionar todos los elementos.
4. Identificación de las categorías utilizadas en los catálogos: al utilizar información proveniente de catálogos es primordial identificar las categorías para la clasificación utilizadas, y definir si pueden ser utilizadas como conceptos en la ontología.
5. Definición de las instancias: definir qué elementos pueden ser caracterizados como instancias; para esto, se analiza que elementos se comportan como una unidad mínima de información y la relación que mantienen con otros.
6. Diseño de la jerarquía de clases: considerando los conceptos de la etapa anterior, así como nuevos conceptos existentes en la literatura que ayuden a complementar la jerarquía. Durante la etapa de la identificación de clases, se identificaron clases que no pertenecen a una misma taxonomía, por lo que es necesario la integración de conceptos relevantes incluidos en la etapa no. 2.
7. Implementación de relaciones de objetos y de datos: una vez identificados los objetos, se pueden definir qué elementos conviene representar como relaciones de objetos o de datos, teniendo en cuenta que las relaciones de objeto enlazan a individuos, mientras que las propiedades de dato asocian valores a los individuos.
8. Definición de reglas y axiomas: identificar si hay patrones dentro de la información que se repiten constantemente y pueden ser generalizados. Un patrón generalizado que se puede implementar dentro de la ontología Medicamento es la asociación de algunas formas farmacéuticas respecto a la vía de administración.
9. Evaluación: la cual está basada en aplicar el criterio de consistencia por medio de un razonador, así como la respuesta de las preguntas de competencia previamente establecidas, por medio de lenguajes de consultas de ontologías.

## 4.4. Integración de ontologías

Como su nombre lo dice, esta sección tiene como meta la integración de ontologías con la finalidad de generar nuevas ontologías a partir de recursos ontológicos existentes. Para esto, se debe identificar las ontologías que cumplen las necesidades de representación del dominio participante de la red y así como aquellas con las que comparten dominio o tiene coincidencias semánticas específicas de información. Para la identificación de los requerimientos de representación se deben considerar los siguientes puntos:

- La ontología cubre de forma completa los requerimientos del dominio a participante en la red y no es necesaria la modificación de esta.
- La ontología cubre de forma parcial los requerimientos del dominio participante en la red. Evaluar si el enriquecimiento de dicho modelo puede solucionar la carencia de la información.
- La ontología tiene elementos del dominio que no son necesarios para el propósito de la red. En esta consideración podría sonar atractivo el conservar información no considerada en la definición de la red, sin embargo, es necesario verificar si el tamaño del modelo es óptimo para evitar la alta demanda de recursos computacionales para el uso de la red. Si la demanda es alta, una alternativa sería aplicar algún método de modularización para mantener solamente la información relevante.
- El nivel de detalle de los pares *atributo-valor* de la información dentro de la ontología empata con las especificaciones de la red.

Una vez identificada la situación de la información se debe decidir el proceso de integración de ontologías a seguir, como lo es usar una metodología de integración de ontologías para generar una nueva ontología a partir de dos ontologías existentes, donde ambas ontologías serán importadas dentro de la red (ver Sección 4.4.1). O bien, utilizar una integración de información por medio de referencias externas para tomar vocabularios clave de una ontología respecto a los elementos de otra (ver Sección 4.4.2).

### 4.4.1. Metodología de integración de ontologías

La integración de ontologías tiene como finalidad reutilizar ontologías existentes para ampliar la cobertura del dominio a representar. Uno de los principales problemas para la realización de esta tarea es la diversidad de las representaciones de los elementos de las ontologías, ya que pueden ser nombrados a través de sinónimos, lo que

implica representar lo mismo con diferentes nombres, así como elementos que tengan los mismos nombres, pero su significado sea diferente, además de que los conceptos en las ontologías a integrar sean correspondidos de formas distintas (Vataščinová, 2019). El no contar con una estrategia bien definida para integrar las ontologías puede derivar en problemas de incoherencia e inconsistencia relevantes que puedan alterar totalmente el funcionamiento de las ontologías (Stoilos, Geleta, Shamdasani, y Khodadadi, 2018).

Para atacar este problema se ha diseñado una metodología de integración de ontologías (ver Figura 4.3), la cual consta de seis etapas, las cuales son descritas a continuación:

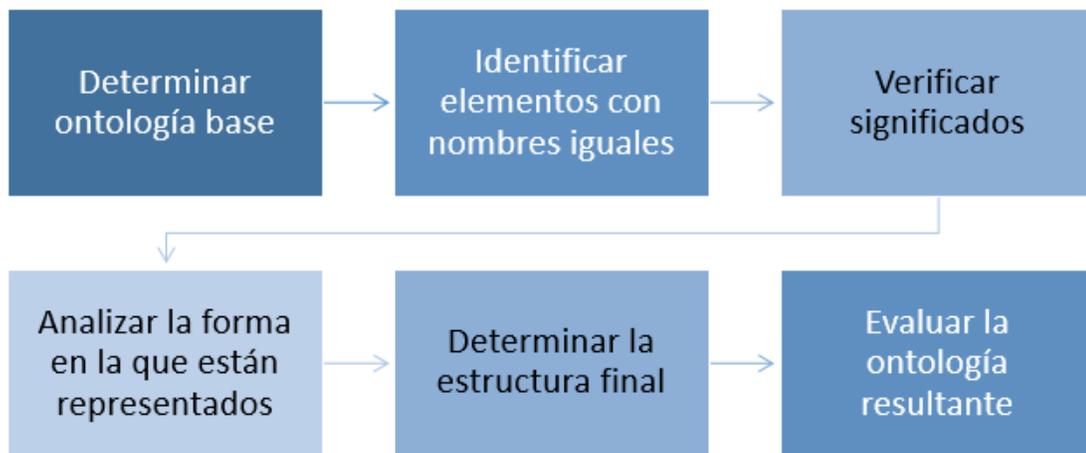


Figura 4.3: Metodología de integración de ontologías.

1. Determinar la ontología base a enriquecer: seleccionar una ontología base, la cual será enriquecida, con la finalidad de que la ontología que será generada no pierda la funcionalidad de cumplir con la tarea para la que fue diseñada originalmente.
2. Identificar los elementos con nombres iguales: buscar términos de la ontología a integrar que tiene un nombre igual respecto a los elementos de la ontología base. También se debe considerar los términos sinónimos, para esto es necesario apoyarse de recursos adicionales (diccionarios, Tesoros, literatura del dominio, etc.).
3. Verificar significados: se debe verificar si los términos encontrados en la etapa anterior representan lo mismo, de no ser así, se recomienda cambiar la nomenclatura por términos más adecuados a la representación.

4. Analizar la forma en la que están representados los elementos en común (clases, instancias, propiedades de objeto, etc.), con la finalidad de definir una forma en la cual se tenga mayores beneficios respecto a las otras.
5. Determinar la estructura final: redefinir las correspondencias que se encuentren en los elementos en común para conservar la consistencia de ambas ontologías. En este paso se crearán nuevos elementos que permitan complementar la representación de ser necesario.
6. Evaluar la ontología resultante: para esto es necesario considerar que la ontología siga cumpliendo con la tarea para la que fue diseñada y los beneficios de la adición de la otra ontología.

#### 4.4.2. Método de referencias externas

El método de referencias externas tiene como finalidad el integrar información clave acerca de ontologías o vocabularios por medio de atributos sin la necesidad de importar las fuentes de información. Este método resulta útil cuando la información a referenciar sólo será utilizada por medio de consultas, puesto que si la aplicación final de la ontología o de la red de ontologías requiere razonamiento respecto a dicha información, no funcionaría adecuadamente debido a que la información está restringida. Dado este caso se recomienda utilizar una metodología de integración de ontologías donde se importen ambas ontologías en un mismo modelo. A continuación se relatan los pasos a seguir del método de referencias externas:

1. Identificación del vocabulario y su estructura a referenciar: definir de donde se tomará la información y que elementos pueden ser clave para hacer la referencia. Al usar recursos ontológicos es importante utilizar algún atributo cuyo valor sea único o tenga la función de ser un identificador.
2. Analizar la forma en la que serán integrados a la red de ontologías: en este paso se debe definir la forma en la que será integrada la referencia seleccionada en el paso anterior, se debe tener en cuenta que dicha forma debe prestarse para crear un posible vínculo con la fuente de información original quizá por medio de una aplicación de la ontología. En este paso también debe considerarse a qué tipo de elementos se les asignará la referencia, si es una clase o una instancia.
3. Dar formato de consulta en la aplicación: definir si se crearan ligas de referencia directa de la aplicación de la ontología o de la red, o sí solo se mostrará como resultado de una consulta.

## 4.5. Diseño de metarrelaciones

El diseño de metarrelaciones es una de las partes esenciales del diseño de redes de ontologías, ya que las metarrelaciones son las encargadas de interconectar a los diferentes dominios, dándoles un significado real a la participación de cada uno de ellos, así como a la red. Este proceso de diseño propone trabajar en pares de ontologías ( $A, B$ ), de las cuales se debe tener información acerca de la interacción de los componentes de la ontología  $A$  respecto a los componentes de la ontología  $B$ .

Una vez identificadas las interacciones, el siguiente paso es definir cuál de ellas son relevantes para la red de ontologías y descartar el resto, ya que de esta forma se puede evitar la creciente demanda de recursos computacionales sin perder el propósito original de la red. Otro de los criterios para descartar metarrelaciones es la redundancia, ya que pueden existir un conjunto de metarrelaciones optimizado que interconecte a un conjunto de componentes de las ontologías participantes, mientras que puede existir otros que interconecte los mismos componentes mediante un conjunto de metarrelaciones más grande. En cada caso se deberá evaluar la pertinencia de cada conjunto de metarrelaciones. Otro aspecto a considerar es la dependencia fuerte entre dos ontologías expresada por medio de versiones (*Versioning*), ya que esta dependencia también deberá ser representada por una metarrelación.

Después, cuando ya se tienen seleccionadas las interacciones, se tienen que adecuar mediante la adaptación de la terminología estandarizada de las ontologías, donde el nombre de una relación o propiedad se representa a través de un verbo conjugado en tercera persona. También se le asigna un dominio y un rango, y las restricciones de cardinalidad correspondientes.

Respecto al identificador de las metarrelaciones, se recomienda usar un IRI independiente para cada una de las ontologías participantes de la red, lo cual resalta la función de las metarrelaciones. Este IRI deberá definirse como el perteneciente a la red de ontologías, por lo que el nombre deberá ser escogido acorde al dominio global de la red.

## 4.6. Integración de recursos no ontológicos

La integración de recursos no ontológicos en una red de ontología puede enriquecer de diferentes formas a la representación, dependiendo del dominio, estructura y la información de los recursos. La integración puede estar enfocada a crear metarrelaciones en la red, poblar la red desde individuos que satisfacen las metarrelaciones, o enriquecer alguna a las ontologías participantes de forma independiente. En cualquiera de los casos, si en la etapa anterior se optó por hacer la referencia a ontologías externas, al

finalizar la integración de recursos no ontológicos se deberá integrar las referencias en los nuevos elementos de la red según lo establecido anteriormente.

#### **4.6.1. Poblado de ontologías**

Uno de los usos de los recursos no ontológicos en relación a las ontologías es la creación de instancias para el poblado de ontología. En este proceso se tiene muy claro las partes componentes de la información y como se podría manejar dentro de una ontología sin la necesidad de modificar la estructura de la misma. Para esto se hace un análisis de los recursos y su estructura o metadatos respecto a la posible correspondencia dentro de la ontología de cada una de las partes de estos, con la finalidad de identificar posibles individuos acorde a la clasificación utilizada en la ontología y sus propiedades respectivamente.

#### **4.6.2. Metodología de integración de recursos no ontológicos**

Esta metodología de integración tiene el propósito de modelar recursos no ontológicos a partir de tripletas con la finalidad de sugerir elementos ontológicos que permitan expandir la representación de información dentro de una ontología o una red de ontologías. Esta metodología puede ser aplicada en información que no esté contemplada dentro de la ontología o valores que a pesar de estar dentro de una no han sido explotados dentro de la misma, por ejemplo valores expresados en lenguaje natural pertenecientes al rango de una propiedad de tipo de dato. Las seis etapas que conforman esta metodología propuesta van desde el análisis de los requerimientos y del propósito hasta la evaluación de la ontología extendida; estas etapas son descritas a continuación.

##### **Identificación del propósito y de las características del recurso a integrar, así como de la ontología correspondiente**

En esta etapa se identifica el propósito para el cual se realizará la integración de recursos no ontológicos y que ontología es la adecuada para el cumplimiento de dicho propósito, ya que al ampliar el dominio de una ontología puede prestarse a la inferencia de nueva información, la generación de nuevas relaciones o consultas más especializadas acerca del dominio de la misma. Lo anterior permite visualizar de forma generalizada los requerimientos necesarios para la siguiente etapa.

### **Selección de los elementos que serán integrados y la forma de representación dentro de la ontología**

El trabajo de esta etapa está enfocado a la selección de los elementos propios del recurso no ontológico que se busca sean integrados a la ontología y la forma que deberán tomar dentro de la misma. Se deberá hacer un análisis de las ventajas y desventajas de impactar en la estructura de la ontología o si solo se propone ampliar la población acorde a la estructura original, es decir, buscar si se crean nuevas clases o relaciones dentro de la ontología o si los elementos serán instancias de la misma.

### **Extracción de elementos candidatos**

Una vez definidos los elementos a integrar, se procede a la extracción de los mismos de forma semi-automática por medio de los siguientes pasos:

1. Etiquetado de términos: a cada una de las palabras se le asigna una etiqueta sintáctica acorde a sus propias características. En este paso también se considera la generación de etiquetas semánticas a partir de vocabularios externos, por lo que al final de este proceso se tendrán términos simples (de una sola palabra) con una etiqueta sintáctica y términos compuestos (una o más palabras) con una etiqueta semántica. El etiquetado semántico se realiza por medio del cálculo de la similitud de frases del recurso no ontológico respecto al contenido de los vocabularios, si el valor es mayor o igual al 70 %, entonces la cadena encontrada recibe la asignación de la etiqueta semántica correspondiente.
2. Identificación de las frases nominales: para los elementos que sólo fueron etiquetados de manera sintáctica, se procesan a través de patrones sintácticos con la finalidad de encontrar entidades semánticas libres de un vocabulario establecido.
3. Identificación de relaciones y formación de tripletas: en este paso cada uno de los términos etiquetados semánticamente y las frases nominales son relacionadas con el formato de origen como concepto correspondiente mediante verbos encontrados dentro del texto, formando así relaciones ternarias llamadas tripletas. Estas tripletas están compuestas por un *Dominio*, un *Rango* y una *Relación* proveniente de un verbo usando la conjugación de la tercera persona, indicando así que el dominio realiza el verbo sobre el rango.

### Transformación de los elementos candidatos a recursos ontológicos e integración a la ontología

Una vez identificadas las tripletas candidatas, se procede a mostrar la información en una pantalla de control para el usuario, la cual consta de tres campos (dominio, relación y rango) las cuales contienen la información de cada uno de los elementos con un IRI propuesto a partir de la sugerencia del dominio perteneciente (ver Figura 4.4). Dicha información puede modificarse por el usuario para dar mayor certeza de que la integración sea correcta, en este caso basta pulsar el botón “Registra” para continuar con el proceso de modificación de las ontologías involucradas, o pulsar el botón “Omitir” para descartar a la tripleta sugerida (ver Figura 5.11).



Figura 4.4: Flujo de la información en el proceso de transformación de recursos.

Para la integración de los recursos ya con un IRI asignado, comienza por medio de un flujo de información, el cual procesa un dato a la vez. Primero el dominio, donde al recibir un IRI verifica si ya existe dentro de la ontología, si existe el recurso sólo lo almacena y pasa a realizar el mismo análisis con el rango; en caso contrario, divide la IRI entrante en dos segmentos identificando el IRI de la ontología a la que se integrará el nuevo recurso y el nombre del mismo. Una vez identificadas ambas partes, el recurso se convierte en un individuo de la clase maestra de la ontología indicada y se verifica nuevamente el IRI original de la propuesta. Este mismo proceso se realiza si no existe el elemento del rango en la ontología. En el caso de la relación, se hace el mismo análisis mediante la IRI para verificar su existencia, y en caso de no existir se hace la nueva definición tomando el nombre sugerido, la clase del dominio y la clase del rango de la tripleta para asignar la definición completa de la propiedad de objeto. Posterior a esto, se inserta la propiedad de objeto con los individuos dominio y rango correspondientes.

### Evaluación de la integración

La integración debe evaluarse en diferentes aspectos, el primero de ellos es a través de la extracción de elementos candidatos y la segunda es mediante el impacto a la ontología. Para evaluar la extracción como un proceso se puede evaluar por medio de *Precision* y *Recall*, tomando como verdaderos positivos (VP) a las tripletas identificadas manualmente, las cuales también fueron extraídas automáticamente; los falsos positivos (FP) son las tripletas que no fueron identificadas manualmente, pero fueron extraídas de forma automática; finalmente, los falsos negativos (FN) a las tripletas que fueron identificadas manualmente, pero no fueron extraídas de forma automática.

$$Precision = \frac{VP}{VP + FP} \quad (4.1)$$

$$Recall = \frac{VP}{VP + FN} \quad (4.2)$$

Por su parte, la evaluación del impacto a la ontología debe verificar inicialmente la consistencia por medio del uso de un razonador, posteriormente, se puede medir la extensión de la representación del dominio mediante la propuesta de nuevos elementos que exploten dicha información agregada como la formulación de nuevas preguntas de competencia especializadas que antes de la extensión no podrían ser respondidas o la generación de nuevas reglas de inferencia.

## 4.7. Evaluación de la red

La estrategia de evaluación de la red de ontologías considera la validación de esta por medio de la traducción y respuesta de las preguntas de competencia definidas para identificar el propósito. Al obtener respuestas correctas de las preguntas de competencia, se corrobora que la red está cumpliendo con el objetivo para la que fue diseñada (validación basada en la aplicación), así como se valida si la red cumple con un vocabulario amigable para el usuario y la asociación del mismo para cumplir dicho propósito (validación basada en la experiencia del usuario).

Para realizar la verificación, se busca la integración de nuevas fuentes de información que pudieran estar inclusive en un formato diferente, logrando con esto verificar la adaptabilidad de la red respecto al nuevo contenido, reforzando dicho enfoque con criterios de evaluación. Los criterios convenientes a considerar en una red son:

- **Consistencia:** Se verifica que dentro de todas las definiciones de la red no existan contradicciones. Esta verificación se puede llevar a cabo mediante un razonador,

el cual tenga la capacidad de analizar todos los componentes de la red a partir de su sintaxis propia.

- **Modularidad:** Definición clara de cada uno de los módulos que conforman la red. La modularidad de la red es importante debido a que de esta forma se puede facilitar la reutilización de cada una de sus ontologías componentes de forma aislada sin necesidad de modificaciones.
- **Adaptabilidad:** Apreciación de los cambios en la estructura original para la integración de nueva información (establecimiento de correspondencias semánticas, creación o eliminación de elementos). La adaptabilidad refuerza la verificación del contexto de la ontología, ya que es una forma de apreciar la dificultad de cómo una red interactúa con ontologías del mismo dominio.

# Red de ontologías de la diabetes mellitus (RODM)

---

En este capítulo se describe el proceso de diseño y construcción de la red de ontologías de la diabetes mellitus (RODM) considerando información de la población mexicana. Dicha red fue construida a partir de la metodología de diseño de redes presentada en el capítulo anterior. La RODM contiene información acerca del diagnóstico y tratamiento de la DM, así como algunas enfermedades relacionadas con esta.

### 5.1. Dominios, requerimientos y alcance de RODM

Considerando que el dominio general de la red de ontologías RODM es el de la DM, su tratamiento y posibles consecuencias, además de las características demográficas de la población mexicana, en esta sección se describen los requerimientos y el alcance contemplado a través del establecimiento de preguntas de competencia. Las preguntas de competencia representan un mecanismo para la especificación de requerimientos, es decir, representan la competencia de la red de ontologías (Bravo y cols., 2019). Por lo anterior, se ha determinado el siguiente conjunto de preguntas de competencia, las cuales pueden corresponder a posibles escenarios ligados al proceso de las consultas médicas.

1. ¿Cuáles son los principios activos recetados en las notas médicas que tienen como

diagnóstico la DMT2?

2. ¿Cuáles son los índices de masa corporal en pacientes que han sido diagnosticados con DMT1?
3. ¿Cuáles son los antecedentes no patológicos de los pacientes que viven en Puebla?
4. ¿Cuáles son los pacientes que han presentado obesidad grado 1 después de los 50 años?
5. ¿Cuáles son las tasas metabólicas basales de los pacientes con hipertensión arterial sistemática?
6. ¿Cuáles son los medicamentos que no se le pueden recetar a un paciente dependiente de la insulina?
7. ¿Cuáles son los niveles de escolaridad en México de los pacientes con DMT1 y DMT2?
8. ¿Cuáles son los biotipos que puede tener un paciente?
9. ¿Cuál es el identificador en SNOMED CT para la diabetes mellitus insulino dependiente?
10. ¿Cuántos expedientes clínicos puede tener un paciente?
11. ¿Cuál es el peso de un paciente?
12. ¿Cuál es el código del ICD-10 para la DMT2?
13. ¿Cuáles son las presentaciones de la insulina lispro?
14. ¿Dónde vive el paciente X?
15. ¿Cuáles son los medicamentos indicados para la DMT2?
16. ¿Cuáles son los efectos secundarios que puede tener un paciente que tiene un tratamiento basado en insulina?
17. ¿Cuáles son los biotipos de los pacientes diagnosticados con DM?
18. ¿Cuáles son los síntomas de la DMT2?
19. ¿Cuáles son las complicaciones médicas que puede causar la DMT2?

20. ¿Cuál es el factor de impacto en la ingesta calórica recomendada de realizar ejercicio moderado?
21. ¿Cuáles son los factores de riesgo de la DMT2?
22. ¿Cuántos pacientes diabéticos están registrados por estado?
23. ¿Cuáles son los biotipos que presentan los pacientes con diagnóstico de DMT1?
24. ¿Cuáles son las comorbilidades que presentan los pacientes con DMT2?
25. ¿Cuál es la edad del paciente?
26. ¿Cuál es el sexo del paciente?
27. ¿Cuáles son las comorbilidades que pueden estar presentes en un paciente diabético?
28. ¿Cuáles son las discapacidades que pueden estar presentes en un paciente diabético?
29. ¿Cuáles son los diagnósticos más frecuentes de los pacientes con DMT2?

Mediante el proceso de elicitación de términos tomado como base el conjunto de preguntas de competencia, se observan cinco dominios principales de la información que contiene el dominio de la DM, así como los requerimientos principales que deben de cumplir dentro de la red. Estos dominios son descritos en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Identificación de dominios participantes

<b>Dominio</b>	<b>Requerimientos</b>	<b>Términos asociados</b>
Tratamiento	Información acerca de los tratamientos para la diabetes, donde se debe incluir la presentación de cada medicamento, dosis, forma de uso y efectos, así como cuidados adicionales relevantes.	Dosis Vía de administración Presentación de la insulina Efecto secundario Medicamento Principio Activo Ejercicio Ingesta calórica

Persona	Describe lo que es una persona y los roles que puede ejercer en la consulta clínica.	Paciente Sexo Edad Antecedentes no patológicos
Entidad Clínica	La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la entidad clínica como: “aquella alteración o interrupción de la estructura o función de una parte del cuerpo, con síntomas y signos característicos y cuya etiología, patogenia y pronóstico pueden ser conocidos o no (López Espino y Mingote Adán, 2008). Por lo anterior, esta ontología contiene los padecimientos o afectaciones clínicas que puede presentar un paciente.	Discapacidad Comorbilidad Factor de riesgo Enfermedad Síntomas de la DM Obesidad grado 1 Diagnóstico DM Hipertension arterial sistémica Identificador SNOMED CT Código ICD-10
Administración de la información clínica	Debe representar la información adquirida durante el proceso de la consulta clínica	Nota médica Expediente clínico Peso Diagnóstico Índice de masa corporal Antecedentes no patológicos Tasa metabólica basal Biotipo
Información demográfica	Representa la información geográfica y cultural de la población mexicana	Niveles de escolaridad Puebla

## 5.2. Búsqueda y selección de recursos relacionados con la DM

La estrategia planteada para seleccionar las fuentes de información comienza por la búsqueda de recursos ontológicos y no ontológicos acerca del dominio médico. Los criterios de búsqueda contemplan que la información esté disponible en diversos medios como libros, sitios web, catálogos, ontologías, vocabularios, entre otros.

### 5.2.1. Recursos no ontológicos

Durante la búsqueda de recursos no ontológicos, se obtuvo específicamente para el dominio del tratamiento de la DM el Cuadro básico y catálogo de medicamento usado por la secretaria de salud (2017) (Secretaría de la Salud, 2012), donde se especifica el conjunto de medicamentos usados y distribuidos en el sistema de salud de México. Dicho conjunto incluye los fármacos relacionados con la DM, y la información está presentada en dos partes: la primera es una tabla con el identificador de cada una de las presentaciones del fármaco, la descripción, indicaciones y dosis, y la vía de administración; la segunda parte contiene en lenguaje natural las generalidades, los efectos secundarios, interacciones, precauciones y contraindicaciones del conjunto de fármacos descritos en la tabla de la primera parte. Para el dominio de las entidades clínicas, se obtuvo el Catálogo de clasificación de enfermedades CIE-10 (Clasificación Internacional de Enfermedades en su edición número 10), el cual es utilizado en el Centro Mexicano para la Clasificación de Enfermedades y Centro Colaborador para la Familia de Clasificaciones Internacionales de la OMS en México (CEMECE), adscrito a la Secretaría de salud (Secretaría de la Salud, 2012). También se obtuvieron diversos manuales de medicina interna (que incluyen diagnósticos y tratamiento), un Atlas de la diabetes de la FID (Federación Internacional de la Diabetes) 6ta edición, y los Boletines de seguimiento epidemiológicos de la diabetes mellitus ofrecidos por la secretaria de salud de los últimos 5 años (Secretaría de Salud, 2020). Estos últimos contienen información estadística de las características demográficas y clínicas de la población mexicana, como: distribución de casos de DMT2 por entidad federativa, por grupo de edad y sexo, y por escolaridad; distribución porcentual según tipo de antecedente familiar de DMT2, comorbilidades, discapacidades, medida de control indicada a los pacientes en atención hospitalaria incluyendo el tipo de insulina y proporción de casos por biotipo.

Uno de los recursos más importantes son los 326 expedientes clínicos obtenidos del Hospital Universitario de Puebla. Cada expediente clínico contiene información acerca de los antecedentes heredo-familiares, antecedentes gineco-obstétricos, patológicos y no patológicos del paciente, así como datos registrados en las consultas clínicas como peso, talla, signos y síntomas, entre otros. Otra información relevante contenida en los expedientes clínicos es el tratamiento farmacológico recomendado al paciente de acuerdo a su diagnóstico (ver Figura 5.1).

### 5.2.2. Recursos ontológicos

Para la selección de recursos ontológicos, se realizó una estrategia de búsqueda enfocada en satisfacer de forma completa o parcial los requerimientos de los dominios contemplados para la red.

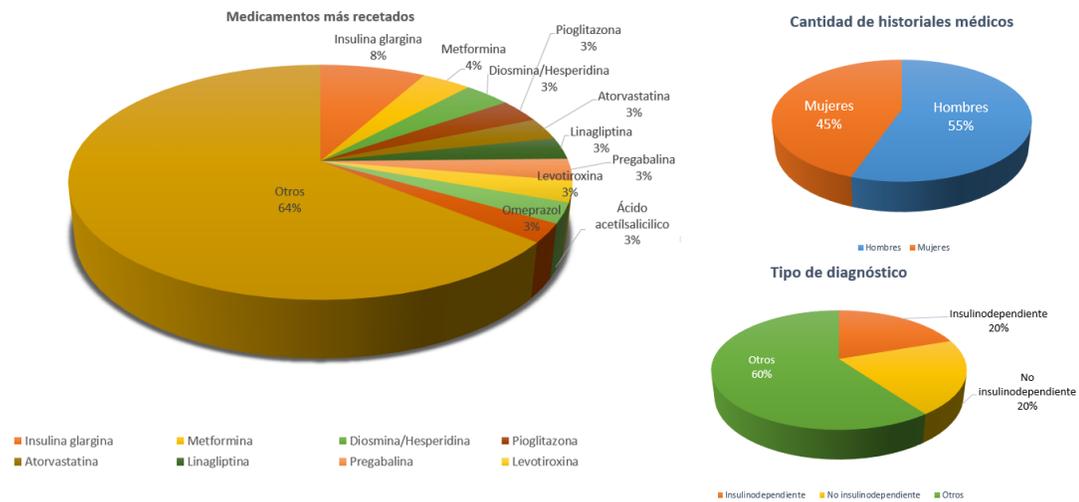


Figura 5.1: Datos acerca de los historiales médicos.

En lo referente al dominio de la Entidad Clínica se realizó una búsqueda de ontologías que representan enfermedades, entre otras se encuentra SNOMED CT (Donnelly, 2006). SNOMED CT ofrece una terminología clínica internacionalmente reconocida, así como la representación de información de otros dominios como información demográfica, algunos tratamientos farmacológicos, y diversos procedimientos médicos, entre otros. ICDO (Wan, Ong, y Heb, 2019) es una ontología que ofrece otra clasificación de enfermedades usando el código internacionalmente reconocido ICD-10 (International Classification Disease version 10). DO (Schriml y cols., 2012) es una ontología que ofrece otra clasificación de enfermedades, donde resalta la propuesta taxonómica de la misma, mientras que DDO (El-Sappagh y Ali, 2016) es una evolución de DO, teniendo como enfoque principal incorporar el diagnóstico de la diabetes a partir de los síntomas sin estar ligado a un paciente. Estas últimas dos ontologías convergen en DMTO (El-Sappagh y cols., 2018), ya que DMTO conjunta la información y amplía el contexto de la DM agregando información precisa acerca de diagnóstico y cuidados del paciente diabético. En la Tabla 5.2 se muestran las ontologías de enfermedades recopiladas de diversos repositorios que son candidatas a reutilizar para complementar la red de ontologías. Sin embargo, aunque existen diversas ontologías acerca de enfermedades, algunas como el caso de SNOMED CT y DMTO no empatan con el nivel de detalle de la información requerida por la red, además de necesitar grandes cantidades de recursos computacionales para su uso, poca legibilidad al usuario debido a la gran cantidad de información que contienen y difícil identificación de módulos debido a su diseño.

Tabla 5.2: Ontologías adquiridas

Ontología	Autores	Disponible en	Descripción
SNOMED CT	SNOMED International	<a href="https://uts.nlm.nih.gov/license.html">https://uts.nlm.nih.gov/license.html</a>	Ontología de terminología clínica.
ATC	WHO Collaborating Center for Drug Statistics Methodology	<a href="http://bioportal.bioontology.org/ontologies/ATC/">http://bioportal.bioontology.org/ontologies/ATC/</a>	Ontología que representa al sistema codificación ATC ( <i>Anatomical Therapeutic Chemical</i> ) usado para clasificar los principios activos de los medicamentos.
DO	Institute for Genome Sciences, University of Maryland	<a href="http://disease-ontology.org/">http://disease-ontology.org/</a>	Ontología acerca de las enfermedades.
DDO	Shaker El-Sappagh	<a href="https://bioportal.bioontology.org/ontologies/DDO">https://bioportal.bioontology.org/ontologies/DDO</a>	Ontología acerca del diagnóstico y complicaciones de la diabetes.
DIAB		<a href="http://aber-owl.net/ontology/DIAB/#/">http://aber-owl.net/ontology/DIAB/#/</a>	Ontología acerca de la diabetes mellitus tipo 2
DMTO	Shaker El-Sappagh	<a href="https://bioportal.bioontology.org/ontologies/DMTO">https://bioportal.bioontology.org/ontologies/DMTO</a>	Ontología acerca de la diabetes mellitus tipo 2
ICDO	Oliver He, Ling Wan	<a href="http://www.ontobee.org/ontology/ICDO">http://www.ontobee.org/ontology/ICDO</a>	Ontología acerca de la clasificación internacional de las enfermedades (en idioma inglés)

## **5.3. Diseño de nuevas ontologías**

Una vez identificados y analizados cada uno de los recursos seleccionados en la etapa anterior, es posible identificar las necesidades de información o dominios no cubiertos. Por lo tanto, se tomó la decisión de crear ontologías para cada dominio principal que satisfaga la información mínima requerida por cada uno de ellos. Los dominios que tendrán una ontología base dentro de la red son: Medicamentos, Plan de cuidado, Persona, Localización geográfica, Manejo de la información clínica y Entidad clínica. Para la creación de la ontología Medicamento, se utilizó la metodología de diseño de ontologías propuesta en el capítulo anterior (ver Sección 4.3), mientras que para el resto se hizo una construcción rápida debido a la información requerida por la red.

### **5.3.1. Ontología Medicamento**

Esta ontología tiene como finalidad la representación de la información contenida en el catálogo de medicamentos de la Secretaría de Salud de México. Los resultados son mostrados por etapa de la aplicación de la metodología de diseño:

1. Identificación del propósito de la ontología: para la representación de la información acerca de los medicamentos, se desea que la ontología sirva como buscador de medicamentos donde indique las características de los mismos.
2. Delimitación del alcance de la ontología: el alcance de la ontología está indicado a cumplir con la representación de los medicamentos, sus dosis y vía de administración, su clasificación y los principios activos involucrados.

3. Adquisición de los recursos disponibles: para complementar la información del catálogo de medicamentos, se buscó información acerca de la clasificación de las formas farmacéuticas y su relación con las vías de administración.
4. Definición de las instancias: en la Figura 5.2 se puede observar que para cada presentación del medicamento existe una clave única (por ejemplo 010.000.0101.00) por lo cual se puede decir que la clave indica una unidad mínima de información, la cual está relacionada con una forma farmacéutica (Tableta), un conjunto de dosis y vías de administración (Oral), donde los elementos pertenecientes a dichos conjuntos también se comportan como unidades mínimas de información; además el elemento representado por la clave tiene atributos asociados a una porción compuesta de principios activos, contenido en gramos y contenido por envase.
5. Identificación de las categorías utilizadas en los catálogos: para el catálogo de medicamentos de cuadro básico y de catálogo, las categorías encontradas son: tipo de medicamento (de cuadro básico o catálogo), grupo terapéutico y principio activo.
6. Diseño de la jerarquía de clases: durante la etapa de la identificación de clases, se identificaron clases que no pertenecen a una misma taxonomía, por lo que es necesario la integración de conceptos relevantes incluidos en la etapa número 2. Las principales taxonomías identificadas son: dosis, principio activo, grupo terapéutico, medicamento, forma farmacéutica, vía de administración y riesgo de embarazo. En total se identificaron 41 clases divididas en 7 jerarquías (ver Figura 5.3 y detalle de cada clase en A.1).
7. Implementación de relaciones de objetos y de datos: las relaciones de objeto implementadas están asociadas a las relaciones de medicamento respecto a la dosis recomendada, riesgo en el embarazo, principio activo, forma farmacéutica y vía de administración. Por su parte, las relaciones de datos existen en las diversas taxonomías, destacando características como nombres, cantidades y descripciones. En total se diseñaron 7 propiedades de objeto (ver Tabla A.2) y 19 propiedades de dato (ver Tabla A.3). A continuación se describe el *TBox* de la ontología Medicamento.
8. Definición de reglas y axiomas: un patrón generalizado que se puede implementar dentro de la ontología Medicamento es la asociación de 12 formas farmacéuticas respecto a la vía de administración.

**Grupo N° 1: Analgesia****Cuadro Básico****ÁCIDO ACETILSALICÍLICO**

Clave	Descripción	Indicaciones	Vía de administración y Dosis
010.000.0101.00	TABLETA Cada tableta contiene: Ácido acetilsalicílico 500 mg. Envase con 20 tabletas.	Artritis reumatoide. Osteoartritis. Espondilitis anquilosante.	Oral. Adultos: Dolor o fiebre: 250-500 mg cada 4 horas.
010.000.0103.00	TABLETA SOLUBLE O EFERVESCENTE Cada tableta soluble o efervescente contiene: Ácido acetilsalicílico 300 mg. Envase con 20 tabletas solubles o efervescentes.	Fiebre reumática aguda. Dolor o fiebre.	Artritis: 500-1000 mg cada 4 ó 6 horas. Niños: Dolor o fiebre: 30-65 mg/kg de peso corporal/ día fraccionar dosis cada 6 ó 8 horas. Fiebre reumática: 65 mg/kg de peso corporal/ día fraccionar dosis cada 6 ó 8 horas.

**Generalidades**

Inhibe la síntesis de prostaglandinas y actúa sobre el centro termorregulador en el hipotálamo, tiene efecto antiagregante plaquetario por inhibición de la enzima tromboxano sintetasa.

**Riesgo en el embarazo**

D

**Efectos adversos**

Prolongación del tiempo de sangrado, tinnitus, pérdida de la audición, náusea, vómito, hemorragia gastrointestinal, hepatitis tóxica, equimosis, exantema, asma bronquial, reacciones de hipersensibilidad. Síndrome de Reyé en niños menores de 6 años.

**Contraindicaciones y Precauciones**

Contraindicaciones: Hipersensibilidad al fármaco, úlcera péptica o gastritis activas, hipoprotrombinemia, niños menores de 6 años.

**Interacciones**

La eliminación del ácido acetilsalicílico aumenta con corticoesteroides y disminuye su efecto con antiácidos. Incrementa el efecto de hipoglucemiantes orales y de anticoagulantes orales o heparina.

Figura 5.2: Identificación de instancias dentro del catálogo de medicamentos.

- Evaluación: La ontología resultante tiene una expresividad lógica (*DL Expressivity*) de nivel ALCQ(D), la consistencia se verificó utilizando el razonador Pellet teniendo resultados favorables. Para la validación, se respondieron las preguntas de competencia planteadas en la definición de la ontología mediante el lenguaje de consulta SPARQL y DL-Query (ver Tabla A.5).

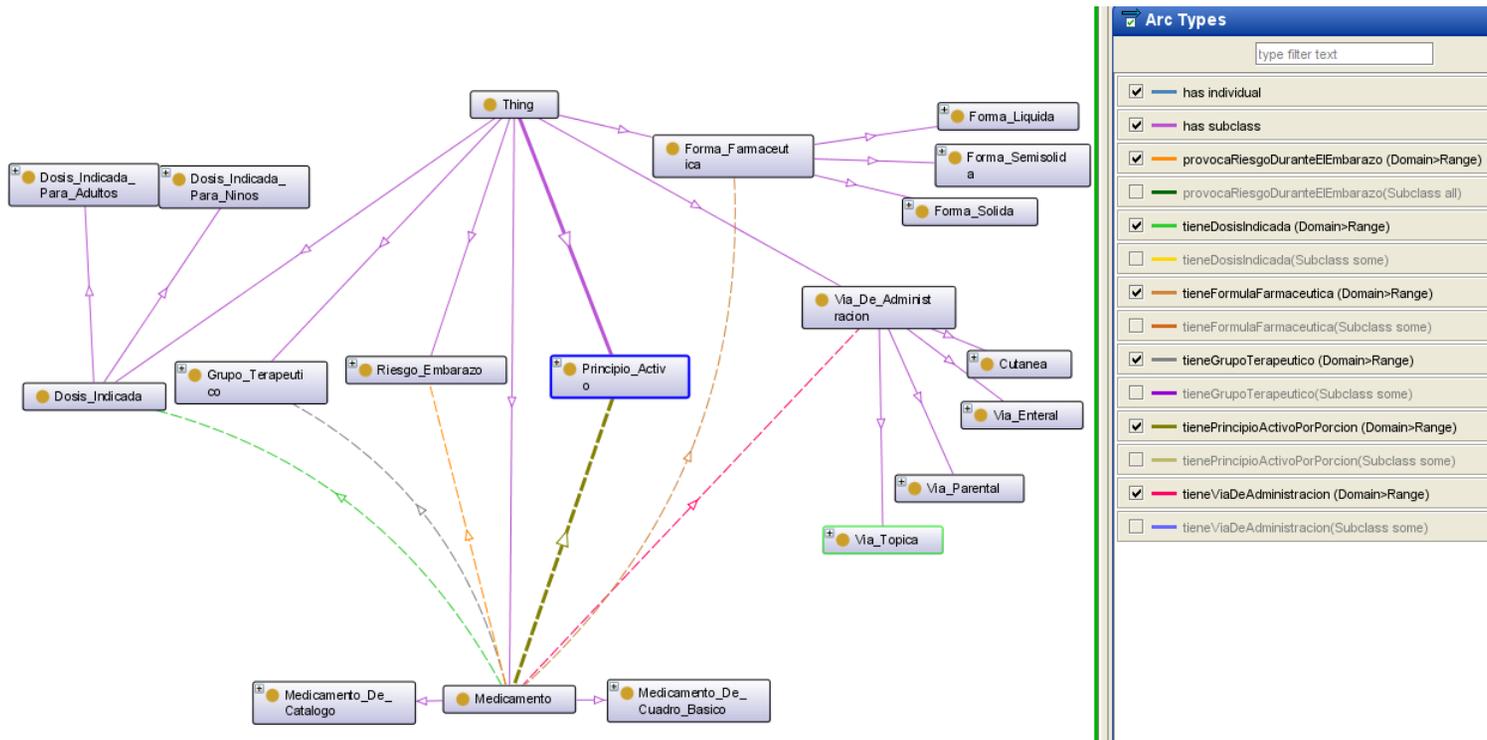


Figura 5.3: Estructura de la ontología Medicamento.

### 5.3.2. Ontologías base

Para crear la RODM, se diseñaron cinco ontologías de dominio (ver Figura 5.4 y detalle de clases en Tabla 5.3), las cuales cumplen con los requisitos de representación establecidos para cada uno de los dominios.

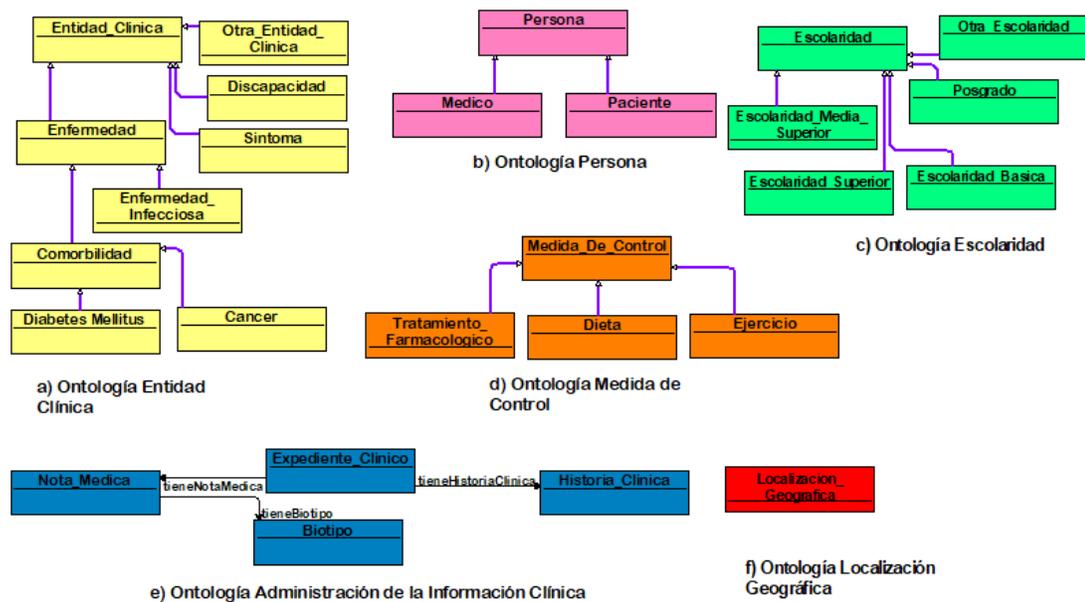


Figura 5.4: Diagrama de las ontologías base.

## 5.4. Reutilización de ontologías existentes

En esta sección se aborda la reutilización de la ontología ATC mediante su integración a la ontología Medicamento, esto con la finalidad de agregar un estándar internacional de clasificación de sustancias. También se incluye el caso de uso del método de referencias externas para utilizar el código de los elementos de la ontología SNOMED CT dentro de la ontología Entidades Clínicas. Ambos casos fortalecen la reutilización de ontologías por medio de la inclusión de claves de un estándar internacional del vocabulario utilizado en las ontologías desde un enfoque totalmente diferente.

Tabla 5.3: Ontologías por dominio

<b>Dominio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Principales clases del dominio</b>
Medida de Control ( <a href="http://www.medida-control.com/tratamiento">http://www.medida-control.com/tratamiento</a> )	Tratamiento de la DM	Medida de control Dieta Ejercicio Tratamiento farmacológico
Enfermedad ( <a href="http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedades">http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedades</a> )	Representa el conjunto de padecimientos más comunes en la población mexicana que están relacionados con la DM	Entidad Clínica Comorbilidad Discapacidad
Escolaridad ( <a href="http://www.niveleseducativos-mexico.org/niveles">http://www.niveleseducativos-mexico.org/niveles</a> )	Clasificación de los niveles escolares en México	Escolaridad
Administración de información ( <a href="http://www.modelo.org/datos">http://www.modelo.org/datos</a> )	Manejo de la información contenida en los expedientes clínicos de los pacientes mexicanos	Expediente clínico Historia clínica Nota médica
Localización geográfica ( <a href="http://www.estados-mexico.org/estados">http://www.estados-mexico.org/estados</a> )	Específicamente la división territorial por estados de México	Localización geográfica
Roles de persona ( <a href="http://www.personas-mexico.org/persona">http://www.personas-mexico.org/persona</a> )	Contiene términos de clasificación de personas acorde a su rol en el proceso de consulta médica	Persona Medico Paciente
Alimento ( <a href="http://www.alimentos-mexico.org/alimentos">http://www.alimentos-mexico.org/alimentos</a> )	Contiene términos de clasificación de alimentos disponibles para la población mexicana	Menú Ingrediente Alimento

### 5.4.1. Integración de ontología medicamentos con ontología ATC

A pesar de ya contar con una ontología que representa el cuadro básico y catálogo de medicamentos usado por la secretaría de salud de México, es necesario complementar la información con el sistema de clasificación internacional ATC (*Anatomical Therapeutic Chemical*), el cual cuenta con una codificación por niveles descritos a continuación (*Código ATC*, 2019):

1. Nivel anatómico: órgano en el cual actúa el fármaco, teniendo las siguientes claves:
  - **A:** Sistema digestivo y metabolismo
  - **B:** Sangre y órganos hematopoyéticos
  - **C:** Sistema cardiovascular
  - **D:** Medicamentos dermatológicos
  - **G:** Aparato genitourinario y hormonas sexuales
  - **H:** Preparados hormonales sistémicos, excluyendo las hormonas sexuales
  - **J:** Antiinfecciosos en general para uso sistémico
  - **L:** Agentes antineoplásticos e inmunomoduladores
  - **M:** Sistema musculoesquelético
  - **N:** Sistema nervioso
  - **P:** Productos antiparasitarios, insecticidas y repelentes
  - **R:** Sistema respiratorio
  - **S:** Órganos de los sentidos
  - **V:** Varios
2. Nivel de grupo terapéutico identificado por un número de dos cifras.
3. Nivel de subgrupo terapéutico o farmacológico, identificado por una letra del alfabeto.
4. Nivel subgrupo químico-terapéutico farmacológico, identificado por una letra del alfabeto.
5. Nivel de la asociación farmacológica, identificada por un número de dos cifras.

En la Figura 5.5 se puede observar una ontología existente acerca del sistema ATC, la cual puede ser integrada a la ontología de medicamento, teniendo la finalidad de que la ontología pueda ser fácilmente reutilizable, ya que se apega a un estándar internacional. Las características generales de la ontología son: todos los niveles de la clasificación ATC están representados mediante una taxonomía de clases y existe una instancia para cada clase la cual tiene el mismo nombre (clave ATC), las instancias cuentan con dos relaciones de dato que indican el nivel de la clasificación (1 a 5) y la clave, y relaciones de tipo de objeto para la interoperabilidad con sistemas basados en UML.

A continuación se muestran los resultados obtenidos por etapa de la metodología para la integración de ontologías que fue anteriormente propuesta.

1. Determinar la ontología base a enriquecer: se tomó como ontología base la ontología Medicamento, puesto que será parte de una red de ontologías más grande.
2. Identificar los elementos con nombres iguales: al hacer la revisión de la ontología ATC se encontró con las coincidencias en los nombres de las sustancias de los niveles más bajos de la jerarquía de clases y los utilizados en las instancias de la clase principio activo perteneciente a la ontología Medicamento.
3. Verificar significados: al buscar mayores referencias en recursos externos como páginas web y documentos acerca de farmacología se ratificó la coincidencia de nombres y significados.
4. Analizar la forma en la que están representados los elementos en común: La forma de representación de los elementos en común en la ontología ATC está duplicada, ya que la información está representada como clase y a su vez, por cada clase, existe una instancia que representa lo mismo, mientras que en la instancia de medicamentos los elementos son instancias. En la Tabla 5.4 se muestra el análisis de las ventajas y desventajas de cambiar la forma de representación de los elementos en común, determinando que la opción de convertir en instancias de la clase superior inmediata los niveles más bajos de la clasificación asociados cambiando la clave como una propiedad de tipo de dato y el nombre como identificador, es la que ofrece mayores ventajas.
5. Determinar la estructura final: para establecer la relación con la ontología medicamento a la ontología ATC, es necesario crear la clase *Contiene\_Principio\_Activo*, la cual contiene nodos anónimos con una propiedad de datos *tieneCantidadDePrincipioActivo* y sirve como intermediaria en las relaciones *tienePrincipioActivoPorPorcion* y *tienePrincipioActivo*, es decir, aporta un valor atributo por cada

relación. Por medio de este cambio, se elimina la clase *Principio Activo* de la ontología Medicamento (ver Figura 5.6).

6. Evaluar la ontología resultante: se evalúa bajo el criterio de consistencia y se responde nuevamente las preguntas de competencia de la ontología Medicamento para garantizar que sigue cumpliendo con el propósito original.

Tabla 5.4: Análisis del cambio de la representación de los elementos ATC.

Cambio	Ventajas	Desventajas
Se conserva la estructura original	La taxonomía de la clasificación conserva una estructura óptima	Redundancia en la información pues se tienen clases e instancias que representan lo mismo
Se convierten en instancias de la clase superior inmediata los niveles más bajos de la clasificación asociados conservando la clave como identificador y el nombre como una propiedad de tipo de dato	Se elimina la redundancia clase-instancia	Sigue existiendo redundancia entre instancias las cuales tendrían el mismo nombre con diferente clave. La taxonomía pierde el último nivel de clases.
Se convierten en instancias de la clase superior inmediata los niveles más bajos de la clasificación asociados cambiando la clave como una propiedad de tipo de dato y el nombre como identificador	Se elimina la redundancia instancia-instancia y se simplifican las consultas	La taxonomía pierde el último nivel de clases.

Como resultado de la metodología se obtuvo una ontología que contiene los elementos de la ontología medicamentos y la ontología ATC (ver Figura 5.6), con la modificación de la clase *Principio Activo* que fue reemplazada por la conexión nodos anónimos, los cuales tienen una cantidad y una medida cuyos valores dependen de las instancias a las que están relacionados. La evaluación de la ontología por medio de *DL Expressivity* sigue manteniéndose en ALCQ(D) y se contestaron nuevamente las preguntas de competencia relacionadas con los elementos que se modificaron, como lo son:

- ¿Cuáles son los medicamentos que tienen una cantidad de principio activo por porción mayor a 50 mg? `tienePrincipioActivoPorPorcion some ((tieneCantidadDePrincipioActivo some xsd:float[>50.0f]) and (tieneMedidaDePrincipioActivo value "MG"))`
- ¿Cuáles son las dosis recomendadas para niños de los medicamentos que tienen como principio activo el ibuprofeno? `inverse tieneDosisIndicada some (tienePrincipioActivoPorPorcion some (tienePrincipioActivo some Ibuprofeno)) and Dosis_Indicada_Para_Ninos`
- ¿Cuáles son las formas farmacéuticas de los medicamentos que tienen como principio activo el Paracetamol? `inverse tieneFormulaFarmaceutica some (tienePrincipioActivoPorPorcion some (tienePrincipioActivo some Paracetamol))`

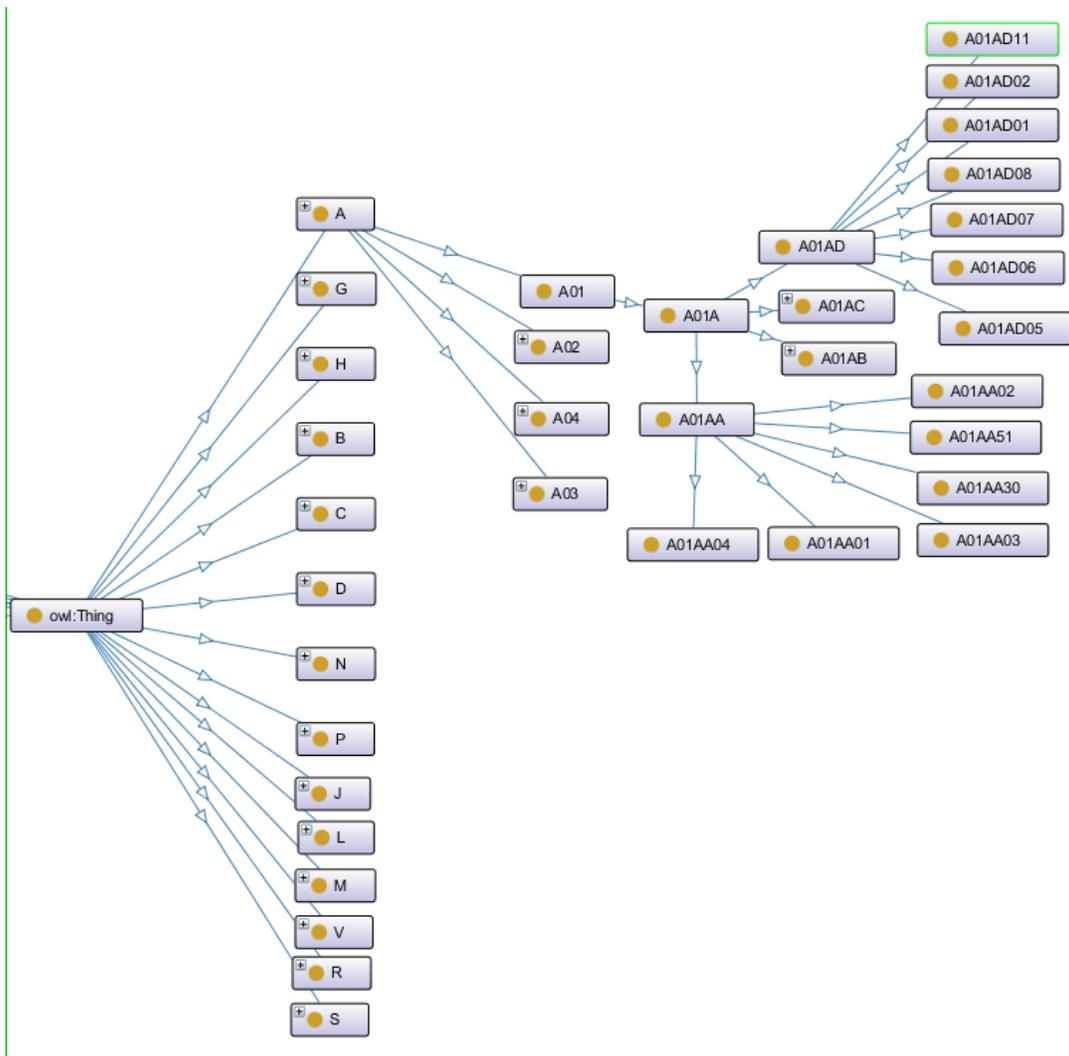


Figura 5.5: Ontología del sistema de clasificación ATC.

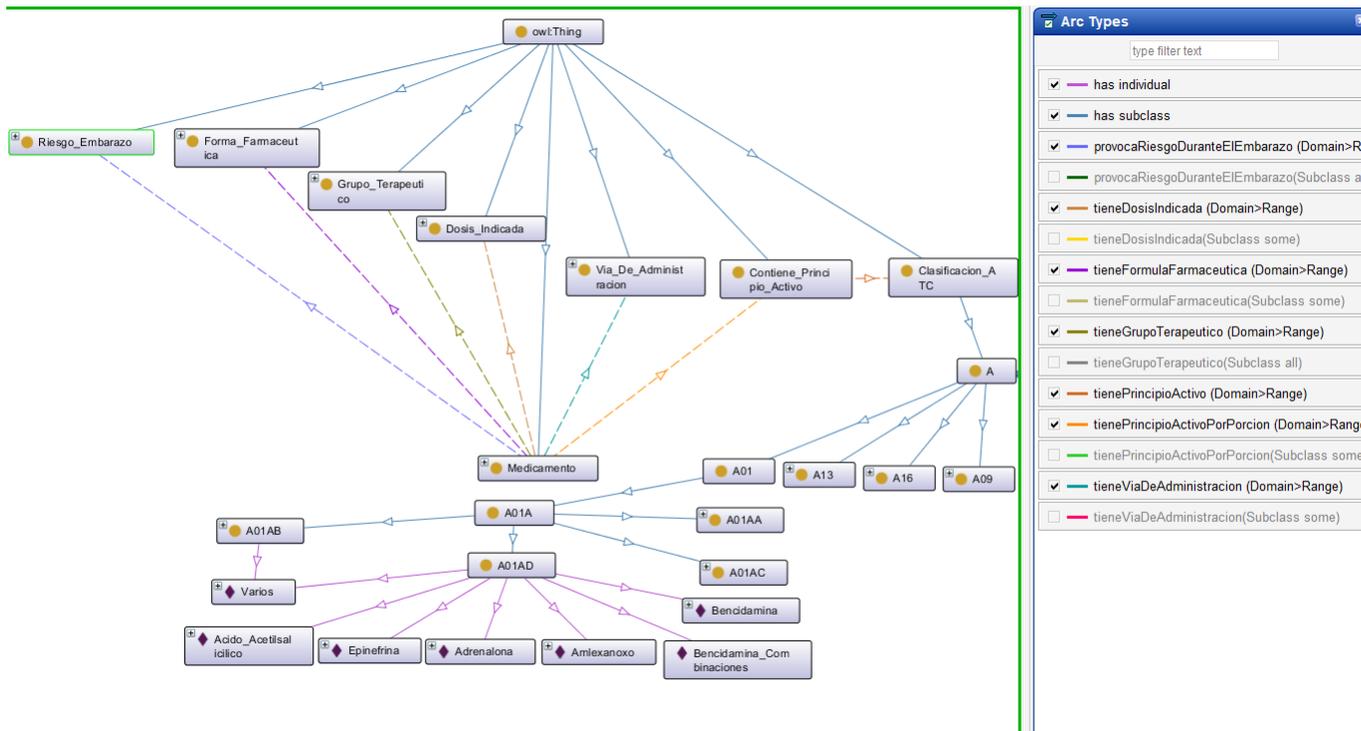


Figura 5.6: Ontología resultante de la integración de las ontologías Medicamento y ATC.

### 5.4.2. Referencias externas a SNOMED CT

A continuación se muestra la aplicación del método de referencias externas para la inclusión de la terminología de SNOMED CT e ICD-10 a diversos elementos utilizados en las ontologías participantes de la RODM.

1. Identificación del vocabulario y su estructura a referenciar: En este caso, teniendo nuestro modelo base de la red, se identifica el uso de nombres de enfermedades como un elemento que puede ser referenciado a los vocabularios internacionalmente establecidos, como lo son el ICD-10 y la terminología de SNOMED CT. Ambas ontologías contienen códigos únicos para la terminología utilizada.
2. Analizar la forma en la que serán integrados a la RODM: para la referencia de la terminología de SNOMED CT se ha determinado utilizar la propiedad de dato *SCTID* cuyo dominio es la clase *Entidad.Clinica* y el rango de tipo *string*. Para la terminología de ICD-10, también se utilizó la propiedad de dato *ICD10* con el mismo dominio y rango de la propiedad anterior.
3. Dar formato de consulta en la aplicación: la integración de referencias externas a SNOMED CT y a ICD10 está enfocada para el trabajo a futuro de la RODM, el cuál está enfocado a la construcción de una aplicación gráfica de navegación dentro de la red, donde se puedan crear ligas a sitios oficiales de consulta de ambas referencias.

## 5.5. Metarrelaciones de la RODM

Como parte de la propuesta de metarrelaciones, la Tabla 5.5 muestra las metarrelaciones candidatas a considerar para la RODM, las cuales son seleccionadas con la

Tabla 5.5: Metarrelaciones candidatas

<b>Dominio</b>	<b>Metarrelación candidata</b>	<b>Rango</b>
Paciente	tieneExpedienteClinico	Expediente_Clinico
Paciente	tieneNotaMedica	Nota_Medica
Paciente	tieneTratamiento	Dosis_Indicada
Persona	resideEn	Localizacion_Geografica
Persona	tieneEscolaridad	Escolaridad
Persona	tieneDiagnostico	Entidad_Clinica
Nota_Medica	tieneTratamiento	Dosis_Indicada
Nota_Medica	tieneDiagnostico	Entidad_Clinica
Nota_Medica	esRedactadaPor	Medico
Medico	redacta	Nota_Medica
Medico	atiende	Paciente
Paciente	esAtendidoPor	Medico
Nota_Medica	recomiendaDieta	Dieta
Nota_Medica	recomiendaEjercicio	Ejercicio
Dieta	tieneComida	Comida
Dieta	tieneDesayuno	Desayuno
Dieta	tieneCena	Cena
Dieta	tieneColacion	Colacion

finalidad de evitar redundancias. Un ejemplo de lo anterior es la metarrelación *Paciente-tieneNotaMedica-Nota\_Medica*, la cual puede ser sustituida por la metarrelación *Paciente-tieneExpedienteClinico-Expediente\_Clinico*, ya que la clase *Expediente\_Clinico* está ligada a la *Nota\_Medica* por medio de una propiedad de objeto establecida dentro de la ontología a la cual pertenecen ambas clases, dejando así una representación más apegada al mundo real, puesto que el expediente clínico está formado por un conjunto de notas médicas.

Otro ejemplo es el caso del tratamiento farmacológico y el diagnóstico, donde el paciente puede ser diagnosticado temporalmente con un padecimiento y la asignación de su tratamiento puede variar de una consulta a otra dependiendo de la respuesta del paciente, esta información es relevante para el seguimiento por lo que registrar el diagnóstico y el tratamiento en la nota médica permite asociar una fecha a cada uno. Las metarrelaciones finales pueden ser consultadas en la Tabla A.25.

Tabla 5.6: Individuos por ontología

<b>Ontología</b>	<b>Cantidad de individuos</b>
Persona	171
Administración de la información clínica	1090
Entidades Clínicas	271
Localización geográfica	32
Escolaridad	13
Medida de control	577
Medicamentos	4121

## **5.6. Integración de recursos no ontológicos**

El uso de recursos no ontológicos dentro de la RODM está enfocados a dos tareas principales, crear instancias que satisfagan las definiciones a nivel de la red y enriquecerla por medio de la identificación de nuevas propiedades por medio de la explotación de la información.

### **5.6.1. Poblado de la red**

Para el caso de la RODM, se utilizan los recursos no ontológicos provenientes de las notas médicas como instancias de cada una de las ontologías, es decir, por cada instancia del tipo persona deberá tener una relación hacia un expediente clínico que a su vez contiene una o más instancias de tipo nota médica, estas últimas contienen valores asociados a las propiedades de tipo de dato establecidas en la ontología correspondiente. Durante el proceso de poblado basado en la estructura de la información para la creación de nuevas instancias de cada una de las ontologías y de la red, fueron identificados un total de 6,275 individuos y 3,519 nodos anónimos pertenecientes a la ontología Medicamento y a la RODM. En la Tabla 5.6 se muestra la cantidad de individuos por ontología.

### **5.6.2. Enriquecimiento de la RODM**

El enriquecimiento de la red se da por medio de la explotación de la información en lenguaje natural capturada dentro de la red en las diferentes propiedades de dato, utilizando la metodología de integración de recursos no ontológicos propuesta en este trabajo.

**Identificación del propósito y de las características del recurso a integrar, así como de la ontología correspondiente**

En el caso de aplicación del dominio de la DM en México, se establece que se desea integrar información acerca de enfermedades, síntomas y signos que un paciente presenta en un momento determinado a partir del registro de la exploración física, el análisis y los padecimientos actuales reportados dentro de las notas médicas con la finalidad de reforzar la asociación del paciente respecto a los tratamientos farmacológicos indicados en su receta, así como los efectos que podrían experimentar dicho paciente al consumir los fármacos indicados. Para esto se seleccionó la primera versión de la red de ontología propuesta en este trabajo, ya que cubre de forma total o parcial los dominios involucrados para alcanzar el objetivo: enfermedades, datos clínicos y medicamentos.

**Selección de los elementos que serán integrados y la forma de representación dentro de la ontología**

Para el caso de las enfermedades y síntomas, seguirán representándose en forma de individuos respecto a la estructura de la red de ontologías; los signos como propiedades de tipo de dato de la nota médica, la cual también será dominio de las propiedades de objeto que resulten de la identificación de las mismas dentro de las secciones de la nota médica. Los efectos de los medicamentos serán representados como instancias acorde a su clasificación y se enlazarán a los medicamentos que ya están establecidos dentro de la red a través de relaciones de objeto dependiendo el tipo del mismo (generalidades, interacciones, indicaciones, entre otros).

**Extracción de elementos candidatos**

Una vez definidos los elementos a integrar, se procede a la extracción de los mismos de forma semi-automática por medio del siguiente algoritmo:

1. Etiquetado de términos: para el etiquetado de la información proveniente de la nota médica, se utilizaron los vocabularios acerca de la *Clasificación Internacional de Enfermedades* (CIE-10), así como una lista de partes del cuerpo, signos, síntomas y medicamentos, los cuales aportan cada uno una etiqueta propia. La similitud entre el contenido de la nota médica y los vocabularios es calculada mediante la similitud coseno, si el valor es mayor o igual al 70%, entonces la cadena encontrada recibe la asignación de la etiqueta semántica correspondiente.
2. Identificación de las frases nominales: para los elementos que sólo fueron etiquetados de manera sintáctica, se procesan a través de patrones sintácticos modela-

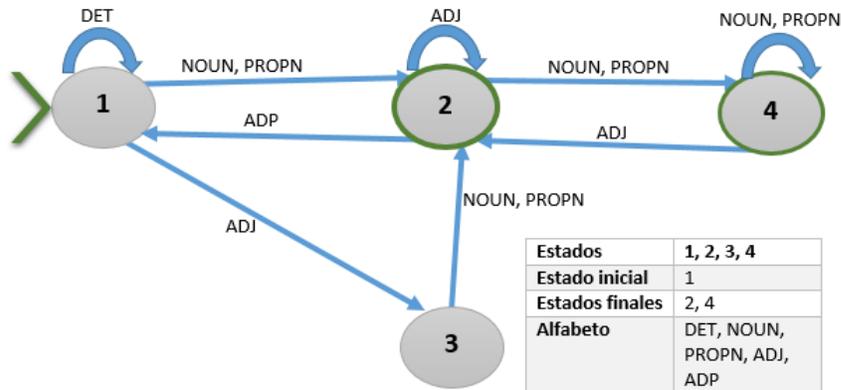


Figura 5.7: Autómata para la extracción de frases nominales.

Paciente	sexo	femenino	de		72 años	,	acude	a	control
ADJ	NOUN	ADJ	ADP	NUM	NOUN	PUNCT	VERB	ADP	NOUN
Exploración	Física	:	Paciente	de	sexo	Femenino	,	consiente	,
PROPN	ADJ	PUNCT	NOUN	ADP	NOUN	PROPN	PUNCT	ADJ	PUNCT
Análisis	:	Paciente	femenino	en	la	octava	década	de	la
NOUN	PUNCT	NOUN	ADJ	ADP	DET	ADJ	NOUN	ADP	DET
Lavado	de	manos	antes	de	comer	y	después	de	ir
ADJ	ADP	NOUN	ADV	ADP	VERB	CONJ	ADV	ADP	VERB
Glibenclamida		5 mg	tabletas	tomar		1 cada		12 horas	via
NOUN	NUM	NOUN	ADJ	VERB	NUM	DET	NUM	NOUN	ADP
Losartán		50 mg	tabletas	tomar		1 cada		12 horas	via
VERB	NUM	NOUN	ADJ	VERB	NUM	DET	NUM	NOUN	ADP
Ácido	Acetil	salicílico		300 mg	tabletas	efervescentes	tomar		2-Jan
PROPN	PROPN	ADJ	NUM	NOUN	ADJ	ADJ	VERB	NUM	NOUN
SE	INFORMA	A	LA	PACIENTE	QUE	SU	ESTADO	DE	SALUD
PRON	VERB	ADP	DET	NOUN	SCONJ	PROPN	NOUN	ADP	NOUN
Paciente	sexo	femenino	de		72 años	,	acude	a	control
ADJ	NOUN	ADJ	ADP	NUM	NOUN	PUNCT	VERB	ADP	NOUN
Exploración	Física	:	Paciente	de	sexo	Femenino	,	consiente	,
PROPN	ADJ	PUNCT	NOUN	ADP	NOUN	PROPN	PUNCT	ADJ	PUNCT
Análisis	:	Paciente	femenino	en	la	octava	década	de	la
NOUN	PUNCT	NOUN	ADJ	ADP	DET	ADJ	NOUN	ADP	DET

Figura 5.8: Muestra de la distribución de etiquetas en las notas médicas.

dos por medio de un autómata (ver Figura 5.7) el cual nace de la distribución de etiquetas (ver Figura 5.8).

Como resultado de esta etapa relacionada con el análisis y etiquetados de la información de las notas médicas, se seleccionaron 387 notas médicas, las cuales cumplen con la característica de contar con valores en tres propiedades de dato *tieneAnálisis*, *tieneExploracionFisica* y *tienePadecimientoActual*. De estas se obtuvieron un total de 721 términos semántica y sintácticamente etiquetados, en la Tabla 5.7 se observa la frecuencia de algunos términos y su etiqueta respectiva.

3. Identificación de relaciones y formación de tripletas: la identificación de relaciones de las notas médicas está regido por un conjunto de patrones asociados a cada tipo de etiqueta. Para el caso de los signos clínicos, debido a la defini-

Tabla 5.7: Frecuencia de términos etiquetados

Término	Etiqueta	Frecuencia
Diabetes mellitus tipo 2	enfermedad	64
Diabetes mellitus tipo 1	enfermedad	54
Hipertensión esencial primaria	enfermedad	41
glucosa	signoClinico	153
Colesterol total	signoClinico	61
Colesterol	signoClinico	31
Ruidos cardiacos adecuados en tono	NPHRASE	1
pies	parteDelCuerpo	4
refiere	VERB	10

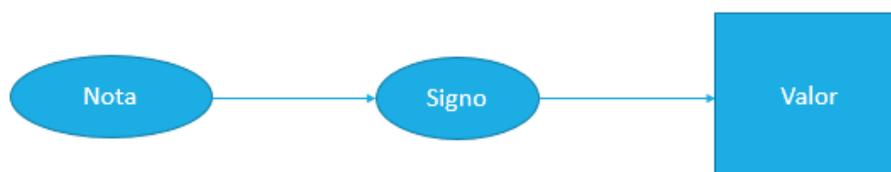


Figura 5.9: Patrón implícito de las propiedades de dato.

ción propia acerca de que un signo clínico es una manifestación que puede ser medida, se tomarán como propiedades de tipo de dato tomando el verbo *tiene* y agregando el nombre del signo y teniendo como rango un valor de tipo *string* o flotante (ver Figura 5.9). Adicionalmente, se detectó la existencia de un patrón implícito dentro de las notas médicas, donde algunas propiedades de dato tienen como contenido sólo un listado de síntomas y enfermedades, cada uno de estos será propuesto como el rango de una relación presenta con el dominio de la nota médica (ver Figura 5.10).

### Transformación de tripletas candidatas a recursos ontológicos e integración a la RODM

Para el caso de las notas médicas, todas las tripletas identificadas como propiedades de objeto serán asignadas con el IRI correspondiente a la red y el rango se manejará de acuerdo al etiquetado semántico, mientras que las propiedades de tipo de dato, serán asignadas dentro de la ontología de los datos clínicos. Un ejemplo de esto es la tripleta encontrada correspondiente a la *Nota186*, la cual es representada mediante el IRI de la ontología de datos clínicos (<http://www.modelo-datos.org/datos/#Nota186>), la rela-

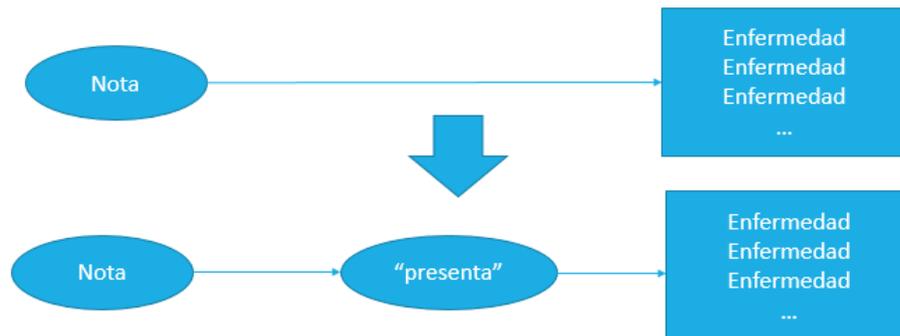


Figura 5.10: Patrón implícito de la propiedad de objeto *presenta*.



Figura 5.11: Ejemplo de tripleta en consola de inserción.

ción *presenta* con el IRI correspondiente a la red (<http://www.diabetes-mexico.or/red#presenta>) y finalmente, el rango que fue etiquetado de forma semántica como enfermedad teniendo así la Osteocondrosis Juvenil del Húmero con el IRI correspondiente a la ontología del mismo nombre (<http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedad#OsteocondrosisJuvenilDelHumero>) (ver Figura 5.11). En este mismo ejemplo se verificó la existencia del IRI de la *Nota186* en la ontología de datos clínicos, al existir se procedió a verificar si la propiedad de objeto ya existía en la red, al no encontrar una respuesta positiva se inserta nuevamente tomando como nombre la subcadena del IRI posterior al signo # y asignando como dominio la clase *Nota\_Medica* y como rango la clase *Enfermedad*. Al verificar si existe el rango, en el caso de no existir se inserta un nuevo individuo a la clase *Enfermedad*, posterior a esto se inserta los valores en la propiedad de objeto.

En total se analizaron 761 tripletas candidatas a la integración dentro de la RODM,

Tabla 5.8: Ejemplo de pares sugeridos

Relación	Rango
afirma	tristeza
conoce	lumbociatlagia cronica
controla	diabetes mellitus
controla	hipertension arterial
refiere	incontinencia urinaria
tieneGlucosa	274
tieneColesterol	240
presenta	Diabetes mellitus tipo 2
presenta	Enfermedad renal cronica etapa 3
presenta	Diabetes mellitus tipo 1 sin mencion de complicacion
presenta	Diabetes mellitus tipo 1
presenta	Artritis reumatoide seropositiva
tieneInsulina	21.4

la Tabla 5.8 muestra algunos ejemplos encontrados de pares (relación, rango) que tienen en común el dominio de instancias pertenecientes a la clase *Nota\_Medica*, de las cuales sólo 383 fueron agregadas dentro de la red. También 377 asociadas a la propiedad de objeto *presenta* y seis a la propiedad de objeto *presentaSintoma*. Para el caso de la información del catálogo del medicamento, se siguió el mismo proceso de las notas médicas, sólo que se analizaron los segmentos de información correspondientes a los efectos adversos, las precauciones y las contraindicaciones como candidatos a formar nuevas propiedades de objeto, ya que las generalidades y las interacciones contienen información extensa que no empata con el dominio ni con el nivel de detalle de la información de la red de ontologías. Estos últimos segmentos serán agregados a la red como propiedades de tipo de dato, teniendo así un total de 297 inserciones asociadas a la propiedad de objeto *tieneEfectosAdversos* (ver Figura 5.12, 176 inserciones asociadas a la propiedad de objeto *tieneContraindicacion* y 27 inserciones asociadas a la propiedad de objeto *tienePrecaucion*. En la Figura 5.13 se muestra la estructura de la RODM con el enriquecimiento de las propiedades de objeto.

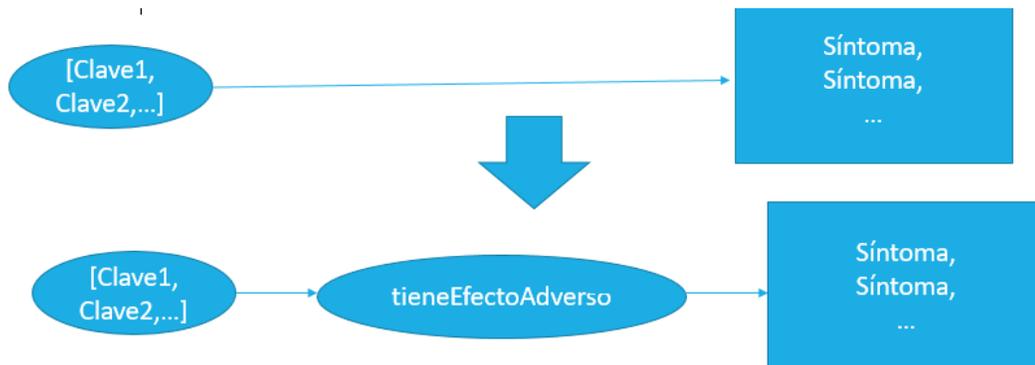


Figura 5.12: Tripletas correspondientes a los efectos secundarios.

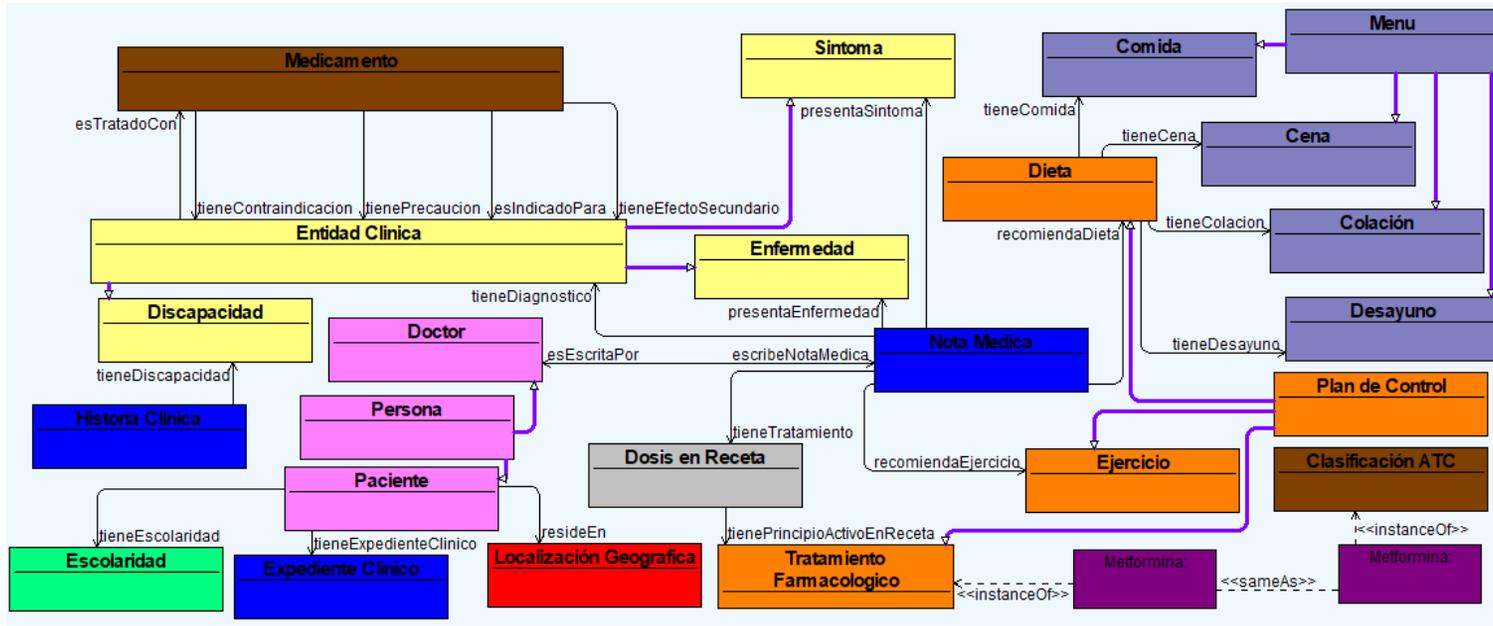


Figura 5.13: Diagrama general de la RODM.

### Evaluación de la integración

Para la evaluación de la propuesta de enriquecimiento por medio de tripletas, se identificaron manualmente 1164 tripletas, mientras que de forma automática fueron extraídas 460. Al comparar ambos conjuntos se obtuvieron 460 VP, 298 FP y 702 FN, teniendo así una Precisión de 0.607, un Recall de 0.396 y un F-measure de 0.479. Basándose en la precisión se puede concluir que la propuesta de tripletas es aceptable, sin embargo no se recomienda pasar por alto el proceso de selección manual mediante la consola, ya que de esta forma se tiene mayor control de la información que se agrega a la RODM.

Por su parte, la evaluación del impacto a la red debe verificar inicialmente la consistencia por medio del uso de un razonador, ya que el agregar información incorrecta podría generar inconsistencias en las definiciones. Para esto, se verificó nuevamente la consistencia en la RODM por medio del razonador Pellet (Incremental), obteniendo resultados favorables. Otra forma de medir el enriquecimiento de la representación del dominio mediante la formulación de nuevas preguntas de competencia especializadas que antes del enriquecimiento no podrían ser respondidas, ya que con el enriquecimiento la cobertura de representación del dominio se vuelve más amplia. En el caso de la RODM, antes del enriquecimiento se carecía de información relacionada con los efectos secundarios, contraindicaciones y precauciones de los medicamentos, ya que si bien se contaba con información expresada en lenguaje natural en el catalogo de medicamentos, no se tenía identificados los puntos claves para identificar las entidades clínicas involucradas. De lo anterior se desprende la siguiente pregunta de competencia que gracias al enriquecimiento que genera nuevas metarrelaciones como lo es *tieneEfectoSecundario*, ahora puede ser respondida:

¿Cuáles son los efectos secundarios que puede presentar un paciente debido al tratamiento farmacológico indicado en su receta?

PREFIX dato: <<http://www.modelo.org/datos#>>

```

PREFIX per: <http://www.personas-mexico.org/persona#>
PREFIX med: <http://www.medicamentos-mexico.org/medicamento#>
PREFIX red: <http://www.diabetes-mexico.org/red#>
SELECT ?paciente ?efectos
where{ ?paciente a per:Paciente.
?paciente red:tieneExpedienteClinico ?exp.
?exp dato:tieneNotaMedica ?nota.
?nota red:tieneTratamiento ?nodo.
?nodo red:tieneActivoEnReceta ?actR.
?actR owl:sameAs ?activo.
?nodomed med:tienePrincipioActivo ?activo.
?medicam med:tienePrincipioActivoPorPorcion ?nodomed.
?medicam red:tieneEfectoAdverso ?efecto}

```

Otra forma de identificar el impacto es el diseño de nuevas reglas de inferencia, que al igual que las nuevas consultas especializadas, no pudieron ser creadas antes de la integración, como lo es el siguiente ejemplo para mostrar una alerta referente a la receta de un tratamiento farmacológico que está contraindicado respecto al diagnóstico en una misma nota médica.

```

tieneDiagnostico(?nota, ?diagnostico)^tieneTratamiento(?nota, ?nodo1)^tieneActivoEnReceta(?nodo, ?activo)^sameAs(?activo, ?acmed)^tienePrincipioActivo(?nodo2, ?acmed)^tienePrincipioActivoPorPorcion(?medi, ?nodo2)^tieneContraindicacion(?medi, ?diagnostico) -¿tieneAlerta(?nota, "Verificar la receta, ya que existe un medicamento recetado que está contraindicado respecto al diagnóstico")

```

## 5.7. Evaluación de la RODM

La propuesta de evaluación de la red de ontologías propone la validación de esta por medio de la traducción y respuesta de las preguntas de competencia definidas para modelar el propósito. Al obtener respuestas correctas de las preguntas, se corrobora que la red está cumpliendo con el objetivo para la que fue diseñada (validación basada en la aplicación). Algunas de las preguntas de competencia fueron validadas por siete expertos para medir su relevancia respecto al tema de la DM en cuestión de información considerada así como el vocabulario utilizado (validación basada en experiencia del usuario), lo que fortalece todo el modelo, ya que al ser relevantes se puede decir que el modelo cubre los aspectos principales del dominio. En la Tabla 5.9 se puede observar el porcentaje de expertos que consideran Muy relevante, Relevante o Poco re-

Tabla 5.9: Relevancia de preguntas de competencia de la RODM

<b>Pregunta de competencia</b>	<b>Muy relevante</b>	<b>Relevante</b>	<b>No relevante</b>
¿Cuáles son los principios activos recetados en las notas médicas que tienen como diagnóstico la DMT2?	71.4	0	28.6
¿Cuáles son los índices de masa corporal en pacientes que han sido diagnosticados con DMT1?	42.9	28.6	28.6
¿Cuáles son los antecedentes no patológicos de los pacientes que viven en Puebla?	42.9	42.9	14.3
¿Cuáles son los pacientes que han presentado obesidad grado 1 después de los 50 años?	14.3	42.9	42.9
¿Cuáles son las tasas metabólicas basales de los pacientes con hipertensión arterial sistemática?	42.9	42.9	14.3
¿Cuáles son los medicamentos que no se le pueden recetar a un paciente dependiente de la insulina?	71.4	28.6	0
¿Cuáles son los biotipos que puede presentar un paciente diabético?	42.9	57.1	0
¿Cuáles son las presentaciones de la insulina lispro?	71.4	28.6	0
¿Cuál es el peso de un paciente?	85.7	14.3	0

levante a algunas de las preguntas de competencia. Por su parte, en la Tabla A.29 de la sección A.10.7 se muestran las preguntas de competencia establecidas en la etapa de la identificación del propósito de la red de ontologías, así como la traducción de ellas en el lenguaje de consulta SPARQL y las respuestas dadas por la RODM.

Para la parte de la verificación, se agregó información nueva de pacientes para verificar la parte contextual de la red respecto al nuevo formato de datos generados por Synthea (Walonoski y cols., 2018), reforzando dicho enfoque con criterios de evaluación propuestos en la metodología de diseño de redes. Synthea es un generador de datos clínicos sintéticos por medio del uso de datos demográficos para modelar el seguimiento de un paciente hasta por 10 años. Los datos generados están estructurados en tablas por entidades, como lo son: alergias, planes de cuidado, reclamos, transacción de reclamos, condiciones, dispositivos médicos, consultas, estudios por imágenes, inmunizaciones, medicamentos, observaciones, organizadores, pacientes, transacciones de pago, aseguradoras, procedimientos médicos, proveedores y suministros. En la Figura

5.14, se muestra el diagrama de la ontología correspondiente a la representación de los datos generados por Synthea. Sin embargo, para hacer una integración o comparativa de datos capturados en la red, se generó un modelo simplificado donde se discrimina la información relacionada al pago de servicios, todo esto con la finalidad de no aumentar la demanda de recursos computacionales, así como generar un modelo con menor redundancia (ver Figura 5.15).

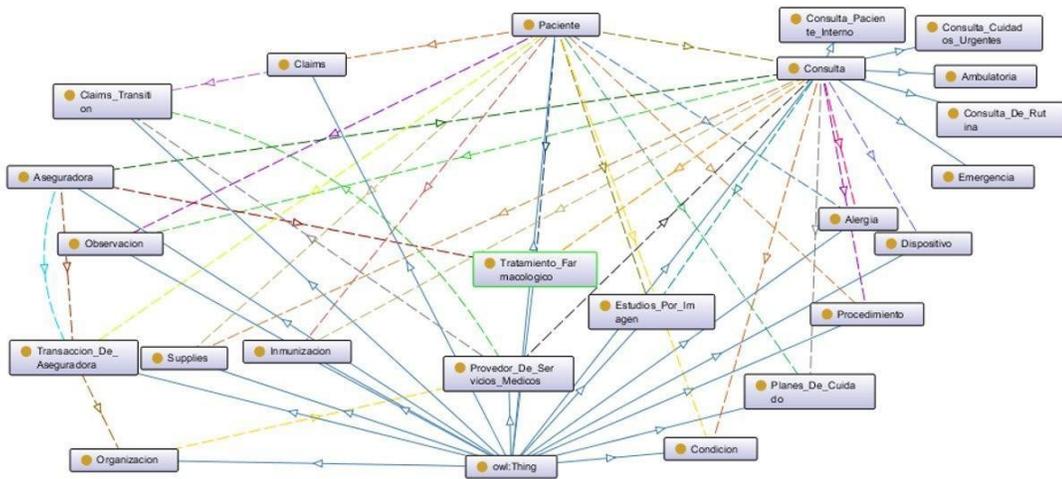


Figura 5.14: Diagrama de clases de la ontología Synthea.

Para poblar la ontología de Synthea se utilizó el conjunto de datos Synthea COVID-19 (Walonoski y cols., 2020). Posteriormente, la ontología ya poblada se integra a la red un nuevo formato de representación de información clínica, con lo cual se obtienen correspondencias semánticas entre diversos elementos, como lo son:

- Paciente.
- Tratamiento farmacológico.
- Alergia (en forma de atributo)
- Entidad Clínica y Descripción de la condición.
- Planes de cuidado y Plan de Control.
- Uso de claves de SNOMED CT.

Para la integración de dicha información se analizan los casos de uso de las correspondencias de las clases Paciente y de las entidades clínicas.

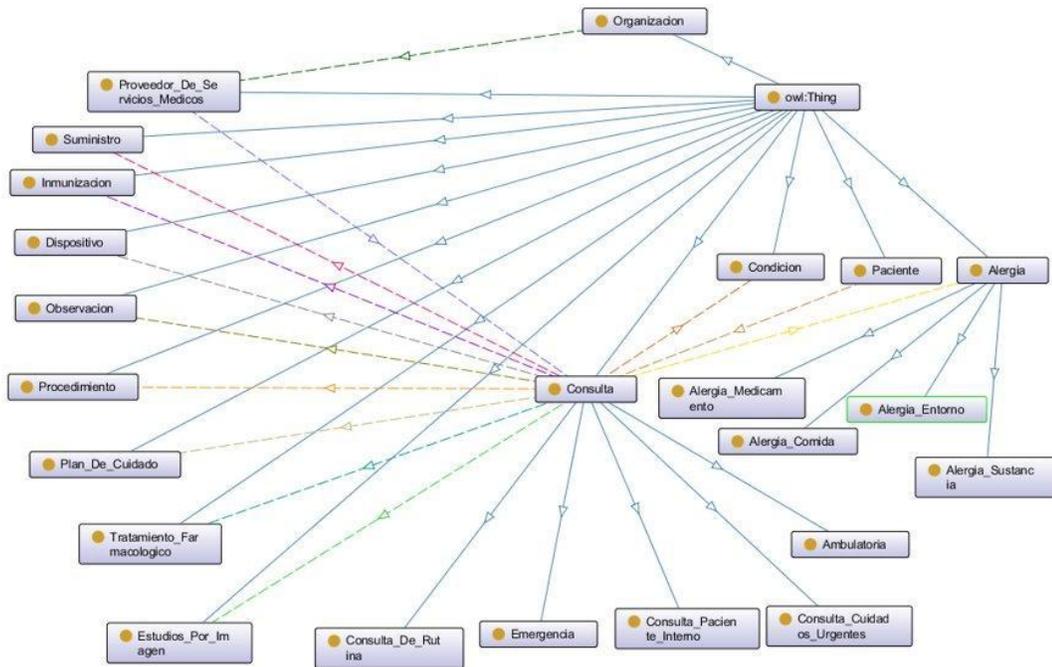


Figura 5.15: Diagrama de clases de la ontología Synthea simplificada.

### 5.7.1. Caso de uso de clase Paciente

Para el caso de las correspondencias de las clases paciente, se analizó la forma de vincular ambas clases, para lo cual se plantean las siguientes opciones:

1. Creación de una equivalencia directa entre ambas clases. En esta equivalencia se importa cada una de las definiciones respecto a la otra, así como los individuos de las clases involucradas (ver Figura 5.16).
2. Creación de una superclase Paciente. La definición de dicha superclase está compuesta por la unión de las clases Paciente de las ontologías involucradas, sin embargo, dicha superclase solo es subclase de una definición y no del conjunto de definiciones de las clases que la componen. La superclase utiliza el IRI de la red (<http://www.diabetes-mexico.org/red#>), lo cual permite utilizar el mismo nombre (ver Figura 5.17).
3. Equivalencia de propiedad de dato. En esta equivalencia se busca encontrar una correspondencia semántica entre dos propiedades de dato, cuyas clases dominios sean también correspondencias semánticas entre ellas. Para las clases *Paciente*



Figura 5.16: Diagrama de equivalencia directa de clases Paciente.

tienen correspondencias semánticas en la representación del nombre del paciente, sin embargo, la clase *Paciente* perteneciente a la ontología *Persona* hereda el atributo de la superclase del mismo nombre, por lo que la inferencia sería incorrecta. Otro atributo que comparten es el sexo del paciente representado en las propiedades *tieneSexo* y *tieneGenero*. Al declarar ambas propiedades como equivalentes, el razonador infiere en las clases *Paciente* la definición del resto (ver Figura 5.18).

4. Equivalencia de propiedades de objeto mediante el uso de reglas SWRL. Para utilizar este enfoque es necesario identificar si existe una propiedad de objeto que sea equivalente a otra donde existan correspondencias entre los dominios y rangos respectivamente. En caso de no existir tal correspondencia directamente, se puede modelar la asociación mediante reglas SWRL. Para el caso de las clases *Paciente* no existe una propiedad de objeto equivalente, sin embargo, la asociación del paciente respecto a la consulta clínica en la ontología *Synthea* es equivalente a la asociación entre el paciente con la nota médica mediante el expediente clínico, por lo que se modeló una regla SWRL para inferir esta equivalencia:  $tieneExpedienteClinico(?p, ?ex) \wedge tieneNotaMedica(?ex, ?n) \rightarrow tieneConsulta(?p, ?n)$  Con dicha regla no se genera ninguna equivalencia en las clases involucradas, sólo se infiere la clasificación de los individuos en la clase *Paciente* y en la clase *Consulta* de la ontología *Synthea* (ver Figura 5.19).

### 5.7.2. Caso correspondencia en nombres de entidades clínicas

Dentro de la ontología *Synthea* existen atributos relacionados con entidades clínicas como enfermedades, síntomas y condiciones médicas. Dichos atributos son representados como propiedades de dato, ya que no existe una clasificación dentro de la misma ontología para estos elementos. Sin embargo, dentro de la red de ontologías de la diabetes si existe dicha clasificación, por lo que se concluye que existen correspondencias



Figura 5.17: Diagrama de equivalencia por superclases Paciente.

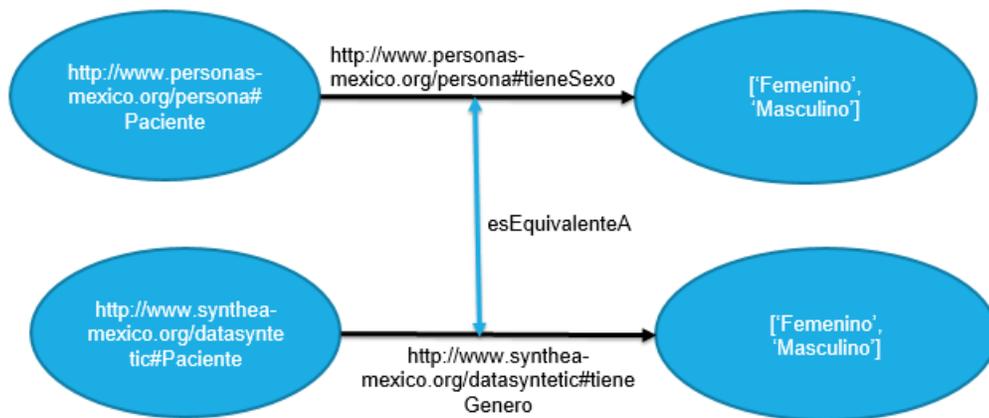


Figura 5.18: Diagrama de equivalencia por propiedad de dato.

semánticas. Para modelar estas correspondencias existen diversas propuestas para abordarlo donde se considera la equivalencia entre elementos asociados a un padecimiento como lo es la condición y el motivo de la consulta, los cuales están representados como atributos de instancias de las clases del mismo nombre. Junto a ellos existe un atributo que contiene el código de referencia de la entidad clínica correspondiente al estándar SNOMED CT, dicho estándar también está considerado dentro de la red por lo cual existe una correspondencia directa respecto a los códigos. Sin embargo, existe la diferencia que las entidades clínicas dentro de la red están representadas como instancias y no como atributos, como el caso de la ontología Synthea. Para completar la correspondencia semántica se decide crear una nueva propiedad de objeto y una regla de equivalencia de códigos SNOMED CT, donde por medio del swrlb:stringEqualIgnoreCase los

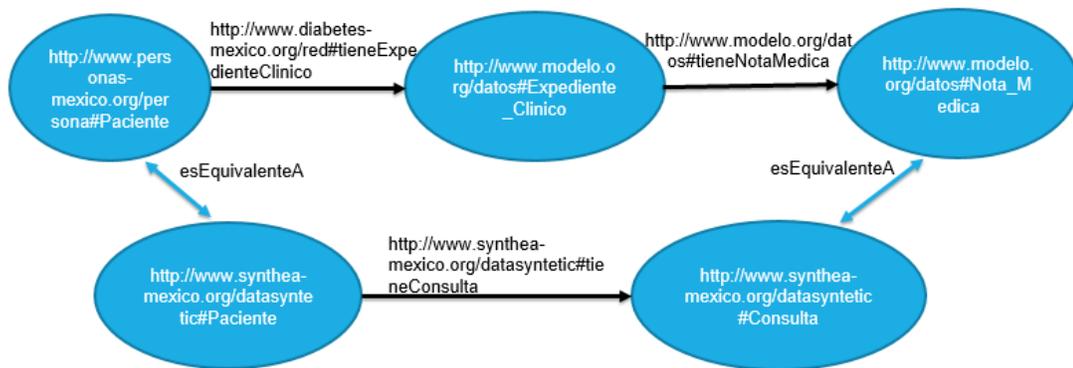


Figura 5.19: Diagrama de equivalencia por propiedad de objeto.

códigos identificados como iguales sean asociados por medio de la nueva propiedad de objeto de equivalencia a la instancia de la ontología de las entidades clínicas. Por ejemplo, la regla *datasyntetic:tieneCodigoCondicion(?con, ?cod1)^red:SCTID(?enf, ?cod2)^swrlb:stringEqualIgnoreCase(?cod1, ?cod2) -¿red:tieneEquivalenciaCondicion(?con, ?enf)*, establece que si el código de la condición médica de un paciente en los datos de Synthea también fue registrado como atributo de una instancia perteneciente a la ontología Entidad Clínica, entonces la condición médica es equivalente a la entidad clínica a través de la asociación de la propiedad de objeto *tieneEquivalenciaCondicion*. Finalmente, después de la integración del formato Synthea, se realizaron pruebas por medio del razonador Pellet para verificar la consistencia de la red y el funcionamiento de las reglas SWRL, obteniendo resultados positivos. En tanto que, gracias al diseño de la ontología Synthea, se mantienen módulos bien definidos identificados por un IRI que a su vez permite reutilizar uno o más de estos de forma independiente. Para la parte de la adaptabilidad, la red obtiene resultados favorables, ya que por medio de las correspondencias se ha logrado integrar nueva información sin comprometer la estructura o el propósito de la red.

### 5.7.3. Aplicación de criterios de evaluación

Para profundizar en la verificación de la red de ontologías, se analiza en la Tabla 5.10 el uso de los criterios de calidad propuestos en la metodología de diseño.

Tabla 5.10: Uso de criterios de evaluación.

<b>Criterio</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Resultado</b>
Consistencia	Verificación por medio del razonador Pellet Incremental	No existen inconsistencias
Modularidad	El diseño de la ontología Synthea se mantienen módulos bien definidos identificados por un IRI que a su vez permite reutilizar uno o más de estos de forma independiente	Existe la modularidad dentro de la red
Adaptabilidad	Se ha logrado integrar nueva información sin comprometer la estructura o el propósito de la red	Existe la modularidad

---

## Conclusiones y trabajo futuro

---

Este trabajo presenta una metodología de diseño de redes de ontologías del área médica que permite el diseño, reutilización y enriquecimiento de ontologías por medio de recursos ontológicos y no ontológicos. Utilizar un enfoque de generación de redes de ontologías ofrece un modelo de representación semántica de la información y el conocimiento por medio de módulos bien definidos interconectados por metarrelaciones, las cuales son fáciles de identificar, ya que pertenecen al IRI propio del dominio en general. Este enfoque permite que cada uno de los módulos utilizados puedan ser fácilmente reutilizados, modificados o dar mantenimiento de forma independiente.

La metodología de diseño comienza con la definición de dominio y requerimientos para la red de ontologías, esto permite ir identificando los elementos necesarios para la construcción de la misma, por lo que es necesario adquirir constantemente información adicional que sirva para interconectar las diversas ontologías que serán utilizadas. Dentro de la definición, se establecen ontologías clave para resaltar los dominios que participan dentro de la red de ontologías, por lo que un proceso importante es el diseño e integración de ontologías.

Respecto a la reutilización de ontologías, existen diversas metodologías que orientan sobre la construcción de cada uno de los elementos, pero es importante orientarlas a resolver los problemas de diseño que se puedan presentar. Por ejemplo, el uso de ontologías grandes como SNOMED CT, a pesar de lo completo de la representación, existen algunas desventajas como lo son:

- Baja legibilidad: al contar con demasiada información es difícil visualizar y ma-

nejarse la representación.

- Alta demanda de rendimiento computacional: la alta demanda crece según la integración de nuevas ontologías, por lo que es difícil acceder a las definiciones de la ontología e incluso integrar un agente razonador.
- Dificultad para el diseño de aplicaciones: es difícil diseñar aplicaciones que aprovechen en su totalidad todos los elementos ontológicos debido a la variedad de dominios que suelen abarcar.
- La información utilizada está segmentada en varios pares de *atributo-valor* que es difícil emparejar los elementos ontológicos con la información real.

De lo anterior se concluye que a pesar de las ventajas que se ofrece al reutilizar modelos grandes, es un proceso muy costoso la adaptación a modelos particulares y no siempre es posible realizar esta tarea sin perder información de los modelos originales; sin embargo, no se descarta la integración de modelos ontológicos más generales que ayuden a dar soporte y cobertura a los modelos particularmente diseñados por medio de la integración de vocabularios.

Una alternativa para evitar trabajar con modelos grandes, es dar prioridad a la representación de la información relevante que permita crear modelos ontológicos más pequeños que proporcionan mayor legibilidad y con muy bajo costo computacional. Es importante considerar el tamaño que puede tener la red, ya que si es muy grande tendrá un alta demanda de recursos computacionales y posiblemente se vea afectada la función del razonamiento por el consumo de memoria RAM. Además, la metodología de diseño de redes ofrece hacer referencias externas dentro de la red, las cuales permiten involucrar diversos vocabularios establecidos sin necesidad de involucrar el rendimiento. Estas permitirían crear fácilmente hipervínculos a fuentes externas de información en una aplicación web, sin embargo, este enfoque limita la tarea de inferir nueva información dentro de la red debido a la restricción de la inclusión de una estructura ontológica en su totalidad.

La metodología para la integración de recursos no ontológicos ofrecida dentro de la metodología de diseño de redes, permite la modificación controlada de la estructura de la ontología por ser un proceso semiautomático, donde el desarrollador de la red o el usuario pueden avalar dicha modificación expresada a través de tripletas legibles para el poblado y el enriquecimiento de la red. El uso de recursos no ontológicos para el enriquecimiento de una red de ontologías es muy útil, pues se amplía la cobertura del dominio de representación de la misma, teniendo así una oportunidad de generar nuevas inferencias de información, realizar consultas más especializadas o incluso diseñar nuevas tareas que la ontología podría resolver. Para esto, la metodología de integración

de recursos no ontológicos propone la identificación de posibles instancias pertenecientes a un vocabulario determinado y la detección de relaciones semánticas entre ellas. Esto se realiza mediante un grafo que simula un autómata para la extracción de términos basada en el uso de etiquetas morfo-sintácticas. Por su parte, el poblado de la red de ontologías permite reforzar la interconexión de todas las ontologías, ya que a través de la satisfactibilidad de la red se verifica la satisfactibilidad de cada una de las ontologías.

La evaluación de la red de ontologías resultante es una tarea necesaria, ya que a través de esta se puede determinar si el modelo representa las características del mundo real y cumple con el propósito para el que fue diseñado. Utilizar el enfoque de evaluación basado en validación y verificación permite abordar aspectos del uso y diseño de la red, ya que la validación se enfoca en cuidar aspectos de la funcionalidad final de la ontología, mientras que la verificación está enfocada a procesos de desarrollo y mantenimiento de esta.

La RODM ofrece un modelo que cubre los principales dominios que conforman a su vez el dominio de la DM, orientando la información a las características de la población mexicana, esto gracias al uso de los boletines de seguimiento epidemiológico de la DM. Estos boletines tienen la ventaja de tener información estadística de la población, por lo que facilita la identificación de elementos relevantes del dominio.

Incorporar los vocabularios de SNOMED CT e ICD-10, así como la ontología de la clasificación ATC aumenta la interoperabilidad semántica de RODM, ya que permiten identificar un conjunto de instancias por medio de estándares internacionales.

El enriquecimiento de la RODM permite explotar la información contenida en las notas médicas, siendo esto relevante para el seguimiento del paciente, ya que pasa de ser información almacenada en lenguaje natural dentro de un atributo a información sintetizada y estructurada semánticamente bajo el mismo modelo.

El diseño de la ontología de Synthea, es un ejemplo de como la generación de nuevas ontologías para la representación de grandes volúmenes de información facilita la representación correcta de dicho conjunto, así como una fácil integración a la RODM sin necesidad de modificar la estructura principal.

La evaluación de la RODM obtuvo resultados favorables para los enfoques de validación y verificación, por lo que se concluye que es funcional ante el registro de nuevos pacientes cuya información está modelada bajo otro formato sin necesidad de perder sus propiedades y realizando cambios mínimos en la estructura.

El trabajo futuro de la RODM es la validación de las definiciones por un médico experto y la implementación del modelo para su acceso mediante la web. Respecto a la metodología de diseño, abordar nuevos casos de uso respecto a otras enfermedades para extender la funcionalidad de la misma.

---

## Referencias

---

- Abu-Nasser, B. (2017). Medical expert systems survey. *International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS)*, 1(7), 218–224.
- Adeli, H. (2014). *Expert systems in construction and structural engineering*. CRC Press.
- Afify, Y. M., Badr, N. L., Moawad, I. F., y Tolba, M. F. (2017). Evaluation of cloud service ontologies. En *Intelligent computing and information systems (icicis), 2017 eighth international conference on* (pp. 144–153).
- Alharbi, R. F., Berri, J., y El-Masri, S. (2015). Ontology based clinical decision support system for diabetes diagnostic. En *2015 science and information conference (sai)* (pp. 597–602).
- Ali, F., Islam, S. R., Kwak, D., Khan, P., Ullah, N., Yoo, S.-j., y Kwak, K. S. (2018). Type-2 fuzzy ontology–aided recommendation systems for iot–based health-care. *Computer Communications*, 119, 138–155.
- Amith, M. F., He, Z., Bian, J., Lossio-Ventura, J. A., y Tao, C. (2018). Assessing the practice of biomedical ontology evaluation: Gaps and opportunities. *Journal of biomedical informatics*.
- Antoniou, G., y Van Harmelen, F. (2004). Web ontology language: Owl. En *Handbook on ontologies* (pp. 67–92). Springer.
- Apolinario, Ó., Medina-Moreira, J., Lagos-Ortiz, K., Luna-Aveiga, H., García-Díaz, J. A., y Valencia-García, R. (2018). Tecnologías inteligentes para la autogestión de la salud. *Procesamiento del Lenguaje Natural*, 61, 159–162.
- Aronson, J. E., Liang, T.-P., y Turban, E. (2005). *Decision support systems and intelligent systems* (Vol. 4). Pearson Prentice-Hall.

- Baader, F., Horrocks, I., y Sattler, U. (2004). Description logics. En *Handbook on ontologies* (pp. 3–28). Springer.
- Badaró, S., Ibañez, L. J., y Agüero, M. J. (2013). Sistemas expertos: fundamentos, metodologías y aplicaciones. *Ciencia y tecnología*(13), 349–364.
- Barchini, G. E., y Álvarez, M. M. (2010). Dimensiones e indicadores de la calidad de una ontología. *Avances en Sistemas e Informática*, 7(1), 29–38.
- Borst, W. N. (1997). *Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse* (Tesis Doctoral no publicada). University of Twente, Netherlands.
- Brank, J., Grobelnik, M., y Mladenic, D. (2005). A survey of ontology evaluation techniques. En *Proceedings of the conference on data mining and data warehouses (sikdd 2005)* (pp. 166–170).
- Bravo, M., Hoyos Reyes, L. F., y Reyes-Ortiz, J. A. (2019). Methodology for ontology design and construction. *Contaduría y Administración*, 64(4).
- Bruner, J. S., y Olson, D. R. (1973). Aprendizaje por experiencia directa y aprendizaje por experiencia mediatizada. *Perspectivas*, 3(1), 21–41.
- Bueno, L. I. L., y Ch, L. R. O. (2002). Una propuesta de la lógica terminológica: El lenguaje de conceptos. *Ingeniería e Investigación*(49), 65–68.
- Campos, P. M., Reginato, C. C., Almeida, J. P. A., Cesar, J., Nardi, M. P. B., de Almeida Falbo, R., y Guizzardi, R. S. (2018). Building an ontology network to support environmental quality research: First steps. En *Proceedings of the xi seminar on ontology research in brazil and ii doctoral and masters consortium on ontologies* (pp. 227–232).
- Casillas, A., Pérez, A., Oronoz, M., Gojenola, K., y Santiso, S. (2016). Learning to extract adverse drug reaction events from electronic health records in spanish. *Expert Systems with Applications*, 61, 235–245.
- Chen, L., Lu, D., Zhu, M., Muzammal, M., Samuel, O. W., Huang, G., ... Wu, H. (2019). Omdp: An ontology-based model for diagnosis and treatment of diabetes patients in remote healthcare systems. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 15(5), 1550147719847112.
- Chmielewski, M., Paciorkowska, M., y Kiedrowicz, M. (2017). A semantic similarity evaluation method and a tool utilised in security applications based on ontology structure and lexicon analysis. En *Mathematics and computers in sciences and in industry (mcsi), 2017 fourth international conference on* (pp. 224–233).

- Código atc.* (2019). Descargado de [https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3digo\\_ATC](https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3digo_ATC) (Accedido 24-10-2019)
- Cole-Lewis, H., Smaldone, A., Davidson, P., Kukafka, R., Tobin, J., Cassells, A., ... Mamykina, L. (2016). Participatory approach to the development of a knowledge base for problem-solving in diabetes self-management. *International journal of medical informatics*, 85(1), 96–103.
- Corcho, O., Chaves-Fraga, D., Toledo, J., Arenas-Guerrero, J., Badenes-Olmedo, C., Wang, M., ... Zhang, P. (2021). A high-level ontology network for ict infrastructures. En *International semantic web conference* (pp. 446–462).
- Couldry, N., y Kallinikos, J. (2018). Ontology. *The SAGE Handbook of Social Media*, 146–159.
- Cristani, M., y Cuel, R. (2005). A survey on ontology creation methodologies. *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)*, 1(2), 49–69.
- Cruz-Gutiérrez, V., y López, A. S. (2015). Un sistema experto difuso en la web para diagnóstico de diabetes. *Research in Computing Science*, 107, 145–155.
- Daghistani, T., Al Shammari, R., y Razzak, M. I. (2015). Discovering diabetes complications: an ontology based model. *Acta Informatica Medica*, 23(6), 385.
- De Bruijn, J., Ehrig, M., Feier, C., Martín-Recuerda, F., Scharffe, F., y Weiten, M. (2006). Ontology mediation, merging and aligning. *Semantic web technologies*, 95–113.
- de Matos, P., Dekker, A., Ennis, M., Hastings, J., Haug, K., Turner, S., y Steinbeck, C. (2010). Chebi: a chemistry ontology and database. *Journal of cheminformatics*, 2(1), 6.
- Donnelly, K. (2006). Snomed-ct: The advanced terminology and coding system for ehealth. *Studies in health technology and informatics*, 121, 279.
- Dragisic, Z., Ivanova, V., Lambrix, P., Faria, D., Jiménez-Ruiz, E., y Pesquita, C. (2016). User validation in ontology alignment. En *International semantic web conference* (pp. 200–217).
- Elhefny, M., Elmogy, M., Elfetouh, A., y Badria, F. (2016). Foorc: A fuzzy ontology-based representation for obesity related cancer knowledge. *International Journal of Intelligent Computing and Information Sciences*, 16(3), 15–36.

- El-Sappagh, S., y Ali, F. (2016). Ddo: a diabetes mellitus diagnosis ontology. En *Applied informatics* (Vol. 3, pp. 1–28).
- El-Sappagh, S., y Elmogy, M. (2016). A decision support system for diabetes mellitus management. *Diabetes Case Rep*, 1(102), 2.
- El-Sappagh, S., y Elmogy, M. (2017). A fuzzy ontology modeling for case base knowledge in diabetes mellitus domain. *Engineering science and technology, an international journal*, 20(3), 1025–1040.
- El-Sappagh, S., Elmogy, M., y Riad, A. (2015). A fuzzy-ontology-oriented case-based reasoning framework for semantic diabetes diagnosis. *Artificial intelligence in medicine*, 65(3), 179–208.
- El-Sappagh, S., Kwak, D., Ali, F., y Kwak, K.-S. (2018). Dmto: a realistic ontology for standard diabetes mellitus treatment. *Journal of biomedical semantics*, 9(1), 8.
- Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A., y Juristo, N. (1997). Methontology: from ontological art towards ontological engineering. *Engineering Workshop on Ontological Engineering (AAAI97)*.
- Finke, M. T., Filice, R. W., y Kahn Jr, C. E. (2019). Integrating ontologies of human diseases, phenotypes, and radiological diagnosis. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 26(2), 149–154.
- for Biomedical Ontology, N. C. (2005). *Bioportal*. Descargado de <https://bioportal.bioontology.org/> (Accedido: 15-12-2021)
- Galopin, A., Bouaud, J., Pereira, S., y Séroussi, B. (2015). An ontology-based clinical decision support system for the management of patients with multiple chronic disorders. En *Medinfo* (pp. 275–279).
- Gangemi, A., Catenacci, C., Ciaramita, M., y Lehmann, J. (2006). Modelling ontology evaluation and validation. En *European semantic web conference* (pp. 140–154).
- Giarratano, J., y Riley, G. (2001). *Sistemas expertos: principios y programación*. Thomson.
- Gómez-Pérez, A. (2001). Evaluation of ontologies. *International Journal of intelligent systems*, 16(3), 391–409.
- Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, 5(2), 199–220.

- Gruber, T. R. (1995). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? *International journal of human-computer studies*, 43(5-6), 907–928.
- Harrow, I., Jiménez-Ruiz, E., Splendiani, A., Romacker, M., Woollard, P., Markel, S., ... Waaler, A. (2017). Matching disease and phenotype ontologies in the ontology alignment evaluation initiative. *Journal of biomedical semantics*, 8(1), 55.
- Herrero-Zazo, M., Hastings, J., Segura-Bedmar, I., Croset, S., Martinez, P., y Steinbeck, C. (2013, 01). An ontology for drug-drug interactions. *CEUR Workshop Proceedings*, 1114.
- Hlomani, H. (2014). *Multidimensional data-driven ontology evaluation* (Tesis Doctoral no publicada). The University of Guelph.
- Hlomani, H., y Stacey, D. (2014). Approaches, methods, metrics, measures, and subjectivity in ontology evaluation: A survey. *Semantic Web Journal*, 1(5), 1–11.
- Huertas, A. M. S. (2006). Lógicas para la red. *Colecciones Azafea*, 8, 85–102.
- Huitzil, I., Straccia, U., Díaz-Rodríguez, N., y Bobillo, F. (2018). Datil: Learning fuzzy ontology datatypes. En *International conference on information processing and management of uncertainty in knowledge-based systems* (pp. 100–112).
- Hyeon, J., Oh, K.-J., Kim, Y. J., Chung, H., Kang, B. H., y Choi, H.-J. (2016). Constructing an initial knowledge base for medical domain expert system using induct rd. En *2016 international conference on big data and smart computing (bigcomp)* (pp. 408–410).
- Iqbal, R., Murad, M. A. A., Sliman, L., y da Silva, C. P. (2018). A mathematical evaluation for measuring correctness of domain ontologies using concept maps. *Measurement*, 118, 73–82.
- Jain, S., y Meyer, V. (2018). Evaluation and refinement of emergency situation ontology. *Int J Inform Educ Technol*, 8(10), 713–719.
- Khozouie, N., Fotouhi-Ghazvini, F., y Minaei-Bidgoli, B. (2017). Developing a context-aware mobile patient monitoring framework with an ontology-based approach. En *Smart instrumentation, measurement and application (icsima), 2017 IEEE 4th international conference on* (pp. 1–5).
- Köhler, S., Gratian, D., Baynam, G., Palmer, R., Dawkins, H., Segal, M., ... Sullivan, K. (2018). Expansion of the Human Phenotype Ontology (HPO) knowledge base and resources. *Nucleic Acids Research*, 47(D1), D1018-D1027.

- Levachkine, D. (2008). *Alineación de ontologías usando el método boosting* (Tesis Doctoral no publicada). INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.
- Liaw, S.-T., Taggart, J., Yu, H., de Lusignan, S., Kuziemy, C., y Hayen, A. (2014). Integrating electronic health record information to support integrated care: practical application of ontologies to improve the accuracy of diabetes disease registers. *Journal of Biomedical Informatics*, 52, 364–372.
- Lin, K., Wu, M., Wang, X., y Pan, Y. (2016). Medledge: a q&a based system for constructing medical knowledge base. En *2016 11th international conference on computer science & education (iccse)* (pp. 485–489).
- Liu, Q., Wang, J., Zhu, Y., y He, Y. (2017). Ontology-based systematic representation and analysis of traditional chinese drugs against rheumatism. *BMC systems biology*, 11(7), 130.
- López Espino, M., y Mingote Adán, J. C. (2008, 12). Fibromialgia. *Clínica y Salud*, 19, 343 - 358. Descargado de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1130-527420080003000005&nrm=iso](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1130-527420080003000005&nrm=iso)
- Lourdusamy, R., y John, A. (2018). A review on metrics for ontology evaluation. En *2018 2nd international conference on inventive systems and control (icisc)*.
- Luna, J. A. G., Bonilla, M. L., y Torres, I. D. (2012). Metodologías y métodos para la construcción de ontologías. *Scientia et Technica*, 2(50), 133–140.
- Martínez-Costa, C., Karlsson, D., y Schulz, S. (2014). Ontology patterns for clinical information modelling. En *Wop* (pp. 61–72).
- Martinez-Gil, J., Alba, E., y Montes, J. F. A. (2008). Optimizing ontology alignments by using genetic algorithms. En *Proceedings of the first international conference on nature inspired reasoning for the semantic web - volume 419* (pp. 1–15). Aachen, Germany, Germany: CEUR-WS.org. Descargado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2889615.2889616>
- Maurello-Rincón, D. G. (2001). Representación de conocimiento: las lógicas descriptivas en un enfoque orientado a objetos. *Respuestas*, 6(1), 12–21.
- McDaniel, M., Storey, V. C., y Sugumaran, V. (2018). Assessing the quality of domain ontologies: Metrics and an automated ranking system. *Data & Knowledge Engineering*, 115, 32–47.

- Mekruksavanich, S. (2016). Medical expert system based ontology for diabetes disease diagnosis. En *2016 7th IEEE international conference on software engineering and service science (icsess)* (pp. 383–389).
- Moreno, D. C., y Lombardo, M. V. (2018). Ontología y procesamiento de lenguaje natural. *KnE Engineering*, 3(1), 492–501.
- Nachabe, L., Girod-Genet, M., El Hassan, B., y Al Mouhammad, D. (2018). General semantic system for monitoring & assisting diabetes patient”mysmart diabetes ontoreference.ontology. En *2018 IEEE middle east and north africa communications conference (menacomm)* (pp. 1–6).
- Nardi, D., y Brachman, R. J. (2003). The description logic handbook. En F. Baader, D. Calvanese, D. L. McGuinness, D. Nardi, y P. F. Patel-Schneider (Eds.), (pp. 1–40). New York, NY, USA: Cambridge University Press. Descargado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=885746.885748>
- Naser, S. S. A., y ALmursheidi, S. H. (2016). A knowledge based system for neck pain diagnosis. *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development (WWJMRD)*, 2(4), 12–18.
- Noy, N. F. (2009). Ontology mapping. En *Handbook on ontologies* (pp. 573–590). Springer.
- Noy, N. F., McGuinness, D. L., y cols. (2001). *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*. Stanford knowledge systems laboratory technical report KSL-01-05 and . . . .
- Obrst, L., Ceusters, W., Mani, I., Ray, S., y Smith, B. (2007). The evaluation of ontologies. En *Semantic web* (pp. 139–158). Springer.
- Olifer, D. (2015). Evaluation metrics for ontology-based security standards mapping. En *Electrical, electronic and information sciences (estream), 2015 open conference of* (pp. 1–4).
- Omura, M., Tateishi, Y., y Okumura, T. (2015). Disease similarity calculation on simplified disease knowledge base for clinical decision support systems. En *The twenty-eighth international flairs conference*.
- OWL. (2019). *Web ontology language*. Descargado de <https://www.w3.org/OWL/> (Accedido 06-03-2019)

- Owl 2 web ontology language document overview (second edition)*. (2012). Descargado de <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/> (Accedido 24-02-2022)
- Pan, J. Z. (2009). Resource description framework. En *Handbook on ontologies* (pp. 71–90). Springer.
- Petasis, G., Karkaletsis, V., Paliouras, G., Krithara, A., y Zavitsanos, E. (2011). Ontology population and enrichment: State of the art. En *Knowledge-driven multimedia information extraction and ontology evolution* (pp. 134–166).
- Pinto, H. S., y Martins, J. (2000). Reusing ontologies. En *Aaai 2000 spring symposium on bringing knowledge to business processes* (Vol. 2, p. 7).
- Poveda-Villalón, M., Gómez-Pérez, A., y Suárez-Figueroa, M. C. (2014). OOPS! (Ontology Pitfall Scanner!): An On-line Tool for Ontology Evaluation. *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)*, 10(2), 7–34.
- Poveda-Villalón, M., Suárez-Figueroa, M. C., García-Castro, R., y Gómez-Pérez, A. (2010). A context ontology for mobile environments. En *Ciao@ ekaw*.
- Quinn, S., Bond, R., y Nugent, C. (2018). A two-staged approach to developing and evaluating an ontology for delivering personalized education to diabetic patients. *Informatics for Health and Social Care*, 43(3), 264–279.
- Rademaker, A. (2012). *A proof theory for description logics*. Springer Science & Business Media.
- Ramos, E., Núñez, H., y Casañas, R. (2009). Esquema para evaluar ontologías únicas para un dominio de conocimiento. *Enlace*, 6(1), 57–71.
- RDF. (2019). *Resource description framework*. Descargado de <https://www.w3.org/RDF/> (Accedido 06-03-2019)
- Ren, S., Lu, X., y Wang, T. (2018). Application of ontology in medical heterogeneous data integration. En *Big data analysis (icbda), 2018 IEEE 3rd international conference on* (pp. 150–155).
- Rodríguez, Y. A. L., Hidalgo-Delgado, Y., y Martínez, N. S. (2018). Un método práctico para la evaluación de ontologías (a practical method for the evaluation of ontologies). En (pp. 76–85).
- Romero, L. (2015). *Marco de trabajo basado en una red de ontologías para dar soporte a la generación de evaluaciones en entornos de e-learning* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Santa Fe.

- Salmasian, H., Tran, T. H., Chase, H. S., y Friedman, C. (2015). Medication-indication knowledge bases: a systematic review and critical appraisal. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 22(6), 1261–1270.
- Santos, L. A., Miranda, G. M., Campos, S. L., de Almeida Falbo, R., Barcellos, M. P., Souza, V. E. S., y Almeida, J. P. A. (2018). Using an ontology network for data integration: A case in the public security domain. En *Ontobrás* (pp. 209–220).
- Savić, M., Ivanović, M., y Jain, L. C. (2018). *Complex networks in software, knowledge, and social systems* (Vol. 148). Springer.
- Schriml, L. M., Arze, C., Nadendla, S., Chang, Y.-W. W., Mazaitis, M., Felix, V., . . . Kibbe, W. A. (2012). Disease ontology: a backbone for disease semantic integration. *Nucleic acids research*, 40(D1), D940–D946.
- Secretaria de la Salud. (2012). Descargado de <http://www.csg.gob.mx> (Accedido 24-06-2019)
- Secretaria de Salud. (2020). *Boletines diabetes mellitus tipo 2*. Descargado de <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/boletines-diabetes-mellitus-tipo-2> (Accedido 06-11-2020)
- Sekandar, K. (2018). *A quality measure for automatic ontology evaluation and improvement* (Tesis de Master no publicada). UTRECHT UNIVERSITY.
- Serna, E., y Flórez, G. (2013). El razonamiento lógico como requisito funcional en ingeniería. *Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity*, 14–16.
- Sherimon, P., y Krishnan, R. (2016). Ontodiabetic: an ontology-based clinical decision support system for diabetic patients. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(3), 1145–1160.
- Siddiqi, S., y Sharan, A. (2015). Keyword and keyphrase extraction techniques: a literature review. *International Journal of Computer Applications*, 109(2).
- Sikos, L. F. (2017). *Description logics in multimedia reasoning*. Springer.
- Sila, C., Belo, O., y Barros, V. (2018). Methodology for the development of an ontology network on the brazilian national system for the evaluation of higher education (ontosinaes). *JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management*, 15.

- Silva-López, R. B., Silva-López, M., Bravo, M., Méndez-Gurrola, I. I., y Sánchez-Arias, V. G. (2014). Godem: A graphical ontology design methodology. *Research in Computing Science*, 84, 17–28.
- Smirnov, A., Levashova, T., Ponomarev, A., y Shilov, N. (2021). Methodology for multi-aspect ontology development. En *International conference on decision support system technology* (pp. 97–109).
- Smith, B. (2003). Ontology and information systems, forthcoming in stanford encyclopedia of philosophy. *Recuperado de <http://ontology.buffalo.edu/ontology> (PIC). pdf. Fecha de consulta, 20.*
- Souza, A. S., Duran, A., y Almeida, V. (2018). Pblontology: A domain ontology with context elements for problem-based learning. En *Iceis*.
- Sparql protocol and rdf query language*. (2013). Descargado de <https://www.w3.org/2001/sw/wiki/SPARQL> (Accedido 24-03-2022)
- Spyrou, C., y Lange, M. (2016). uc\_fido: Unambiguous characterization of food interactions with drugs ontology. En *Icbo/biocreative*.
- Stoilos, G., Geleta, D., Shamdasani, J., y Khodadadi, M. (2018). A novel approach and practical algorithms for ontology integration. En *International semantic web conference* (pp. 458–476).
- Suárez-Figueroa, M. C. (2010). *Neon methodology for building ontology networks: specification, scheduling and reuse* (Tesis Doctoral no publicada). Informatica.
- Suárez-Figueroa, M. C., Gómez-Pérez, A., y Fernández-López, M. (2012). The neon methodology for ontology engineering. En *Ontology engineering in a networked world* (pp. 9–34). Springer.
- Suarez-Figueroa, M. C., Gomez-Perez, A., Motta, E., y Gangemi, A. (2012). Introduction: Ontology engineering in a networked world. En *Ontology engineering in a networked world* (pp. 1–6). Springer.
- Ta, C. D., y Thi, T. P. (2015). Automatic evaluation of the computing domain ontology. En *International conference on future data and security engineering* (pp. 285–295).
- Tello, A. L. (2001). Ontologías en la web semántica. *España: Universidad De Extremadura*.

- Trokanas, N., Koo, L., y Cecelja, F. (2018). Towards a methodology for reusable ontology engineering: Application to the process engineering domain. En *Computer aided chemical engineering* (Vol. 43, pp. 471–476). Elsevier.
- Ungkawa, U., Widyantoro, D., y Hendradjaya, B. (2017). Methodology for constructing form ontology. En *2017 4th international conference on electrical engineering, computer science and informatics (eecs)* (pp. 1–6).
- Vasant, D., Neff, F., Gormanns, P., Conte, N., Fritsche, A., Staiger, H., y Robinson, P. (2015). Diab: an ontology of type 2 diabetes stages and associated phenotypes. *Proceedings of Phenotype Day at ISMB, 2015*, 24–27.
- Vataščinová, J. (2019). Methodology for biomedical ontology matching. En *European semantic web conference* (pp. 242–250).
- Vrandečić, D. (2009). Ontology evaluation. En *Handbook on ontologies* (pp. 293–313). Springer.
- Walonoski, J., Klaus, S., Granger, E., Hall, D., Gregorowicz, A., Neyarapally, G., ... Eastman, J. (2020). Synthea™ novel coronavirus (covid-19) model and synthetic data set. *Intelligence-Based Medicine*, 1(100007).
- Walonoski, J., Kramer, M., Nichols, J., Quina, A., Moesel, C., Hall, D., ... McLachlan, S. (2018). Synthea: An approach, method, and software mechanism for generating synthetic patients and the synthetic electronic health care record. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 25(3), 230-238.
- Wan, L., Ong, E., y Heb, Y. (2019). Icd: Ontological representation of the international classification of diseases (icd) and its application in english and chinese healthy data standardization. En *The 10th international conference on biomedical ontology (icbo-2019)*.
- Yilmaz, T. K., Durak, U., Oğuztüzün, H., y Çağiltay, K. (2018). Usability evaluation of a web-based ontology browser: the case of tsont. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 26(2), 1115–1128.
- Yu, H., Liaw, S.-T., Taggart, J., y Khorzoughi, A. R. (2013). Using ontologies to identify patients with diabetes in electronic health records. En *International semantic web conference (posters & demos)* (pp. 77–80).
- Yu, J., Thom, J. A., y Tam, A. (2007). Ontology evaluation using wikipedia categories for browsing. En *Proceedings of the sixteenth acm conference on conference on information and knowledge management* (pp. 223–232).

Yunianta, A., Basori, A. H., Prabuwono, A. S., Bramantoro, A., Syamsuddin, I., Yusof, N., ... Alsubhi, K. (2019). Ontodi: The methodology for ontology development on data integration. *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, 10(1), 160–168.

Zulkarnain, N. Z., Meziane, F., y Crofts, G. (2016). A methodology for biomedical ontology reuse. En *International conference on applications of natural language to information systems* (pp. 3–14).

## **Elementos ontológicos por dominio participante de la RODM**

---

Este apéndice contiene la descripción detallada de cada uno de los elementos de las ontologías participantes de la RODM, así como las preguntas de competencia, su traducción en SPARQL y su respuesta.

### **A.1. Ontología Medicamento-ATC**

Esta ontología contiene la información de los medicamentos autorizados y distribuidos por la secretaría de salud de México.

#### **A.1.1. TBox de la ontología Medicamento**

A continuación se describe el TBox con las definiciones más relevantes de la ontología Medicamento.

$$\begin{aligned}
TBox = & \left\{ \begin{array}{l}
Medicamento \equiv \exists tieneNombre.xsd : string \sqcap \\
\exists tienePorcion.xsd : string \sqcap \exists tienePorcionPorEnvase.xsd : float, \\
Medicamento\_De\_Catalogo \subseteq Medicamento, \\
Medicamento\_De\_Cuadro\_Basico \subseteq Medicamento, \\
Medicamento \sqsubseteq \exists provocaRiesgoDuranteElEmbarazo.Riesgo\_Embarazo, \\
Medicamento \sqsubseteq \forall tieneDosisIndicada.Dosis\_Indicada, \\
Medicamento \sqsubseteq \forall tieneFormulaFarmaceutica.Forma\_Farmaceutica, \\
Medicamento \sqsubseteq \forall tieneGrupoTerapeutico.Grupo\_Terapeutico, \\
Medicamento \sqsubseteq \forall tienePrincipioActivoPorPorcion.Principio\_Activo, \\
Medicamento \sqsubseteq \forall tieneViaDeAdministracion.Via\_De\_Administracion
\end{array} \right\} \\
TBox = & \left\{ \begin{array}{l}
Dosis\_Indicada \equiv \exists tieneCantidadMaxima.xsd : float \sqcap \\
\exists tieneCantidadMinima.xsd : string \sqcap \exists tieneFrecuenciaEnHoras.xsd : float \\
\sqcap \exists tieneFrecuenciaEnHorasMaxima.xsd : float \\
\sqcap \exists tieneFrecuenciaEnHorasMinima.xsd : float \\
\sqcap \exists tieneIndicacionAdicional.xsd : string \\
\sqcap \exists tieneIndicacionParaPadecimiento.xsd : string \\
\sqcap \exists tieneMedidaIndicada.xsd : string, \\
Dosis\_Indicada\_Para\_Adultos \subseteq Dosis\_Indicada, \\
Dosis\_Indicada\_Para\_Ninos \subseteq Dosis\_Indicada
\end{array} \right\} \\
TBox = & \left\{ \begin{array}{l}
Principio\_Activo \equiv \exists tieneCantidadDeActivo.xsd : float \\
\sqcap \exists tieneActivo.xsd : string \\
\sqcap \exists tieneMedida.xsd : string
\end{array} \right\} \\
TBox = & \left\{ \begin{array}{l}
Forma\_Farmaceutica \equiv Forma\_Liquida \subseteq Forma\_Farmaceutica, \\
Forma\_Semisolida \subseteq Forma\_Farmaceutica, \\
Forma\_Solida \subseteq Forma\_Farmaceutica
\end{array} \right\} \\
TBox = & \left\{ \begin{array}{l}
Via\_De\_Administracion \equiv Cutanea \subseteq Via\_De\_Administracion, \\
Via\_Enteral \subseteq Via\_De\_Administracion, \\
Via\_Parental \subseteq Via\_De\_Administracion, \\
Via\_Topica \subseteq Via\_De\_Administracion
\end{array} \right\}
\end{aligned}$$

### A.1.2. Clases de la ontología Medicamento

En la tabla A.1 se muestra la jerarquía de clases de la ontología Medicamento.

Tabla A.1: Clases de la ontología Medicamento.

Clase	Subclase de
Medicamento	<i>owl:thing</i>

Dosis_Indicada	<i>owl:thing</i>
Forma_Farmaceutica	<i>owl:thing</i>
Grupo_Terapeutico	<i>owl:thing</i>
Principio_Activo	<i>owl:thing</i>
Riesgo_Embarazo	<i>owl:thing</i>
Via_De_Administracion	<i>owl:thing</i>
Dosis_Indicada_Para_Niños	Dosis_Indicada
Dosis_Indicada_Para_Adultos	Dosis_Indicada
Forma_Liquida	Forma_Farmaceutica
Forma_Semisolididad	Forma_Farmaceutica
Forma_Solida	Forma_Farmaceutica
Emulsion	Forma_Liquida
Locion	Forma_Liquida
Solucion	Forma_Liquida
Suspension	Forma_Liquida
Crema	Forma_Semisolididad
Gel	Forma_Semisolididad
Unguento	Forma_Semisolididad
Otras_Formas_Semisolidas	Forma_Semisolididad
Capsula	Forma_Solida
Comprimido	Forma_Solida
Gragea	Forma_Solida
Granulado	Forma_Solida
Ovulo	Forma_Solida
Polvo	Forma_Solida
Tableta	Forma_Solida
Medicamento_De_Catalogo	Medicamento
Medicamento_De_Cuadro_Basico	Medicamento

### A.1.3. Propiedades de objeto de la ontología Medicamento

Una vez descrita la jerarquía de clases, en la Tabla A.2 se describe las propiedades de objeto y su cardinalidad. Cabe resaltar que las relaciones *provocaRiesgoDuranteElEmbarazo* y *tieneGrupoFarmaceutico* son declaradas como funcionales.

Tabla A.2: Propiedades de objeto de la ontología Medicamento.

Propiedad de objeto	Dominio	Rango	Cardinalidad
provocaRiesgoDuranteElEmbarazo	Medicamento	Riesgo_Embarazo	1:1
tieneDosisIndicada	Medicamento	Dosis_Indicada	1:N
tieneFormulaFarmaceutica	Medicamento	Forma_Farmaceutica	1:N
tieneGrupoFarmaceutico	Medicamento	Grupo_Terapeutico	1:1
tienePrincipioActivo	Medicamento	Principio_Activo	1:N
tieneViaDeAdministracion	Medicamento	Via_De_Administracion	1:N

#### A.1.4. Propiedades de dato de la ontología Medicamento

La Tabla A.3 contiene la descripción de las propiedades de dato resultantes de la ontología Medicamento.

Tabla A.3: Propiedades de dato de la ontología Medicamento.

Propiedad de tipo de Dato	Dominio	Rango
tieneActivo	Principio_Activo	string
tieneCantidadDeActivo	Principio_Activo	float
tieneCantidadMaxima	Dosis_Indicada	float
tieneCantidadMinima	Dosis_Indicada	float
tieneContenidoPorEnvase	Medicamento	integer
tieneDescripcion	Riesgo_Embarazo	string
tieneFrecuenciaEnHoras	Dosis_Indicada	float
tieneFrecuenciaEnHorasMaxima	Dosis_Indicada	float
tieneFrecuenciaEnHorasMinima	Dosis_Indicada	float
tieneIndicacionAdicional	Dosis_Indicada	string
tieneIndicacionParaPadecimiento	Dosis_Indicada	string
tieneLimiteInferiorDeEdad	Dosis_Indicada_Para_Ninos	integer
tieneLimiteSuperiorDeEdad	Dosis_Indicada_Para_Ninos	integer
tieneMedida	Principio_Activo	string
tieneMedidaDeEdad	Dosis_Indicada_Para_Ninos	string
tieneMedidaIndicada	Dosis_Indicada_Para_Ninos	string
tieneNombre	Medicamento	string

tieneNumeroDeGrupo	Grupo_Terapeutico	integer
tienePorcion	Medicamento	string

### A.1.5. Axiomas de la ontología Medicamento

A pesar de que la información utilizada proviene de un catálogo, se logró la identificación de algunos axiomas implementados en lenguaje SWRL (ver Tabla A.4).

Tabla A.4: Axiomas de la ontología Medicamento.

Axioma	Entidades involucradas	Descripción
Tableta-Oral	Medicamento, tiene-FormulaFarmaceutica, Tableta, tieneViaDeAdministracion y Oral	Medicamento(?x) ^ tieneFormulaFarmaceutica(?x, Tableta) -> tieneViaDeAdministracion (?x, Oral)
Tableta_Soluble-Oral	Medicamento, tiene-FormulaFarmaceutica, Tableta_Soluble, tiene-ViaDeAdministracion y Oral	Medicamento(?x) ^ tieneFormulaFarmaceutica(?x, Tableta_Soluble) -> tieneViaDeAdministracion (?x, Oral)
Tableta_Efervescente-Oral	Medicamento, tiene-FormulaFarmaceutica, Tableta_Efervescente, tieneViaDeAdministracion y Oral	Medicamento(?x) ^ tieneFormulaFarmaceutica(?x, Tableta_Efervescente) -> tieneViaDeAdministracion (?x, Oral)
Parche-Transdermica	Medicamento, tiene-FormulaFarmaceutica, Parche, tieneVia-DeAdministracion y Transdermica	Medicamento(?x) ^ tieneFormulaFarmaceutica(?x, Parche) -> tieneViaDeAdministracion (?x, Transdermica)

### A.1.6. Preguntas de competencia de la ontología Medicamento

Esta sección contiene las preguntas de competencia planteadas para la ontología Medicamento y su traducción a DL-Query y SPARQL (ver Tabla A.5).

Tabla A.5: Preguntas de competencia de la ontología medicamento.

Pregunta en lenguaje Natural	Traducción DL-Query	Traducción SPARQL
1.-¿Cuáles son los medicamentos para niños que tienen vía de administración oral?	(tieneDosisIndicada some Dosis_Indicada_Para_Ninos) and (tieneViaDeAdministracion value Oral)	SELECT ?nombre WHERE { ?medi med:tieneDosisIndicada ?dosis. ?dosis a med:Dosis_Indicada_Para_Ninos. ?medi med:tieneViaDeAdministracion med:Oral. ?medi med:tieneNombre ?nombre }
2.-¿Cuáles medicamentos que tienen vía de administración oral pertenecen al grupo terapéutico anestesia?	(tieneGrupoTerapeutico value Anestesia) and (tieneViaDeAdministracion value Oral)	SELECT ?nombre WHERE { ?medi med:tieneViaDeAdministracion med:Oral. ?medi med:tieneGrupoTerapeutico med:Anestesia. ?medi med:tieneNombre ?nombre }
3.-¿Cuáles son los medicamentos que tienen una cantidad de principio activo por porción mayor a 50 mg?	tienePrincipioActivoPorPorcion some ((tieneCantidadDeActivo some xsd:float[>50.0f]) and (tieneMedida value "MG."))	SELECT ?nombre ?cant ?medida WHERE { ?medi med:tienePrincipioActivoPorPorcion ?nodo. ?medi med:tieneNombre ?nombre. ?nodo med:tieneCantidadDePrincipioActivo ?cant. ?nodo med:tieneMedidaDePrincipioActivo ?medida. Filter(?cant>50.0). Filter(STR(?medida)="MG") }

4.-¿Cuáles medicamentos que tienen vía de administración oral y provocan el riesgo de embarazo D?	(tieneViaDeAdministracion value Oral) and (provocaRiesgoDuranteElEmbarazo value Riesgo_Embarazo_D)	SELECT * WHERE{ ?medi med:provocaRiesgoDuranteElEmbarazo med:Riesgo_Embarazo_D. ?medi med:tieneNombre ?nombre. ?medi med:tieneViaDeAdministracion med:Oral.}
5.-¿Cuáles son los medicamentos que tienen forma farmacéutica Tableta y provocan el riesgo de embarazo C?	(tieneFormulaFarmaceutica value Tableta) and (provocaRiesgoDuranteElEmbarazo value Riesgo_Embarazo_C)	SELECT * WHERE{ ?medi med:provocaRiesgoDuranteElEmbarazo med:Riesgo_Embarazo_C. ?medi med:tieneNombre ?nombre. ?medi med:tieneFormaFarmaceutica med:Tableta.}
6.-¿Cuáles son los medicamentos que tienen dosis indicada para niños y tienen forma farmacéutica semisólida?	(tieneDosisIndicada some Dosis_Indicada_Para_Ninos) and (tieneFormulaFarmaceutica some Forma_Semisolidida)	SELECT * WHERE{ ?medi med:tieneDosisIndicada ?dosis. ?dosis a med:Dosis_Indicada_Para_Ninos. ?medi med:tieneNombre ?nombre. ?medi med:tieneFormaFarmaceutica ?forma. ?forma a med:Forma_Semisolidida }

7.-¿Cuáles son las dosis recomendadas para niños de los medicamentos que tienen como principio activo el ibuprofeno?	(inverse tieneDosisIndicada some (tienePrincipioActivoPorPorcion some (tieneActivo value "IBUPROFENO"))) and Dosis_Indicada_Para_Ninos	SELECT ?medi ?dosis ?act ?medida WHERE{ ?medi med:tieneDosisIndicada ?dosis. ?dosis a med:Dosis_Indicada_Para_Ninos. ?medi med:tieneNombre "IBUPROFENO". ?medi med:tienePrincipioActivoPorPorcion ?nodo. ?nodo med:tieneCantidadDePrincipioActivo ?act. ?nodo med:tieneMedidaDePrincipioActivo ?medida.}
8.-¿Cuál es la dosis recomendada para adultos del tramadol	inverse tieneDosisIndicada some (tieneNombre value "TRAMADOL")	SELECT ?medi ?dosis ?act ?medida WHERE{ ?medi med:tieneDosisIndicada ?dosis. ?dosis a med:Dosis_Indicada_Para_Adultos. ?medi med:tieneNombre "TRAMADOL". ?medi med:tienePrincipioActivoPorPorcion ?nodo. ?nodo med:tieneCantidadDePrincipioActivo ?act. ?nodo med:tieneMedidaDePrincipioActivo ?medida.}
9.-¿Cuáles son las formas farmacéuticas de los medicamentos que tienen como principio activo el Paracetamol?	inverse tieneFormulaFarmaceutica some (tienePrincipioActivoPorPorcion some (tieneActivo value "PARACETAMOL"))	SELECT ?medi ?forma WHERE{ ?medi med:tieneNombre "PARACETAMOL". ?medi med:tieneFormaFarmaceutica ?forma }

## A.2. Ontología Administración de la información clínica

La ontología Administración de la información clínica provee la estructura para almacenar información de pacientes generada durante la consulta, así como los antecedentes del mismo.

### A.2.1. Clases de la ontología Administración de la información clínica

La Tabla A.6 contiene la jerarquía de clases propuesta para la ontología Administración de la información clínica.

Tabla A.6: Clases de la ontología de Administración de la información.

Clase	Subclase de
Biotipo	owl:Thing
Expediente Clínico	owl:Thing
Historia Clínica	owl:Thing
Nota Medica	owl:Thing

### A.2.2. Propiedades de objeto de la ontología Administración de la información clínica

En la Tabla A.7 se muestran las propiedades de objeto de la ontología Administración de la información clínica, así como los dominios, rangos y cardinalidades de cada una.

Tabla A.7: Propiedades de objeto de la ontología Administración de la información clínica.

Propiedad de objeto	Dominio	Rango	Cardinalidad
tieneBiotipo	Nota_Medica	Biotipo	1:1
tieneHistoriaClinica	Expediente_Clinico	Historia_Clinica	1:1
tieneNotaMedica	Expediente_Clinico	Nota_Medica	1:N

### A.2.3. Propiedades de dato de la ontología Administración de la información

En la Tabla A.8 se muestran las propiedades de dato de la ontología Administración de la información clínica, así como los dominios, rangos y cardinalidades de cada una.

Tabla A.8: Propiedades de dato de la ontología de Administración de la información clínica.

<b>Propiedad de tipo de Dato</b>	<b>Dominio</b>	<b>Rango</b>
tieneAlergias	Historia_Clinica	xsd:string
tieneAnalisis	Nota_Medica	xsd:string
tieneAntecedentesGinecoObstetricos	Historia Clinica	xsd:string
tieneAntecedentesHeredoFamiliares	Historia Clinica	xsd:string
tieneAntecedentesPersonalesNoPatologicos	Historia Clinica	xsd:string
tieneAntecedentesPersonalesPatologicos	Historia Clinica	xsd:string
tieneColesterol	Nota Medica	xsd:integer
tieneColesterolTotal	Nota Medica	xsd:integer
tieneCreatininaSerica	Nota Medica	xsd:float
tieneEdad	Nota Medica	xsd:integer
tieneFecha	Nota Medica	xsd:date
tieneExploracionFisica	Nota_Medica	xsd:string
tieneFrecuenciaCardiaca	Nota_Medica	xsd:integer
tieneFrecuenciaRespiratoria	Nota_Medica	xsd:integer
tieneGlucosa	Nota_Medica	xsd:integer
tieneGlucosaPostPrandial	Nota_Medica	xsd:integer
tieneGlucosaPrePrandial	Nota_Medica	xsd:integer
tieneHba1c	Nota Medica	xsd:float
tieneHDL	Nota Medica	xsd:integer
tieneICC	Nota Medica	xsd:float
tieneIMC	Nota Medica	xsd:float
tieneIMCMaximo	Biotipo	xsd:float
tieneIMCMinimo	Biotipo	xsd:float
tieneIngestaCaloricaRecomendada	Nota Medica	xsd:float
tieneInsulina	Nota Medica	xsd:integer
tieneLDL	Nota Medica	xsd:integer
tieneMedidaCadera	Nota_Medica	xsd:float
tieneMedidaCintura	Nota_Medica	xsd:float

tienePadecimientoActual	Nota Medica	xsd:string
tienePeso	Nota Medica	xsd:float
tienePresionArterialDistolica	Nota Medica	xsd:integer
tienePresionArterialSistolica	Nota Medica	xsd:integer
tienePronostico	Nota Medica	xsd:string
tieneTalla	Nota Medica	xsd:float
tieneTemperaturaCorporal	Nota Medica	xsd:float
tieneTMB	Nota Medica	xsd:float
tieneTrigliceridos	Nota Medica	xsd:integer
tieneUreaSerica	Nota Medica	xsd:integer

### A.3. Ontología Entidad clínica

La ontología Entidad clínica tiene como propósito modelar los padecimientos y enfermedades que pueden sufrir las personas, en especial los pacientes diabéticos.

#### A.3.1. Clases de la ontología Entidad Clínica

La Tabla A.9 contiene la jerarquía de clases propuesta para la ontología Entidad clínica.

Tabla A.9: Clases de la ontología Entidad Clínica.

Clase	Subclase de
Entidad Clinica	owl:Thing
Discapacidad	Entidad Clinica
Discapacidad Aprendizaje	Discapacidad
Discapacidad Auditiva	Discapacidad
Discapacidad Autocuidado	Discapacidad
Discapacidad Comunicacion	Discapacidad
Discapacidad Mental	Discapacidad
Discapacidad Motora	Discapacidad
Discapacidad Odontologica	Discapacidad
Discapacidad Visual	Discapacidad
Enfermedad	Entidad Clinica
Comorbilidad	Enfermedad
Enfermedad Cerebrovascular	Enfermedad
Enfermedad Infecciosa	Enfermedad

Insuficiencia Renal	Enfermedad
Necrobiosis	Enfermedad
Neuropatia	Enfermedad
Otras Enfermedades	Enfermedad
Retinopatía	Enfermedad
Cancer	Comorbilidad
Cardiopatía	Comorbilidad
Cardiopatía Isquémica	Cardiopatía
Cardiopatía Congénita	Cardiopatía
Covid 19	Comorbilidad
Depresión	Comorbilidad
Diabetes Mellitus	Comorbilidad
Dislipidemia	Comorbilidad
Hepatitis	Comorbilidad
Hipertensión	Comorbilidad
Obesidad	Comorbilidad
Otras Comorbilidades	Comorbilidad
Tuberculosis	Comorbilidad
Uropatía	Comorbilidad
VIH Sida	Comorbilidad
Factor De Riesgo	Entidad Clínica
Otra Entidad Clínica	Entidad Clínica
Síndrome	Entidad Clínica
Síntoma	Entidad Clínica
Trastorno Clínico	Entidad Clínica

### A.3.2. Propiedades de objeto de la ontología Entidad Clínica

En la Tabla A.10 se muestran las propiedades de objeto de la ontología Entidad clínica, así como los dominios, rangos y cardinalidades de cada una.

Tabla A.10: Propiedades de objeto de la ontología Entidad Clínica.

<b>Propiedad de objeto</b>	<b>Dominio</b>	<b>Rango</b>	<b>Cardinalidad</b>
esSíntomaDe	Entidad Clínica	Entidad Clínica	1:N
puedeCausar	Entidad Clínica	Entidad Clínica	1:N

## A.4. Ontología Localización geográfica

La ontología Localización geográfica tiene el propósito de modelar los estados donde residen los pacientes diabéticos. La Tabla A.11 contiene la jerarquía de clases propuesta para la ontología, la cual está conformada por una sola clase.

Tabla A.11: Clases de la ontología de Localización geográfica.

Clase	Subclase de
Localizacion Geografica	owl:Thing

## A.5. Ontología Escolaridad

La ontología Escolaridad indica los niveles de escolaridad que pueden ser obtenidos en México, considerando aquellos que quedaron inconclusos. La Tabla A.12 muestra la propuesta de clasificación de estos.

Tabla A.12: Clases de la ontología Escolaridad.

Clase	Subclase de
Escolaridad	owl:Thing
Escolaridad Basica	Escolaridad
Escolaridad Media Superior	Escolaridad
Escolaridad Superior	Escolaridad
Otra Escolaridad	Escolaridad
Posgrado	Escolaridad

## A.6. Ontología Persona

La ontología Persona modela los roles que puede tener una persona durante el proceso de consulta clínica, así como la información básica de cada rol.

### A.6.1. Clases de la ontología de Persona

La Tabla A.13 contiene la jerarquía de clases propuesta para la ontología Persona.

Tabla A.13: Clases de la ontología de Persona.

Clase	Subclase de
Persona	owl:Thing
Medico	Persona
Paciente	Persona

### A.6.2. Propiedades de dato de la ontología Persona

En la Tabla A.14 se muestran las propiedades de dato de la ontología Persona, así como los dominios, rangos y cardinalidades de cada una.

Tabla A.14: Propiedades de dato de la ontología de Persona.

Propiedad de tipo de Dato	Dominio	Rango
tienePrimerApellido	Persona	xsd:string
tieneCedulaProfesional	Medico	xsd:string
tieneFechaNacimiento	Paciente	xsd:date
tieneNombre	Persona	xsd:string
tieneSegundoApellido	Persona	xsd:string
tieneSexo	Paciente	{“Femenino”, “Masculino”}

## A.7. Ontología Medida de control

La ontología Medida de control contiene información acerca de los tratamientos más comunes para los pacientes diabéticos, considerando tratamientos farmacológicos, dietas y ejercicios.

### A.7.1. Clases de la ontología Medida de control

La Tabla A.15 contiene la jerarquía de clases propuesta para la ontología Medida de control.

Tabla A.15: Clases de la ontología de Medida de control.

Clase	Subclase de
Medida de Control	owl:Thing
Dieta	Medida de Control

Ejercicio	Medida de Control
Tratamiento Farmacologico	Medida de Control
Hipoglucemiente Oral	Tratamiento Farmacologico
Insulina	Tratamiento Farmacologico
Otros Farmacos	Tratamiento Farmacologico

### A.7.2. Propiedades de dato de la ontología Medida de Control

En la Tabla A.16 se muestran las propiedades de dato de la ontología Medida de control, así como los dominios, rangos y cardinalidades de cada una.

Tabla A.16: Propiedades de dato de la ontología de Medida control.

Propiedad de tipo de Dato	Dominio	Rango
tieneContenidoCalorico	Dieta	xsd:float
tieneFactorIncrementoTMB	Ejercicio	xsd:float

## A.8. Ontología Alimento

La ontología Alimento representa una clasificación de alimentos propuesta en la literatura, mencionando los alimentos más comunes para la población mexicana.

### A.8.1. Clases de la ontología de Alimento

La Tabla A.17 contiene la jerarquía de clases propuesta para la ontología Alimento.

Tabla A.17: Clases de la ontología Alimento.

Clase	Subclase de
Alimento	owl:Thing
Alimento Libre de Energia	Alimento
Azucares	Alimento
Azucar	Azucares
Azucar con Grasa	Azucares
Cereal y Tuberculo	Alimento
Cereal y Tuberculo con Grasa	Cereal y Tuberculo
Cereal y Tuberculo sin Grasa	Cereal y Tuberculo

Fruta y Verdura	Alimento
Fruta	Fruta y Verdura
Verdura	Fruta y Verdura
Grasa	Alimento
Grasa Fuente de Monoinsaturada	Grasa
Grasa Fuente de Poliinsaturada	Grasa
Grasa Fuente de Saturada y Trans	Grasa
Leche y sustitutos	Alimento
Leche Descremada	Leche
Leche Entera	Leche
Leguminosa y alimento de origen animal	Alimento
Alimento de origen animal	Leguminosa y alimento de origen animal
Alimento de origen animal bajo en grasa	Alimento de origen animal
Alimento de origen animal con alto contenido de grasa	Alimento de origen animal
Alimento de origen animal contenido moderado en grasa	Alimento de origen animal
Alimento de origen animal muy bajo en grasa	Alimento de origen animal
Leguminosa	Leguminosa y alimento de origen animal
Ingrediente	owl:Thing
Menu	owl:Thing
Bebida	Menu
Cena	Menu
Colacion	Menu
Comida	Menu
Desayuno	Menu

### A.8.2. Propiedades de objeto de la ontología Alimento

En la Tabla A.18 se muestran las propiedades de objeto de la ontología Alimento, así como los dominios, rangos y cardinalidades de cada una.

Tabla A.18: Propiedades de objeto de la ontología de alimentos.

Propiedad de objeto	Dominio	Rango	Cardinalidad
tieneAlimento	Ingrediente	Alimento	1:1
tieneBebida	Desayuno Or Comida Or Cena Or Colacion	Bebida	1:1
tieneIngrediente	Menu	Ingrediente	1:N

### A.8.3. Propiedades de dato de la ontología Alimento

En la Tabla A.19 se muestran las propiedades de dato de la ontología Alimento, así como los dominios, rangos y cardinalidades de cada una.

Tabla A.19: Propiedades de dato de la ontología Alimento.

Propiedad de dato	Dominio	Rango
tieneCargaGlucemica	Alimento	xsd:float
tieneIndiceGlucemico	Alimento	xsd:integer
tieneMedidaDePorcion	Ingrediente	xsd:string
tieneMedidaRacion	Alimento	xsd:string
tienePorcion	Ingrediente	xsd:float
tieneRacion	Alimento	xsd:float

## A.9. Ontología Synthea

La ontología Synthea corresponde a la representación semántica de los datos sintéticos de pacientes generados por la herramienta del mismo nombre. Estos datos contienen coincidencias en los diferentes dominios participantes de RODM.

### A.9.1. Clases de la ontología Synthea

La Tabla A.20 contiene la jerarquía de clases propuesta para la ontología Synthea.

Tabla A.20: Clases de la ontología de Synthea.

Clase	Subclase de
Alergia	owl:Thing

Alergia Comida	Alergia
Alergia Entorno	Alergia
Alergia Medicamento	Alergia
Alergia Sustancia	Alergia
Condicion	owl:Thing
Consulta	owl:Thing
Ambulatoria	Consulta
Consulta cuidados urgentes	Consulta
Consulta de rutina	Consulta
Consulta paciente interno	Consulta
Emergencia	Consulta
Dispositivo	owl:Thing
Estudios por Imagen	owl:Thing
Inmunizacion	owl:Thing
Observacion	owl:Thing
Organizacion	owl:Thing
Paciente	owl:Thing
Plan de cuidado	owl:Thing
Procedimiento	owl:Thing
Proveedor de servicios medicos	owl:Thing
Suministro	owl:Thing
Tratamiento Farmacologico	owl:Thing

### A.9.2. Propiedades de objeto de la ontología Synthea

En la Tabla A.21 se muestran las propiedades de objeto de la ontología Synthea, así como los dominios, rangos y cardinalidades de cada una.

Tabla A.21: Propiedades de objeto de la ontología Synthea.

Propiedad de objeto	Dominio	Rango	Cardinalidad
empleaProveedor	Organizacion	Proveedor De Servicios Medicos	1:N
estableceColocacionDispositivo	Consulta	Dispositivo	1:N
estableceCondicion	Consulta	Condicion	1:N
estableceInmunizacion	Consulta	Inmunizacion	1:N

estableceMedicacion	Consulta	Tratamiento Farmacologico	1:N
estableceObservacion	Consulta	Observacion	1:N
establecePlanDeCuidado	Consulta	Plan_De_Cuidado	1:N
estableceProcedimiento	Consulta	Procedimiento	1:N
estableceSuministro	Consulta	Suministro	1:N
incluyeEstudiosPorImagen	Consulta	Estudios_Por_Imagen	1:N
registraAlergia	Consulta	Alergia	1:N
tieneConsulta	Paciente	Consulta	1:N
tieneServicioDeConsulta	Proveedor_De_Servicios_Medicos	ConsultaMedicos	1:N

### A.9.3. Propiedades de dato de la ontología Synthea

En la Tabla A.22 se muestran las propiedades de dato de la ontología Synthea, así como los dominios, rangos y cardinalidades de cada una.

Tabla A.22: Propiedades de dato de la ontología Synthea.

Propiedad de tipo de Dato	Dominio	Rango
debeSerSurtido	Tratamiento_Farmacologico	xsd:integer
tieneApellido	Paciente	xsd:string
tieneApellidoSoltera	Paciente	xsd:string
tieneCantidadSuministro	Suministro	xsd:float
tieneCategoria	Alergia	{“Ambiental”, “Comida”, “Medicamento”}
tieneCiudad	Paciente	xsd:string
tieneCiudadOrganizacion	Organizacion	xsd:string
tieneCiudadProveedor	Proveedor_De_Servicios_Medicos	xsd:string
tieneCodigoAlergia	Alergia	xsd:string
tieneCodigoCondicion	Condicion	xsd:string
tieneCodigoConsulta	Consulta	xsd:string
tieneCodigoDeJustificacion	Plan_De_Cuidado	xsd:string
tieneCodigoDeJustificacionProcedimiento	Procedimiento	xsd:string
tieneCodigoDiagnostico	Consulta	xsd:string
tieneCodigoDispositivo	Dispositivo	xsd:string
tieneCodigoInmunizacion	Inmunizacion	xsd:string

tieneCodigoMedicacion	Tratamiento_Farmacologico	xsd:string
tieneCodigoModalidad	Estudios_Por_Imagen	xsd:string
tieneCodigoMotivoMedicacion	Tratamiento_Farmacologico	xsd:string
tieneCodigoObservacion	Observacion	xsd:string
tieneCodigoParteDelCuerpo	Estudios_Por_Imagen	xsd:string
tieneCodigoPlanCuidado	Plan_De_Cuidado	xsd:string
tieneCodigoPostal	Paciente	xsd:string
tieneCodigoPostalOrganizacion	Organizacion	xsd:string
tieneCodigoPostalProveedor	Proveedor_De_Servicios_Medicos	xsd:string
tieneCodigoProcedimiento	Procedimiento	xsd:string
tieneCodigoProcedimientoImagen	Estudios_Por_Imagen	xsd:string
tieneCodigoSOP	Estudios_Por_Imagen	xsd:string
tieneCodigoSuministro	Sumistro	xsd:string
tieneDescripcionAlergia	Alergia	xsd:string
tieneDescripcionCondicion	Condicion	xsd:string
tieneDescripcionConsulta	Consulta	xsd:string
tieneDescripcionDeJustificacion	Plan_De_Cuidado	xsd:string
tieneDescripcionDeReaccion	Alergia	xsd:string
tieneDescripcionDiagnostico	Consulta	xsd:string
tieneDescripcionDispositivo	Dispositivo	xsd:string
tieneDescripcionInmunizacion	Inmunizacion	xsd:string
tieneDescripcionJustificacionProcedimiento	Procedimiento	xsd:string
tieneDescripcionMedicacion	Tratamiento_Farmacologico	xsd:string
tieneDescripcionModalidad	Estudios_Por_Imagen	xsd:string
tieneDescripcionMotivoMedicacion	Tratamiento_Farmacologico	xsd:string
tieneDescripcionObservacion	Observacion	xsd:string
tieneDescripcionParteDelCuerpo	Estudios_Por_Imagen	xsd:string
tieneDescripcionPlanCuidado	Plan_De_Cuidado	xsd:string
tieneDescripcionSOP	Estudios_Por_Imagen	xsd:string
tieneDescrpccionSuministro	Suministro	xsd:string
tieneDireccion	Paciente	xsd:string
tieneDireccionOrganizacion	Organizacion	xsd:string
tieneDireccionProveedor	Proveedor_De_Servicios_Medicos	xsd:string
tieneEspecialidad	Proveedor_De_Servicios_Medicos	xsd:string
tieneEstatu	Paciente	xsd:string
tieneEstadoCivil	PAciente	xsd:string
tieneEstadoOrganizacion	Organizacion	xsd:string

tieneEstadoProveedor	Proveedor_De_Servicios_Medicos	xsd:string
tieneEtnicidad	Paciente	xsd:string
tieneFechaColocacionDispositivo	Dispositivo	xsd:date
tieneFechaDeComienzoDePlan	Plan_De_Cuidado	xsd:date
tieneFechaFinDePlan	Plan_De_Cuidado	xsd:date
tieneFechaDeUsoSuministro	Suministro	xsd:date
tieneFechaEstudioImagen	Estudios_Por_Imagen	xsd:date
tieneFechaFinAlergia	Alergia	xsd:date
tieneFechaFinCondicion	Condicion	xsd:date
tieneFechaFinConsulta	Consulta	xsd:date
tieneFechaFinMedicacion	Tratamiento_Farmacologico	xsd:date
tieneFechaFinProcedimiento	Procedimiento	xsd:date
tieneFechaInicioAlergia	Alergia	xsd:date
tieneFechaInicioCondicion	Condicion	xsd:date
tieneFechaInicioConsulta	Consulta	xsd:date
tieneFechaIniccionMedicacion	Tratamiento_Farmacologico	xsd:date
tieneFechaInicioProcedimiento	Procedimiento	xsd:date
tieneFechaInmunizacion	Inmunizacion	xsd:date
tieneFechaMuerte	Paciente	xsd:date
tieneFechaNacimiento	Paciente	xsd:date
tieneFechaObservacion	Observacion	xsd:date
tieneFechaRetiroDispositivo	Dispositivo	xsd:date
tieneGenero	Paciente	xsd:string
tieneGeneroProveedor	Proveedor_De_Servicios_Medicos	xsd:string
tieneGradoAcademico	Paciente	xsd:string
tieneGravedad	Alergia	{“Alta”, “Baja”, “Moderada”}
tieneIDDispositivo	Dispositivo	xsd:string
tieneIDLicenciaConductor	Paciente	xsd:string
tieneIDPasaporte	Paciente	xsd:string
tieneInstanciaIUD	Estudios_Por_Imagen	xsd:String
tieneLatitud	Paciente	xsd:string
tieneLongitud	Paciente	xsd:string
tieneLatOrganizacion	Organizacion	xsd:string
tieneLatProveedor	Proveedor_De_Servicios_Medicos	xsd:string
tieneLonOrganizacion	Organizacion	xsd:string

tieneLonProveedor	Proveedor_De_Servicios_Medicos	xsd:string
tieneLugarDeNacimiento	Paciente	xsd:string
tieneMunicipio	Paciente	xsd:string
tieneNombre	Paciente	xsd:string
tieneNombreOrganizacion	Organizacion	xsd:string
tieneNombreProveedor	Proveedor_De_Servicios_Medicos	xsd:string
tienePrefijo	Paciente	xsd:string
tieneReaccion	Alergia	xsd:string
tieneRaza	Paciente	xsd:string
tieneSerie	Estudios_Por_Imagen	xsd:string
tieneSSN	Paciente	xsd:string
tieneTelefonoOrganizacion	Organizacion	xsd:string
tieneTipoAlergia	Alergia	{“Alergia”, “Intolerancia”}
tieneTipoObservacion	Observacion	xsd:string
tieneUnidadObservacion	Observacion	xsd:string
tieneValorObservacion	Observacion	xsd:string

## A.10. RODM

La RODM representa la unión de las ontologías participantes, la cual contiene elementos propios que tienen la finalidad de dar mayor información sobre la interacción de dichas ontologías.

### A.10.1. Prefijos de la RODM

Para identificar cada una de las ontologías participantes se agregaron una serie de prefijos asociados al IRI para el acceso a los atributos de cada una de ellas. En la Tabla A.23 se describen cada uno de los prefijos utilizados dentro de la RODM.

Tabla A.23: Prefijos de la RODM

Ontología	Prefijo	Prefijo SPARQL	IRI
Ontología Alimentos	alimentos	ali	<a href="http://www.alimentos-mexico.org/alimentos#">http://www.alimentos-mexico.org/alimentos#</a>
Ontología Administración de la Información Clínica	datos	dato	<a href="http://www.modelo.org/datos#">http://www.modelo.org/datos#</a>
Ontología Synthea	datasyntetic	syn	<a href="http://www.synthea-mexico.org/datasyntetic#">http://www.synthea-mexico.org/datasyntetic#</a>
Ontología Entidad Clínica	enfermedad	enf	<a href="http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedad#">http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedad#</a>
Ontología Localización Geográfica	estados	loc	<a href="http://www.estados-mexico.org/estados#">http://www.estados-mexico.org/estados#</a>
Ontología Medicamento	medicamento	medi	<a href="http://www.medicamentos-mexico.org/medicamentos#">http://www.medicamentos-mexico.org/medicamentos#</a>
Ontología Escolaridad	niveles	edu	<a href="http://www.niveleseducativos-mexico.org/niveles#">http://www.niveleseducativos-mexico.org/niveles#</a>
Ontología Persona	persona	per	<a href="http://www.personas-mexico.org/persona#">http://www.personas-mexico.org/persona#</a>
Ontología Medida de Control	tratamiento	tto	<a href="http://www.medida-control.com/tratamiento#">http://www.medida-control.com/tratamiento#</a>
RODM	red	red	<a href="http://www.diabetes-mexico.org/red#">http://www.diabetes-mexico.org/red#</a>

### A.10.2. Clases de la RODM

La Tabla A.24 contiene la jerarquía de clases propuesta para la RODM, la cual está compuesta por una única clase.

Tabla A.24: Clases de la RODM .

Clase	Subclase de
Dosis Indicada En Receta	owl:Thing

### A.10.3. Metarrelaciones de la RODM

La Tabla A.25 muestra las metarrelaciones propuestas en la RODM, así como el dominio, rango y cardinalidad de cada una.

Tabla A.25: Metarrelaciones de la RODM

Metarrelación	Dominio	Rango	Cardi- nalidad
resideEn	Paciente (Persona)	Localizacion_Geografica (Localización Geográfica)	1:1
tieneDiagnostico	Nota_Medica (Administración de la información)	Entidad Clinica (Entidad Clínica)	1:N
tieneDiscapacidad	Historia_Clinica (Administración de la información)	Discapacidad (Entidad Clínica)	1:N
tieneEscolaridad	Paciente (Persona)	Escolaridad (Niveles Educativos)	1:1
tieneExpedienteClinico	Paciente (Persona)	Expediente_Clinico (Administración de la información)	1:1
tieneTratamiento	Nota_Medica (Administración de la información)	Dosis_En_Receta (RODM)	1:N

tienePrincipioActivoEnReceta	Dosis_En_Receta (RODM)	Tratamiento_Farmacologico (Medida de control)	1:N
recomiendaDieta	Nota_Medica (Administración de la información)	Dieta (Medida de control)	1:N
recomiendaEjercicio	Nota_Medica (Administración de la información)	Ejercicio (Medida de control)	1:N
esEscritaPor	Nota_Medica (Administración de la información)	Doctor (Persona)	1:1
presentaEnfermedad	Nota_Medica (Administración de la información)	Enfermedad (Entidad Clínica)	1:N
presentaSintoma	Nota_Medica (Administración de la información)	Sintoma (Entidad Clínica)	1:N
escribeNotaMedica	Doctor (Persona)	Nota_Medica (Administración de la información)	1:N
tieneContraindicacion	Medicamento (Medicamento-ATC)	Entidad Clínica (Entidad Clínica)	1:N
tieneEfectoSecundario	Medicamento (Medicamento-ATC)	Entidad Clínica (Entidad Clínica)	1:N
tienePrecaución	Medicamento (Medicamento-ATC)	Entidad Clínica (Entidad Clínica)	1:N
tieneComida	Dieta (Medida de control)	Comida (Alimento)	1:N
tieneDesayuno	Dieta (Medida de control)	Desayuno (Alimento)	1:N

tieneCena	Dieta (Medida de control)	Cena (Alimento)	1:N
tieneColacion	Dieta (Medida de control)	Colacion (Alimento)	1:N

#### A.10.4. Propiedades de dato de la ontología de la RODM

En la Tabla A.26 se muestran las propiedades de dato de la ontología Synthea, así como los dominios, rangos y cardinalidades de cada una.

Tabla A.26: Propiedades de dato de la RODM.

Propiedad de tipo de Dato	Dominio	Rango
ICD10	Entidad_Clinica	xsd:string
SCTID	Entidad_Clinica	xsd:string
tieneAlerta	Nota_Medica	xsd:string
tieneCantidadIndicadaEnReceta	Dosis_En_Receta	xsd:float
tieneFrecuenciaIndicadaEnReceta	Dosis_En_Receta	xsd:float
tieneMedidaIndicadaEnReceta	Dosis_En_Receta	xsd:float

#### A.10.5. Axiomas considerados en RODM

En la Tabla A.27 se presentan los axiomas considerados en una primera versión de la RODM, los cuales involucran a diversos elementos de las ontologías participantes.

Tabla A.27: Axiomas considerados de la red en SWRL

Nombre del axioma	Descripción
CalculaDelgadezLeve	$\text{tieneIMC}(?n, ?imc) \wedge \text{swrlb:greaterThanOrEqual}(?imc, 17) \wedge \text{swrlb:lessThan}(?imc, 18.5) \rightarrow \text{tieneBiotipo}(?n, \text{DelgadezLeve})$
CalculaDelgadezModerada	$\text{tieneIMC}(?n, ?imc) \wedge \text{swrlb:greaterThanOrEqual}(?imc, 16) \wedge \text{swrlb:lessThan}(?imc, 17) \rightarrow \text{tieneBiotipo}(?n, \text{DelgadezModerada})$
CalculaDelgadezSevera	$\text{tieneIMC}(?n, ?imc) \wedge \text{swrlb:lessThan}(?imc, 16) \rightarrow \text{tieneBiotipo}(?n, \text{DelgadezSevera})$
CalculaIMC	$\text{tienePeso}(?n, ?p) \wedge \text{tieneTalla}(?n, ?t) \wedge \text{swrlb:multiply}(?t2, ?t, ?t) \wedge \text{swrlb:divide}(?imc, ?p, ?t2) \rightarrow \text{tieneIMC}(?n, ?imc)$

CalculaObesidad1	tieneIMC( ?n, ?imc) ^ swrlb:greaterThanOrEqual(?imc, 30) ^ swrlb:lessThan( ?imc, 35) -> tieneBiotipo( ?n, ObesidadGrado1)
CalculaObesidad2	tieneIMC( ?n, ?imc) ^ swrlb:greaterThanOrEqual(?imc, 35) ^ swrlb:lessThan( ?imc, 40) -> tieneBiotipo( ?n, ObesidadGrado2)
CalculaObesidad3	tieneIMC( ?n, ?imc) ^ swrlb:greaterThanOrEqual(?imc, 40) -> tieneBiotipo( ?n, ObesidadGrado3)
CalculaPesoNormal	tieneIMC( ?n, ?imc) ^ swrlb:greaterThanOrEqual(?imc, 18.5) ^ swrlb:lessThan( ?imc, 25) -> tieneBiotipo( ?n, PesoNormal)
CalculaSobrePeso	tieneIMC( ?n, ?imc) ^ swrlb:greaterThanOrEqual(?imc, 25) ^ swrlb:lessThan( ?imc, 30) -> tieneBiotipo( ?n, SobrePeso)

### A.10.6. Axiomas finales de RODM

En la Tabla A.28 se presentan los axiomas finales de la RODM, los cuales involucran a diversos elementos de las ontologías participantes.

Tabla A.28: Axiomas de la RODM en SWRL

Nombre de la función	Descripción
Contraindicacion medicamento	red:tieneDiagnostico(?nota, ?diagnostico) ^ red:tieneTratamiento(?nota, ?nodo) ^ red:tieneActivoEnReceta( ?nodo, ?activo) ^ sameAs(?activo, ?acmed) ^ medicamento:tienePrincipioActivo( ?nodo2, ?acmed) ^ medicamento:tienePrincipioActivoPorPorcion( ?medi, ?nodo2) ^ red:tieneContraindicacion(?medi, ?diagnostico) -> red:tieneAlerta(?nota, "Verificar la receta, ya que existe un medicamento recetado que está contraindicado respecto al diagnóstico")
Calcula biotipo	datos:tieneIMC(?n, ?imc) ^ datos:Biotipo(?b) ^ datos:tieneIMCMinimo(?b, ?bmin) ^ datos:tieneIMCMaximo(?b, ?bmax) ^ swrlb:greaterThanOrEqual(?imc, ?bmin) ^ swrlb:lessThanOrEqual(?imc, ?bmax) -> datos:tieneBiotipo(?n, ?b)

Calcula calorías de ingesta	red:tieneRegistroDeActividad(?nota, ?ejercicio) ^ tratamiento:tieneFactorIncrementoTMB(?ejercicio, ?inc) ^ datos:tieneTMB(?nota, ?tmb) ^ swrlb:multiply(?cal, ?inc, ?tmb) -> datos:tieneIngestaCaloricaRecomendada(?nota, ?cal)
Índice de cintura-cadera	datos:tieneMedidaCintura(?n, ?ci) ^ datos:tieneMedidaCadera(?n, ?ca) ^ swrlb:divide(?icc, ?ci, ?ca) -> datos:tieneICC(?n, ?icc)
Diagnóstico DM por valor de glucosa	datos:tieneGlucosa(?nota, ?glu) ^ swrlb:greaterThanOrEqual(?glu, 200) -> red:tieneAlerta(?nota, “El paciente presenta una cifra elevada de glucosa en la sangre, considere el diagnostico de Diabetes Mellitus”)
Diagnóstico de DM por valor de Hba1c	datos:tieneHba1c(?nota, ?hba) ^ swrlb:greaterThanOrEqual(?hba, “6.5”^^xsd:float) -> red:tieneAlerta(?nota, “El paciente presenta una cifra elevada de hemoglobina glucosilada, considere el diagnostico de Diabetes Mellitus”)
Calcula factor de riesgo de DM mayor de 45 años	datos:tieneEdad(?n, ?e) ^ swrlb:greaterThanOrEqual(?e, 45) -> red:presentaFactorDeRiesgo(?n, enfermedad:EdadMayorA45Anios)
Calcula factor de riesgo de DM hipertensión	datos:tienePresionArterialSistolica(?n, ?sis) ^ datos:tienePresionArterialDistolica(?n, ?dis) ^ swrlb:greaterThan(?sis, 120) ^ swrlb:greaterThan(?dis, 80) -> red:presentaFactorDeRiesgo(?n, enfermedad:PresionArterialAlta)
Equivalencia Entidades clínicas y Synthea	datasynthetic:tieneCodigoCondicion(?con, ?cod1) ^ red:SCTID(?enf, ?cod2) ^ swrlb:stringEqualIgnoreCase(?cod1, ?cod2) -> red:tieneEquivalenciaCondicion(?con, ?enf)

### A.10.7. Preguntas de competencia de la RODM

Tabla A.29: Preguntas de competencia de la RODM

Pregunta de competencia	Traducción SPARQL
1.¿Cuáles son los principios activos recetados en las notas médicas que tienen como diagnóstico la DMT2?	Select ?activo Where{?nota red:tieneDiagnostico enf:DiabetesMellitusTipo2. ?nota red:tieneTratamiento ?nodoDosis. ?nodoDosis tto:tienePrincipioActivoEnReceta ?activo}
2.¿Cuáles son los índices de masa corporal en pacientes que han sido diagnosticados con DMT1?	Select ?imc Where{ ?nota red:tieneDiagnostico enf:DiabetesMellitusTipo1. ?nota dato:tieneIMC ?imc}
3.¿Cuáles son los antecedentes no patológicos de los pacientes que viven en Puebla?	Select ?antPat Where{ ?paciente red:resideEn loc:Puebla. ?paciente red:tieneExpedienteClinico ?exp. ?exp dato:tieneHistoriaClinica ?his. ?his dato:tieneAntecedentesPersonalesNoPatologicos ?antPat}
4.¿Cuáles son los pacientes que han presentado obesidad grado 1 después de los 50 años?	Select ?paciente Where{ ?paciente red:tieneExpedienteClinico ?exp. ?exp dato:tieneNotaMedica ?nota. ?nota dato:tieneEdad ?edad. ?nota red:tieneBiotipo dato:ObesidadGrado1. Filter(?edad>=50)}
5.¿Cuáles son las tasas metabólicas basales de los pacientes con hipertensión arterial sistemática?	Select ?tmb Where{ ?nota red:tieneDiagnostico enf:HipertensionArterialSistemica. ?nota dato:tieneTMB ?tmb}
6.¿Cuáles son los medicamentos que no se le pueden recetar a un paciente dependiente de la insulina?	Select ?med Where{ ?med red:tieneContraindicacion enf:DiabetesMellitusTipo1 }
7.¿Cuáles son los niveles de escolaridad en México de los pacientes con DMT1 y DMT2?	SELECT ?nivel WHERE{ ?esco rdfs:subClassOf edu:Escolaridad. ?nivel a ?esco }
8.¿Cuáles son los biotipos que puede tener un paciente?	SELECT ?bio WHERE { ?bio a dato:Biotipo}

9. ¿Cuál es el identificador en SNOMED CT para la diabetes mellitus insulino dependiente?	SELECT * WHERE { enf:DiabetesMellitusTipo2 red:SCTID ?c }
10. ¿Cuántos expedientes clínicos puede tener un paciente?	SELECT ?res WHERE { ?res owl:onProperty red:tieneExpedienteClinico . }
11. ¿Cuál es el peso de un paciente?	SELECT ?patient ?weight ?date WHERE { ?patient red:tieneExpedienteClinico ?record. ?record dato:tieneNotaMedica ?note. ?note dato:tienePeso ?weight. ?note dato:tieneFecha ?date }
12. ¿Cuál es el código del ICD-10 para la DMT2?	SELECT ?icd10 WHERE { enf:DiabetesMellitusTipo2 red:ICD10 ?icd10 }
13. ¿Cuáles son las presentaciones de la insulina lispro?	SELECT distinct ?form WHERE { ?x medi:tienePrincipioActivo medi:Insulina_Lispro. ?y medi:tienePrincipioActivoPorPorcion ?x. ?y medi:tieneFormaFarmaceutica ?form }
14. ¿Dónde vive el paciente X?	SELECT ?patient ?place WHERE { ?patient red:resideEn ?place }
15. ¿Cuáles son los medicamentos indicados para la DMT2?	Select ?drug Where { ?drug red:estaIndicadoPara enf:DiabetesMellitusTipo2. }
16. ¿Cuáles son los efectos secundarios que puede tener un paciente que tiene un tratamiento basado en insulina?	Select ?sideEffect where { ?nota red:tieneTratamiento ?nodo. ?nodo red:tieneActivoEnReceta ?actR. ?actR a tto:Insulina. ?activo owl:sameAs ?actR. ?nodomed med:tienePrincipioActivo ?activo. ?medicam med:tienePrincipioActivoPorPorcion ?nodomed. ?medicam red:tieneEfectoAdverso ?sideEffect }
17. ¿Cuáles son los biotipos de los pacientes diagnosticados con DM?	Select ?patient ?biotype Where { ?patient red:tieneExpedienteClinico ?record. ?record dato:tieneNotaMedica ?note. ?note red:tieneDiagnostico enf:DiabetesMellitusTipo1. ?note dato:tieneBiotipo ?biotype }
18. ¿Cuáles son los síntomas de la DMT2?	Select ?sym Where { ?sym enf:esSintomaDe ?dm. ?dm a enf:Diabetes_Mellitus. }
19. ¿Cuáles son las complicaciones médicas que puede causar la DMT2?	Select ?disease Where { ?dm enf:puedeCausar ?disease. ?dm a enf:Diabetes_Mellitus. }

20. ¿Cuál es el factor de impacto en la ingesta calórica recomendada de realizar ejercicio moderado?	Select * Where { tto:EjercicioModerado tto:tieneFactorIncrementoTMB ?factor }
21. ¿Cuáles son los factores de riesgo de la DMT2?	Select * Where { ?factor a enf:Factor_De_Riesgo. }
22. ¿Cuántos pacientes diabéticos están registrados por estado?	SELECT ?place (COUNT(?patient) as ?pCount) WHERE { ?patient red:resideEn ?place . } GROUP BY ?place
23. ¿Cuáles son los biotipos que presentan los pacientes con diagnóstico de DMT1?	Select ?patient ?biotype Where { ?patient red:tieneExpedienteClinico ?record. ?record dato:tieneNotaMedica ?note. ?note red:tieneDiagnostico enf:DiabetesMellitusTipo1. ?note dato:tieneBiotipo ?biotype }
24. ¿Cuáles son las comorbilidades que presentan los pacientes con DMT2?	Select distinct ?comor Where { ?nota red:tieneDiagnostico enf:DiabetesMellitusTipo2. ?nota ?rel ?comor. ?comor a ?subclasecom. ?subclasecom rdfs:subClassOf enf:Comorbilidad. FILTER(?comor != enf:DiabetesMellitusTipo2) }
25. ¿Cuál es la edad del paciente?	Select ?paciente ?edad ?fecha WHERE { ?paciente red:tieneExpedienteClinico ?exp. ?exp dato:tieneNotaMedica ?nota. ?nota dato:tieneFecha ?fecha. ?nota dato:tieneEdad ?edad }
26. ¿Cuál es el sexo del paciente?	select ?paciente ?sexo WHERE { ?paciente per:tieneSexo ?sexo }
27. ¿Cuáles son las comorbilidades que pueden estar presentes en un paciente diabético?	select ?comorbilidad WHERE { ?comorbilidad a enf:Comorbilidad }
28. ¿Cuáles son las discapacidades que pueden estar presentes en un paciente diabético?	SELECT ?comor WHERE { ?comor rdf:type ?type. ?type rdfs:subClassOf* enf:Comorbilidad. }
29. ¿Cuáles son los diagnósticos más frecuentes de los pacientes con diabetes mellitus?	SELECT ?diag (count( ?diag) as ?count) WHERE { ?nota red:tieneDiagnostico ?diag. } GROUP BY ?diag ORDER by desc(?count)

**A.10.8. Respuestas a las preguntas de competencia**

(tieneDosisIndicada **some** Dosis\_Indicada\_Para\_Ninos) **and** (tieneViaDeAdministracion **value** Oral)

Execute Add to ontology

**Query results**

Instances (18 of 18)

- ◆ 010.000.0103.00
- ◆ 010.000.5940.00
- ◆ 010.000.5940.01
- ◆ 010.000.5940.02
- ◆ 010.000.5940.03
- ◆ 010.000.5941.00
- ◆ 010.000.5941.01
- ◆ 010.000.5941.02
- ◆ 010.000.5941.03
- ◆ 010.000.5941.04
- ◆ 010.000.5942.00
- ◆ 010.000.5942.01
- ◆ 010.000.5942.02
- ◆ 010.000.5942.03
- ◆ 010.000.5942.04
- ◆ 010.000.5943.00
- ◆ 010.000.5944.00
- ◆ 010.000.0101.00

Figura A.1: Respuesta a la pregunta de competencia número 1 en DL-Query de la ontología Medicamento.

(tieneGrupoTerapeutico **value** Anestesia) **and** (tieneViaDeAdministracion **value** Oral)

Execute Add to ontology

**Query results**

Instances (1 of 1)

- ◆ 040.000.2109.00

Figura A.2: Respuesta a la pregunta de competencia número 2 en DL-Query de la ontología Medicamento.

tienePrincipioActivoPorPorcion **some** ( (tieneCantidadDeActivo **some** xsd:float[>50.0f]) **and** (tieneMedida **value** "MG."))

**Query results**

Instances (31 of 31)

- ◆ 010.000.0103.00
- ◆ 010.000.0104.00
- ◆ 010.000.0105.00
- ◆ 010.000.0106.00
- ◆ 010.000.0108.00
- ◆ 010.000.0261.00
- ◆ 010.000.0263.00
- ◆ [010.000.0514.00](#)
- ◆ 010.000.0514.01
- ◆ 010.000.0514.02
- ◆ 010.000.4028.00
- ◆ 010.000.5720.00
- ◆ 010.000.5720.01
- ◆ 010.000.5940.00
- ◆ 010.000.5940.01
- ◆ 010.000.5940.02
- ◆ 010.000.5940.03
- ◆ 010.000.5941.00
- ◆ 010.000.5941.01
- ◆ 010.000.5941.02
- ◆ 010.000.5941.03
- ◆ 010.000.5941.04
- ◆ 010.000.5942.00
- ◆ 010.000.5942.01
- ◆ 010.000.5942.02
- ◆ 010.000.5942.03
- ◆ 010.000.5942.04
- ◆ 040.000.0107.00
- ◆ 040.000.2096.00
- ◆ 040.000.2106.00
- ◆ 010.000.0101.00

Figura A.3: Respuesta a la pregunta de competencia número 3 en DL-Query de la ontología Medicamento.

(tieneViaDeAdministracion value Oral) and (provocaRiesgoDuranteElEmbarazo value Riesgo\_Embarazo\_D)

Execute Add to ontology

**Query results**

Instances (3 of 3)

- ◆ 010.000.0103.00
- ◆ 040.000.2109.00
- ◆ 010.000.0101.00

Figura A.4: Respuesta a la pregunta de competencia número 4 en DL-Query de la ontología Medicamento.

(tieneFormulaFarmaceutica value Tableta) and (provocaRiesgoDuranteElEmbarazo value Riesgo\_Embarazo\_C)

Execute Add to ontology

**Query results**

Instances (1 of 1)

- ◆ 040.000.2113.00

Figura A.5: Respuesta a la pregunta de competencia número 5 en DL-Query de la ontología Medicamento.

(tieneDosisIndicada some Dosis\_Indicada\_Para\_Ninos) and (tieneFormulaFarmaceutica some Forma\_Semisolidas)

Execute Add to ontology

**Query results**

Instances (1 of 1)

- ◆ 010.000.4031.00

Figura A.6: Respuesta a la pregunta de competencia número 6 en DL-Query de la ontología Medicamento.

```
(inverse tieneDosisIndicada some (tienePrincipioActivoPorPorcion some (tieneActivo value "IBUPROFENO"))) and Dosis_Indicada_Para_Ninos
```

Execute Add to ontology

**Query results**

Instances (4 of 4)

- d10
- d11
- d6
- d8

Figura A.7: Respuesta a la pregunta de competencia número 7 en DL-Query de la ontología Medicamento.

```
inverse tieneDosisIndicada some ( tieneNombre value "TRAMADOL")
```

Execute Add to ontology

**Query results**

Instances (2 of 2)

- d49
- d50

Figura A.8: Respuesta a la pregunta de competencia número 8 en DL-Query de la ontología Medicamento.

`inverse tieneFormulaFarmaceutica some (tienePrincipioActivoPorPorcion some ( tieneActivo value "PARACETAMOL"))`

**Query results**

Instances (4 of 4)

- ◆ Solucion\_Inyectable
- ◆ Solucion\_Oral
- ◆ Supositorio
- ◆ Tableta

Figura A.9: Respuesta a la pregunta de competencia número 9 en DL-Query de la ontología Medicamento.

```

ACIDO_ACETILSALICILICO^^xsd:string
ACIDO_ACETILSALICILICO^^xsd:string
IBUPROFENO^^xsd:string
IBUPROFENO^^xsd:string
IBUPROFENO^^xsd:string
IBUPROFENO^^xsd:string
IBUPROFENO^^xsd:string
ACIDO_ACETILSALICILICO^^xsd:string
ACIDO_ACETILSALICILICO^^xsd:string
IBUPROFENO^^xsd:string
IBUPROFENO^^xsd:string

```

Figura A.10: Respuesta a la pregunta de competencia 1 en SPARQL de la ontología medicamento.

```

MIDAZOLAM^^xsd:string

```

Figura A.11: Respuesta a la pregunta de competencia 2 en SPARQL de la ontología medicamento.

nombre	cant	medida
"PARACETAMOL"	"500.0" <sup>^^</sup> <http://www.w3.org/2001/XMLSchema	"MG"
"ACIDO_ACETILSALICILICO"	"300.0" <sup>^^</sup> <http://www.w3.org/2001/XMLSchema	"MG"
"DIAZEPAM"	"100.0" <sup>^^</sup> <http://www.w3.org/2001/XMLSchema	"MG"
"PARACETAMOL"	"500.0" <sup>^^</sup> <http://www.w3.org/2001/XMLSchema	"MG"
"IBUPROFENO"	"600.0" <sup>^^</sup> <http://www.w3.org/2001/XMLSchema	"MG"
"METFORMINA"	"850.0" <sup>^^</sup> <http://www.w3.org/2001/XMLSchema	"MG"
"CLONIXINATO_DE_LISINA"	"100.0" <sup>^^</sup> <http://www.w3.org/2001/XMLSchema	"MG"
"EFEDRINA"	"60.0" <sup>^^</sup> <http://www.w3.org/2001/XMLSchema	"MG"
"IBUPROFENO"	"400.0" <sup>^^</sup> <http://www.w3.org/2001/XMLSchema	"MG"

Figura A.12: Respuesta a la pregunta de competencia 3 en SPARQL de la ontología medicamento.

medi	nombre
010.000.5165.00	"METFORMINA"
040.000.2109.00	"MIDAZOLAM"
010.000.0103.00	"ACIDO_ACETILSALICILICO"
010.000.2111.01	"AMLODIPINO"

Figura A.13: Respuesta a la pregunta de competencia 4 en SPARQL de la ontología medicamento.

medi	nombre
010.000.1042.00	"GLIBENCLAMIDA"
040.000.2113.00	"HIDROMORFONA"

Figura A.14: Respuesta a la pregunta de competencia 5 en SPARQL de la ontología medicamento.

Execute			
?dosis	?forma	?nombre	?medi
med:d28	med:Crema	CAPSAICINA <sup>^^</sup> xsd:string	med:010.000.4031.00

Figura A.15: Respuesta a la pregunta de competencia 6 en SPARQL de la ontología medicamento.

medi	dosis	act	medida
010.000.5940.02	d6	"200.0" <sup>AA</sup> <http://www.w3.org/2	"MG"
010.000.5942.03	d10	"600.0" <sup>AA</sup> <http://www.w3.org/2	"MG"
010.000.5942.02	d10	"600.0" <sup>AA</sup> <http://www.w3.org/2	"MG"
010.000.5941.03	d8	"400.0" <sup>AA</sup> <http://www.w3.org/2	"MG"
010.000.5941.04	d8	"400.0" <sup>AA</sup> <http://www.w3.org/2	"MG"
010.000.5942.04	d10	"600.0" <sup>AA</sup> <http://www.w3.org/2	"MG"
010.000.5940.01	d6	"200.0" <sup>AA</sup> <http://www.w3.org/2	"MG"
010.000.5940.00	d6	"200.0" <sup>AA</sup> <http://www.w3.org/2	"MG"

Figura A.16: Respuesta a la pregunta de competencia 7 en SPARQL de la ontología medicamento.

medi	dosis	act	medida
040.000.2106.00	d49	"100.0" <sup>AA</sup> <http://www.w3.org/2	"MG"

Figura A.17: Respuesta a la pregunta de competencia 8 en SPARQL de la ontología medicamento.

medi	forma
010.000.5720.01	Solucion_Inyectable
010.000.5721.01	Solucion_Inyectable
010.000.0105.00	Supositorio
010.000.0106.00	Solucion_Oral
010.000.5721.00	Solucion_Inyectable
010.000.5720.00	Solucion_Inyectable
010.000.0514.02	Supositorio
010.000.0104.00	Tableta
010.000.0514.01	Supositorio

Figura A.18: Respuesta a la pregunta de competencia 9 en SPARQL de la ontología medicamento.

imc
"31.59626"^^<http://
"29.953606"^^<http;
"26.365602"^^<http;
"37.37843"^^<http://
"0.0"^^<http://www.w
"26.026175"^^<http;
"28.69898"^^<http://
"30.493526"^^<http;
"27.886555"^^<http;
"26.59267"^^<http://

Figura A.19: Respuesta a la pregunta de competencia número 2 de la RODM.

antPat
"Zoonosis positiva a tres perro"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>
"tabaquismo positivo desde 2009 a razon de 7 cigarros a la semana"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>
"zoonosis positiva a razon de un perro y un gato"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>

Figura A.20: Respuesta a la pregunta de competencia número 3 de la RODM.

nivel
SecundariaCompleta
SecundariaIncompleta
PrimariaCompleta
PrimariaIncompleta
SeignoraEscolaridad
SinEscolaridad
Bachillerato
BachilleratoTrunco
Licenciatura
LicenciaturaTrunca
Maestria
Especialidad
Doctorado

Figura A.21: Respuesta a la pregunta de competencia número 7 de la RODM.

```

bio
ObesidadGrado1
ObesidadGrado2
PesoNormal
DelgadezModerada
DelgadezSevera
ObesidadGrado3
DelgadezLeve
Sobrepeso

```

Figura A.22: Respuesta a la pregunta de competencia número 8 de la RODM.

```

res
● tieneExpedienteClinico exactly 1 'Expediente Clinico'

```

Figura A.23: Respuesta a la pregunta de competencia número 9 de la RODM.

patient	weight	date
paciente49	"104.0"	"2018-08-21"^^
paciente73	"84.0"	"0019-01-22"^^
paciente41	"77.5"	"2018-03-22"^^
paciente154	"71.0"	"2019-07-16"^^
paciente25	"99.0"	"2018-04-17"^^
paciente140	"60.5"	"2018-08-13"^^
paciente107	"0.0"	"2019-06-24"^^
paciente139	"62.0"	"2019-01-18"^^
paciente116	"83.0"	"2018-07-20"^^
paciente16	"63.0"	"2018-06-14"^^
paciente97	"16.3"	"2018-08-17"^^
paciente131	"80.0"	"2019-01-28"^^
paciente40	"85.0"	"2018-12-21"^^

Figura A.24: Respuesta a la pregunta de competencia número 10 de la RODM.

```

icd10
"E11"^^

```

Figura A.25: Respuesta a la pregunta de competencia número 11 de la RODM.

form
Solucion_Inyectable

Figura A.26: Respuesta a la pregunta de competencia número 12 de la RODM.

patient	place
paciente10	Puebla
paciente101	Puebla
paciente1	Hidalgo
paciente102	Puebla
paciente2	Hidalgo
paciente3	Hidalgo
paciente100	Puebla
paciente103	Jalisco
paciente104	Puebla
paciente105	Puebla
paciente106	Puebla

Figura A.27: Respuesta a la pregunta de competencia número 13 de la RODM.

**Snap SPARQL Query:**

```

PREFIX edo: <http://www.estados-mexico.org/estados#>
PREFIX tto: <http://www.medida-control.com/tratamiento#>
PREFIX dato: <http://www.modelo.org/datos#>
PREFIX enf: <http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedad#>
PREFIX per: <http://www.personas-mexico.org/persona#>
PREFIX med: <http://www.medicamentos-mexico.org/medicamento#>
PREFIX ali: <http://www.alimentos-mexico.org/alimentos#>
PREFIX red: <http://www.diabetes-mexico.org/red#>
Select ?drug
Where{
?drug red:estaIndicadoPara enf:DiabetesMellitusTipo2.
}

```

**Execute**

?drug
med:010.000.1042.00
med:010.000.4158.00
med:010.000.4158.01
med:010.000.5165.00
med:010.000.6007.00
med:010.000.6007.01
med:010.000.6008.00
med:010.000.6009.00

8 results

Figura A.28: Respuesta a la pregunta de competencia número 14 de la RODM.

The screenshot shows a SPARQL query window with a purple header. The query text is as follows:

```

PREFIX to: <http://www.medicina-control.com/tratamiento#>
PREFIX dato: <http://www.modelo.org/datos#>
PREFIX enf: <http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedad#>
PREFIX per: <http://www.personas-mexico.org/persona#>
PREFIX med: <http://www.medicamentos-mexico.org/medicamento#>
PREFIX ali: <http://www.alimentos-mexico.org/alimentos#>
PREFIX red: <http://www.diabetes-mexico.org/red#>
Select ?sideEffect
where{
    ?nota red:tieneTratamiento ?nodo.
    ?nodo red:tieneActivoEnReceta ?actR.
    ?actR a tto:Insulina.
    ?activo owl:sameAs ?actR.
    ?nodomed med:tienePrincipioActivo ?activo.
    ?medicam med:tienePrincipioActivoPorPorcion ?nodomed.
    ?medicam red:tieneEfectoAdverso ?sideEffect }

```

Below the query, the results are displayed in a table with a single column header "sideEffect". The results are a list of "Hipoglucemia" repeated 12 times.

sideEffect
Hipoglucemia

Figura A.29: Respuesta a la pregunta de competencia número 15 de la RODM.

Snap SPARQL Query:

```

PREFIX edo: <http://www.estados-mexico.org/estados#>
PREFIX tto: <http://www.medida-control.com/tratamiento#>
PREFIX dato: <http://www.modelo.org/datos#>
PREFIX enf: <http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedad#>
PREFIX per: <http://www.personas-mexico.org/persona#>
PREFIX med: <http://www.medicamentos-mexico.org/medicamento#>
PREFIX ali: <http://www.alimentos-mexico.org/alimentos#>
PREFIX red: <http://www.diabetes-mexico.org/red#>

Select ?patient ?biotype
Where{
  ?patient red:tieneExpedienteClinico ?record.
  ?record dato:tieneNotaMedica ?note.
  ?note red:tieneDiagnostico enf:DiabetesMellitusTipo1.
  ?note dato:tieneBiotipo ?biotype
}

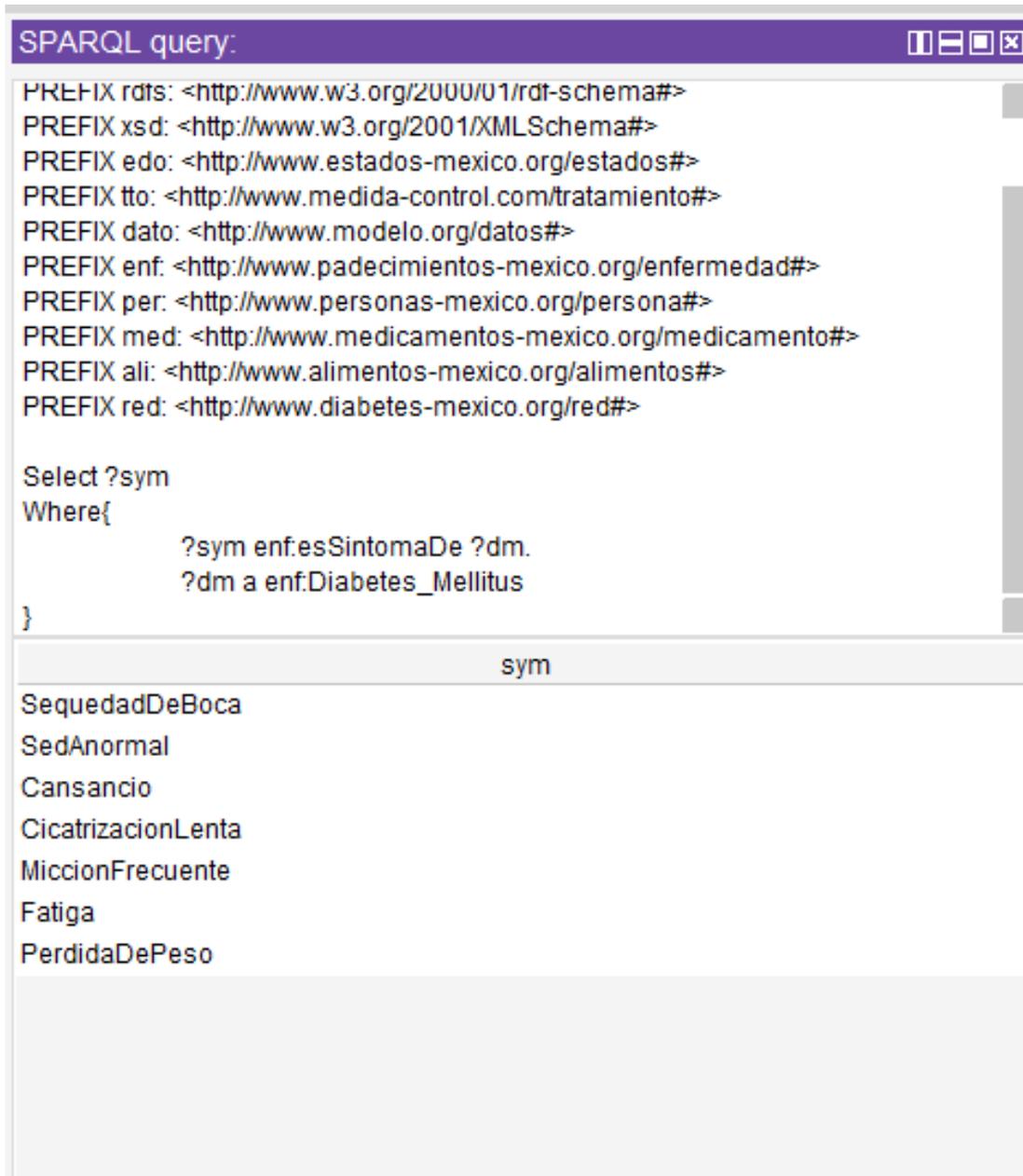
```

Execute

?patient	?biotype
per.paciente25	dato:Sobrepeso
per.paciente25	enf:Sobrepeso
per.paciente2	dato:PesoNormal
per.paciente2	dato:PesoNormal
per.paciente30	dato:DelgadezSevera
per.paciente2	dato:PesoNormal
per.paciente39	dato:PesoNormal
per.paciente40	dato:Sobrepeso

54 results

Figura A.30: Respuesta a la pregunta de competencia número 16 de la RODM.



The image shows a SPARQL query interface. The title bar reads "SPARQL query:". The query text is as follows:

```

PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX edo: <http://www.estados-mexico.org/estados#>
PREFIX tto: <http://www.medida-control.com/tratamiento#>
PREFIX dato: <http://www.modelo.org/datos#>
PREFIX enf: <http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedad#>
PREFIX per: <http://www.personas-mexico.org/persona#>
PREFIX med: <http://www.medicamentos-mexico.org/medicamento#>
PREFIX ali: <http://www.alimentos-mexico.org/alimentos#>
PREFIX red: <http://www.diabetes-mexico.org/red#>

Select ?sym
Where{
    ?sym enf:esSintomaDe ?dm.
    ?dm a enf:Diabetes_Mellitus
}

```

The results are displayed in a table with a single column header "sym". The results listed are:

- SequedadDeBoca
- SedAnormal
- Cansancio
- CicatrizacionLenta
- MiccionFrecuente
- Fatiga
- PerdidaDePeso

Figura A.31: Respuesta a la pregunta de competencia número 17 de la RODM.

```

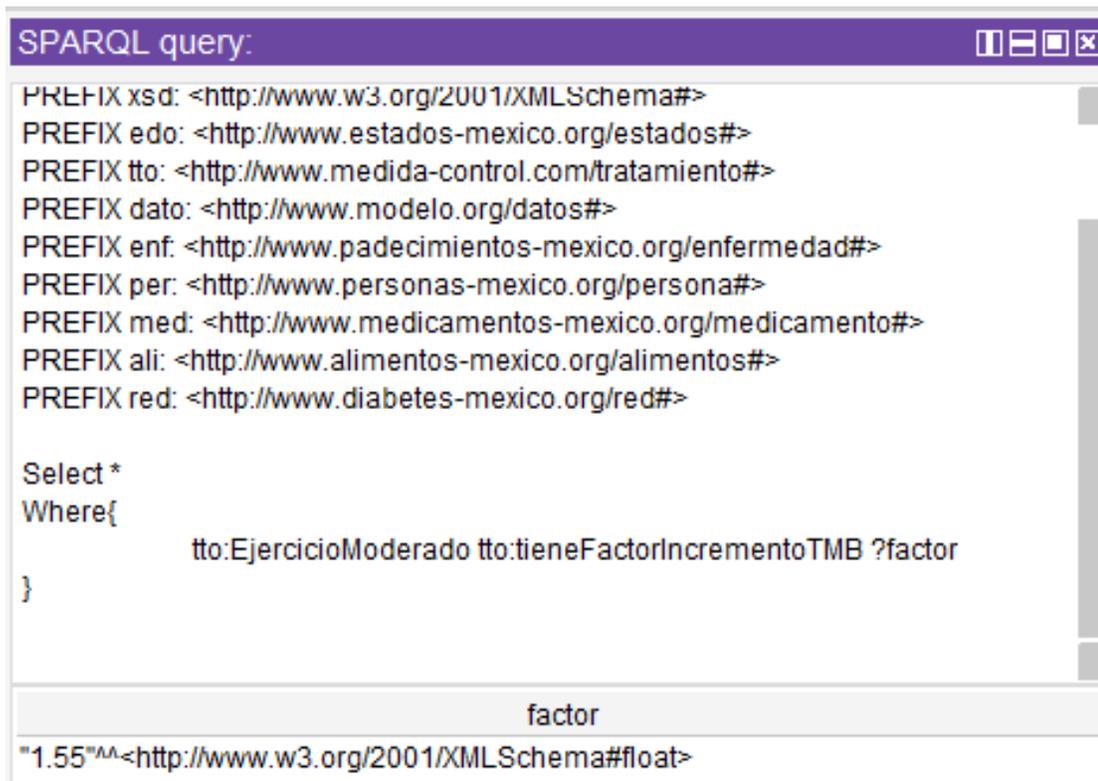
SPARQL query:
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX edo: <http://www.estados-mexico.org/estados#>
PREFIX tto: <http://www.medida-control.com/tratamiento#>
PREFIX dato: <http://www.modelo.org/datos#>
PREFIX enf: <http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedad#>
PREFIX per: <http://www.personas-mexico.org/persona#>
PREFIX med: <http://www.medicamentos-mexico.org/medicamento#>
PREFIX ali: <http://www.alimentos-mexico.org/alimentos#>
PREFIX red: <http://www.diabetes-mexico.org/red#>

Select ?disease
Where{
    ?dm enf:puedeCausar ?disease.
    ?dm a enf:Diabetes_Mellitus.
}

```

disease
NeuropatiaDiabetica
EstadoHiperosmolarHiperglucemico
RetinopatiaDiabetica
NefropatiaDiabetica

Figura A.32: Respuesta a la pregunta de competencia número 18 de la RODM.



The image shows a window titled "SPARQL query:" with a purple header. The window contains a SPARQL query and its result. The query is as follows:

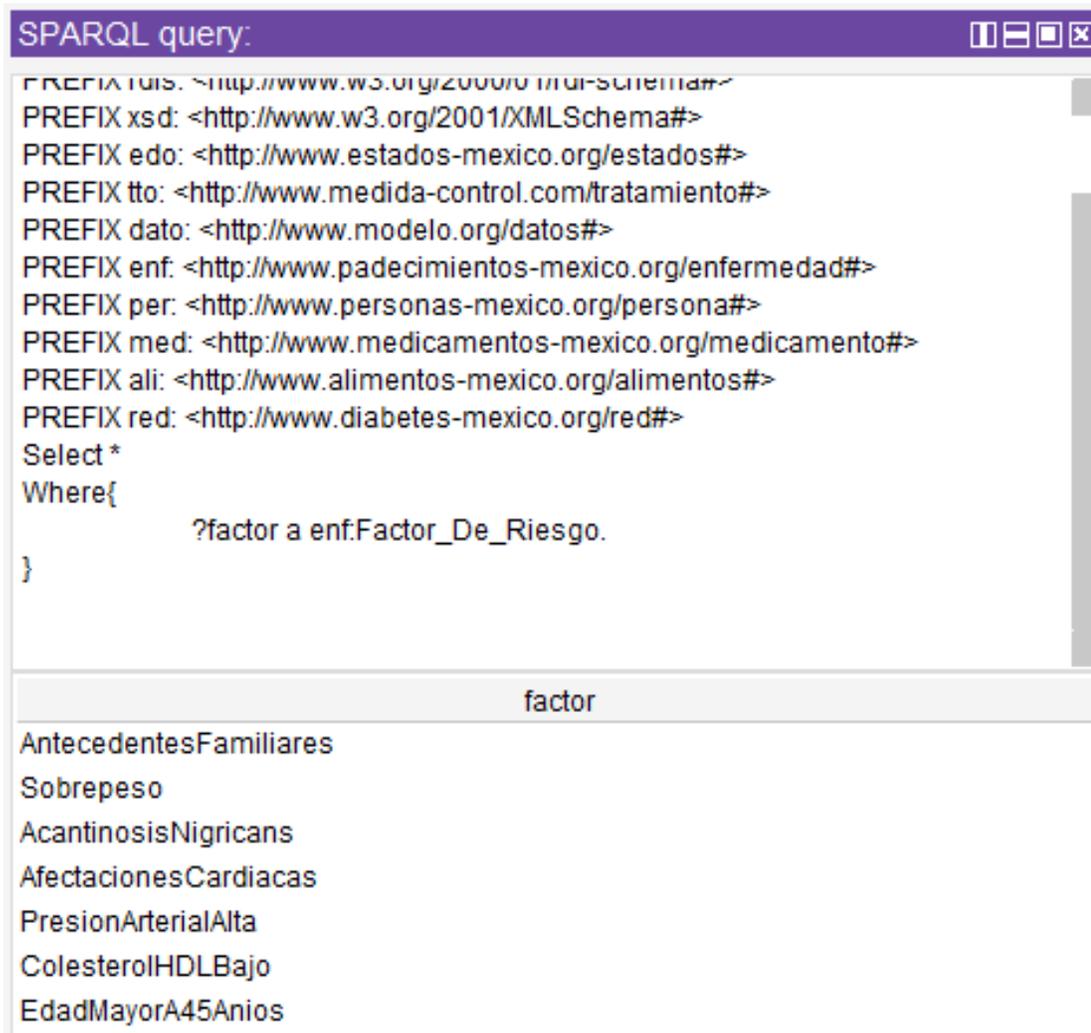
```
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX edo: <http://www.estados-mexico.org/estados#>
PREFIX tto: <http://www.medida-control.com/tratamiento#>
PREFIX dato: <http://www.modelo.org/datos#>
PREFIX enf: <http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedad#>
PREFIX per: <http://www.personas-mexico.org/persona#>
PREFIX med: <http://www.medicamentos-mexico.org/medicamento#>
PREFIX ali: <http://www.alimentos-mexico.org/alimentos#>
PREFIX red: <http://www.diabetes-mexico.org/red#>

Select *
Where{
    tto:EjercicioModerado tto:tieneFactorIncrementoTMB ?factor
}
```

The result of the query is shown in a table with one row and one column:

factor
"1.55"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float>

Figura A.33: Respuesta a la pregunta de competencia número 19 de la RODM.



The screenshot shows a SPARQL query window with a purple header. The query is as follows:

```

PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX edo: <http://www.estados-mexico.org/estados#>
PREFIX tto: <http://www.medida-control.com/tratamiento#>
PREFIX dato: <http://www.modelo.org/datos#>
PREFIX enf: <http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedad#>
PREFIX per: <http://www.personas-mexico.org/persona#>
PREFIX med: <http://www.medicamentos-mexico.org/medicamento#>
PREFIX ali: <http://www.alimentos-mexico.org/alimentos#>
PREFIX red: <http://www.diabetes-mexico.org/red#>
Select *
Where{
    ?factor a enf:Factor_De_Riesgo.
}

```

The results are displayed in a table with a single column labeled 'factor'. The results are:

factor
AntecedentesFamiliares
Sobrepeso
AcantinosisNigricans
AfectacionesCardiacas
PresionArterialAlta
ColesterolHDLBajo
EdadMayorA45Anios

Figura A.34: Respuesta a la pregunta de competencia número 20 de la RODM.

SPARQL query: ⏏ ⏏ ⏏ ⏏

```

PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX edo: <http://www.estados-mexico.org/estados#>
PREFIX tto: <http://www.medida-control.com/tratamiento#>
PREFIX dato: <http://www.modelo.org/datos#>
PREFIX enf: <http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedad#>
PREFIX per: <http://www.personas-mexico.org/persona#>
PREFIX med: <http://www.medicamentos-mexico.org/medicamento#>
PREFIX ali: <http://www.alimentos-mexico.org/alimentos#>
PREFIX red: <http://www.diabetes-mexico.org/red#>
SELECT ?place (COUNT(?patient) as ?pCount)
WHERE
{
  ?patient red:resideEn ?place .
}
GROUP BY ?place

```

place	pCount
Puebla	"4" <a href="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#">^</a>
Hidalgo	"3" <a href="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#">^</a>

Figura A.35: Respuesta a la pregunta de competencia número 21 de la RODM.

Snap SPARQL Query:

```

PREFIX edo: <http://www.estados-mexico.org/estados#>
PREFIX tto: <http://www.medida-control.com/tratamiento#>
PREFIX dato: <http://www.modelo.org/datos#>
PREFIX enf: <http://www.padecimientos-mexico.org/enfermedad#>
PREFIX per: <http://www.personas-mexico.org/persona#>
PREFIX med: <http://www.medicamentos-mexico.org/medicamento#>
PREFIX ali: <http://www.alimentos-mexico.org/alimentos#>
PREFIX red: <http://www.diabetes-mexico.org/red#>

Select ?patient ?biotype
Where{
  ?patient red:tieneExpedienteClinico ?record.
  ?record dato:tieneNotaMedica ?note.
  ?note red:tieneDiagnostico enf:DiabetesMellitusTipo1.
  ?note dato:tieneBiotipo ?biotype
}

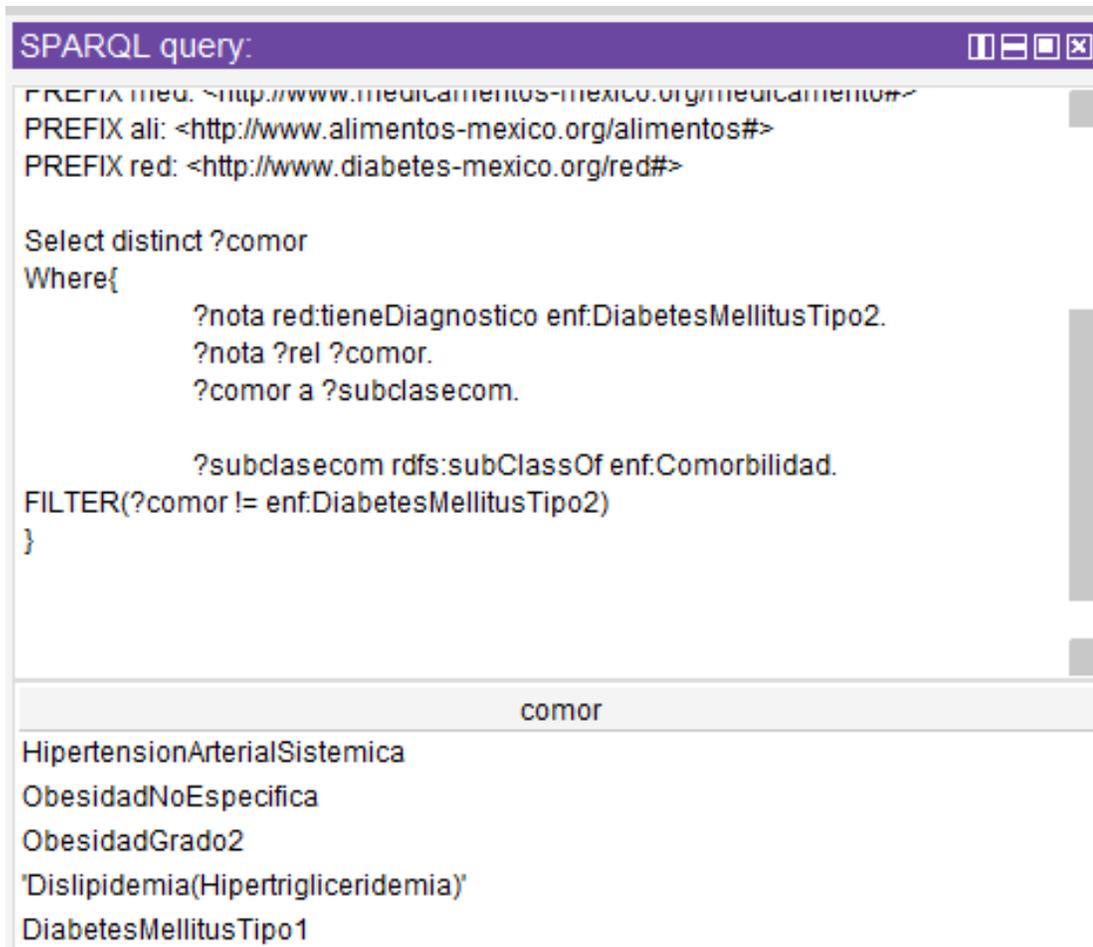
```

Execute

?patient	?biotype
per.paciente25	dato:Sobrepeso
per.paciente25	enf:Sobrepeso
per.paciente2	dato:PesoNormal
per.paciente2	dato:PesoNormal
per.paciente30	dato:DelgadezSevera
per.paciente2	dato:PesoNormal
per.paciente39	dato:PesoNormal
per.paciente40	dato:Sobrepeso

54 results

Figura A.36: Respuesta a la pregunta de competencia número 22 de la RODM.



The image shows a window titled "SPARQL query:" with a purple header. The query text is as follows:

```

PREFIX med: <http://www.medicamentos-mexico.org/medicamento#>
PREFIX ali: <http://www.alimentos-mexico.org/alimentos#>
PREFIX red: <http://www.diabetes-mexico.org/red#>

Select distinct ?comor
Where{
    ?nota red:tieneDiagnostico enf:DiabetesMellitusTipo2.
    ?nota ?rel ?comor.
    ?comor a ?subclasecom.

    ?subclasecom rdfs:subClassOf enf:Comorbilidad.
FILTER(?comor != enf:DiabetesMellitusTipo2)
}

```

Below the query, the results are displayed in a table with a single column header "comor". The results listed are:

- HipertensionArterialSistemica
- ObesidadNoEspecifica
- ObesidadGrado2
- 'Dislipidemia(Hipertrigliceridemia)'
- DiabetesMellitusTipo1

Figura A.37: Respuesta a la pregunta de competencia número 23 de la RODM.

paciente	edad	fecha
paciente154	"61"^^<http://www.w3.org/2019-07-16"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date>	
paciente25	"35"^^<http://www.w3.org/2018-04-17"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date>	
paciente140	"82"^^<http://www.w3.org/2018-08-13"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date>	
paciente107	"73"^^<http://www.w3.org/2019-06-24"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date>	
paciente139	"63"^^<http://www.w3.org/2019-01-18"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date>	
paciente116	"69"^^<http://www.w3.org/2018-07-20"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date>	
paciente16	"72"^^<http://www.w3.org/2018-06-14"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date>	
paciente97	"7"^^<http://www.w3.org/2018-08-17"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date>	
paciente131	"32"^^<http://www.w3.org/2019-01-28"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date>	
paciente40	"67"^^<http://www.w3.org/2018-12-21"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date>	
paciente155	"61"^^<http://www.w3.org/2018-09-04"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date>	
paciente164	"82"^^<http://www.w3.org/2019-01-16"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#date>	

Figura A.38: Respuesta a la pregunta de competencia número 24 de la RODM.

paciente	sexo
paciente126	"Femenino"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>
paciente19	"Masculino"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>
paciente138	"Femenino"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>
paciente161	"Femenino"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>
paciente13	"Femenino"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>
paciente3	"Femenino"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>
paciente20	"Masculino"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>
paciente144	"Masculino"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>

Figura A.39: Respuesta a la pregunta de competencia número 25 de la RODM.

	comor
HipertensionArterialSistematica	
Hiperuricemia	
InsuficienciaCardiacaNoEspecifica	
ObesidadGrado2	
ObesidadNoEspecifica	
ObesidadGrado3	
ObesidadGrado1	
'Dislipidemia(Hipertrigliceridemia)'	
DiabetesMellitusTipo2Descontrolada	
DiabetesMellitusTipo1	
DiabetesMellitusTipo2	
OtrosTrastornosDelSistemaUrinario	

Figura A.40: Respuesta a la pregunta de competencia número 26 de la RODM.

diag	count
TIÑA_DE_LAS_UÑAS	"21"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
HIPERTENSION_ESENCIAL_PRIMARIA	"18"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
SINDROME_DEL_COLON_IRRITABLE	"11"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
HIPERPLASIA_DE_LA_PROSTATA	"11"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
DiabetesMellitusTipo1_SIN_MENCION_DE_COMPLICACION	"8"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
'DiabetesMellitusTipo2_SIN_MENCION_DE_COMPLICACION'	"8"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
EXAMEN_GINECOLOGICO_GENERAL_DE_RUTINA	"7"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
COLITIS_DE_ETIOLOGIA_INDETERMINADA	"7"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
RINOFARINGITIS_AGUDA	"7"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
DIABETES_MELLITUS_NO_INSULINODEPENDIENTE	"6"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
DM_NO_INSULINODEPENDIENTE	"6"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>
HipertensionArterialSistematica	"6"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer>

Figura A.41: Respuesta a la pregunta de competencia número 28 de la RODM.

	c
"44054006"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string>	

Figura A.42: Respuesta a la pregunta de competencia número 29 de la RODM.

