UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

FACULTAD POLITÉCNICA

INGENIERÍA EN INFORMÁTICA

PROPUESTA DE TRABAJO FINAL DE GRADO DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

"MODELADO DE DATOS CON FORMALISMO ONTOLÓGICO PARA LA INTEROPERABILIDAD SEMÁNTICA ENTRE SISTEMAS DE REGISTRO DE SALUD ELECTRÓNICO, APLICADO A LA ATENCIÓN PRIMARIA DE LA SALUD EN PARAGUAY"

AUTORES:

VIVIANA RAQUEL OSORIO CASCO
raquelosorio92@gmail.com
CI: 5.227.608

SONIA ELÍZABETH LAVIOSA PIRIS
laviosasonia@gmail.com
CI: 5.136.186

TUTORES:

PROF. DR. GUSTAVO GIMÉNEZ LUGO
PROF. DRA. CYNTHIA VILLALBA

San Lorenzo - Paraguay
9 de julio de 2019

ÍNDICE GENERAL

Índice general **1**

1. INTRODUCCIÓN **3**
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 5
1.2. TEMA 5
1.3. OBJETIVOS 5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL 6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
1.4. UTILIDAD 6
1.5. HIPÓTESIS 6
1.6. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN 7
1.7. ESCENARIO 7
1.8. ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA 8

2. INTEROPERABILIDAD EN REGISTROS DE SALID ELECTRÓNICOS **10**
2.1. REGISTRO DE SALUD ELECTRÓNICO 10
2.2. INTEROPERABILIDAD 12
2.2.1. INTEROPERABILIDAD SINTÁCTICA 14
2.2.2. INTEROPERABILIDAD SEMÁNTICA 15
2.3. ONTOLOGÍA 16
2.3.1. MÉTODOS DE DESARROLLO DE ONTOLOGÍAS 23
2.3.2. EVALUACIÓN DE ONTOLOGÍAS 29
2.3.3. LENGUAJE DE ONTOLOGÍA WEB (OWL) 31
2.4. ESTÁNDARES MÉDICOS 35
2.4.1. VOCABULARIOS MÉDICOS 36
2.4.2. HL7 38
2.4.3. CDA 39
2.4.4. FHIR 40
2.4.5. OPENEHR 42
2.4.6. ONTOLOGÍAS MÉDICAS 45
2.5. CONJUNTO DE DATOS MÍNIMOS EN EL DOMINIO DE SALUD . 47
2.5.1. IMPORTANCIA DE LA DEFINICIÓN DEL CONJUNTO DE DATOS MÍNIMOS 48

3. ANTECEDENTES **50**
3.1. SISTEMAS EHR EN PAÍSES DE LA REGIÓN 50
3.1.1. SISTEMAS EHR EN PARAGUAY 51

4. MATERIALES Y MÉTODOS **55**
4.1. METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL CONJUNTO DE DATOS MÍNIMOS PARA APS 55
4.2. TAREAS 58
4.3. CRONOGRAMA PRELIMINAR 60
4.4. RESULTADOS ESPERADOS 63

5. ESTRUCTURA DEL LIBRO **64**

Bibliografía **65**

1 INTRODUCCIÓN

El uso de las Tecnologías de Información y Comunicación [1] (TIC), aplicadas al ámbito de la salud ha ido en aumento en los últimos años, tanto en los países desarrollados como en desarrollo [WHO, 2012], [WHO, 2016a], [WHO, 2015]. Se puede apreciar el crecimiento en cuanto a interés y adopción de sistemas para la manipulación de Registros de Salud Electrónicos [2] (EHR por sus siglas en inglés).

El interés por sustituir el registro en papel por un EHR se debe a que este último promete muchas ventajas, entre las que se destacan la mayor confiabilidad, calidad y accesibilidad a la información del paciente [WHO, 2012]. Además de las ventajas que se pueden obtener con el traspaso del registro tradicional de datos en papel a un EHR, se pueden conseguir beneficios más significativos si las informaciones que se registran en los Sistemas EHR [3], de los diferentes centros asistenciales, pueden compartirse entre estos. Lograr este intercambio posibilitaría la continuidad asistencial del paciente, ya que permitiría que el personal de blanco tenga una visión global y actualizada del registro de salud del paciente, teniendo a disposición información correcta y completa de estos, entre otros beneficios a nivel individual y poblacional [WHO, 2016b].

A razón de estas múltiples ventajas, muchos países están trabajando desde hace varios años en tener su propio EHR compartido a nivel nacional [Infoway, 2018], [Agency, 2018], [de Salud del Gobierno de Chile, 2014], [da Saúde, 2018c].

En el caso de Paraguay, actualmente algunos proveedores de servicios de salud del sector público y privado registran la información de salud de los pacientes utilizando algún sistema informatizado. Sin embargo, estos sistemas trabajan de manera aislada y sin ninguna interconexión que permita el intercambio de información del paciente, debido a que no siguen un estándar para ese propósito [de Tecnología de la Información y Comunicación, 2019].

Considerando los beneficios que se pueden obtener con un EHR compartido a nivel nacional, Paraguay también debería apuntar a esa iniciativa, que de hecho se está

[1] "Conjunto de recursos, herramientas, equipos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios, que permiten la compilación, procesamiento, almacenamiento y transmisión de información" [Legislativo, 2013].

[2] "Depósito de información sobre el estado de salud de un sujeto de atención, en forma procesable por computadora" [ISO, 2005].

[3] "Conjunto de componentes que forman el mecanismo mediante el cual se crean, utilizan, almacenan y recuperan los registros de salud electrónicos, incluidas las personas, los datos, las normas y los procedimientos, los dispositivos de procesamiento y almacenamiento y las instalaciones de comunicación y soporte" [ISO, 2005].

empezando a trabajar en el marco del proyecto de Historial de Salud Personal (HSP)[1].

Un concepto clave que surge con la necesidad de compartir la información entre los diferentes sistemas EHR, de forma a contar con un EHR nacional, es denominado Interoperabilidad [2].

Para lograr la interoperabilidad entre sistemas, existen varios aspectos a considerar, uno de ellos es la necesidad de contar con técnicas que posibiliten la interpretación e integración de los datos, el concepto que trata dichos aspectos se conoce como Interoperabilidad Semántica [3] [Indarte y Gutierrez, 2011].

Alcanzar la interoperabilidad semántica entre dos o más sistemas EHR, es un desafío importante y aborda ciertas necesidades como la aplicación de estándares [4] [Indarte y Gutierrez, 2011], y un correcto Modelado de Datos[5] con formalización ontológica, para dichos sistemas [WHO, 2012].

Este proyecto tiene por objetivo proponer un modelado de datos con formalismo ontológico, que sea estándar, a partir de Conjuntos de Datos Mínimo (CDM)[6] para APS, que sirva como base para un EHR compartido a nivel país. Un requisito indispensable para tal infraestructura informática es que dicho estándar posibilite la interoperabilidad semántica.

[1] Proyecto centralizado en la nube que propone la unificación de historiales clínicos de pacientes de los diversos centros asistenciales en Paraguay, además del acceso ubicuo a los datos junto con los mecanismos de privacidad y seguridad [López *et al.*, 2016b].

[2] "Capacidad de comunicar e intercambiar datos de manera precisa, efectiva y segura con diferentes sistemas de tecnología de la información, aplicaciones de software y redes en diversos entornos e intercambiar datos de manera que se preserve el propósito clínico u operacional y el significado inalterado de los datos" [Gibbons *et al.*, 2007].

[3] "Capacidad para que la información compartida por los sistemas se comprenda a nivel de conceptos de dominio definidos formalmente" [ISO, 2005].

[4] "Documento aprobado por consenso por un organismo reconocido, que proporciona reglas, pautas y/o características para uso común, con el objeto de obtener un óptimo nivel de resultados en un contexto dado" [ISO/IEC, 2004].

[5] "Método utilizado para definir y analizar los requisitos de datos necesarios para respaldar los procesos de negocios de una organización" [of Transportation, 2001].

[6] Definición de datos que necesariamente deben ser registrados y que son relevantes en un evento de salud para que se puedan cubrir las necesidades de captura de información. Dichos datos deben ajustarse a los estándares a nivel regional e internacional [de Sanidad, 2013].

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En Paraguay, el modelado de informaciones de salud es insuficiente y basado apenas en representaciones convencionales (Estructuras de Datos Relacionales [1]) [Alazraqui y Bogado, 2018], lo cual limita de sobremanera las posibilidades de comunicación e integración como sistema EHR [Hovenga, 2008]. A nivel nacional no se tienen definidos estándares de interoperabilidad en el ámbito médico [de Tecnología de la Información y Comunicación, 2019], por lo cual al no poder intercambiar información de un paciente entre estos sistemas de forma estandarizada, se incurre en la duplicación, interpretación incorrecta e incompletitud de los datos registrados en el EHR del paciente. Duplicación en el sentido de que el paciente tiene un registro en cada centro asistencial donde asiste, interpretación incorrecta ya que no se tiene un esquema de datos mínimos estandarizados ni se utilizan estándares médicos para registrar la información del paciente, e incompletitud ya que parte del EHR del paciente se encuentra distribuido en los centros asistenciales donde haya asistido antes [Sachdeva y Bhalla, 2012].

La relevancia del problema reside en la interoperabilidad entre sistemas EHR, específicamente la interoperabilidad a nivel semántico. Debido a que teniendo sistemas EHR compartiendo informaciones de salud con interpretación semántica, facilita la comunicación y la obtención de respuestas significativas y eficaces [Indarte y Gutierrez, 2011].

1.2. TEMA

Modelado de Datos con formalismo ontológico para la Interoperabilidad Semántica entre Sistemas de Registro de Salud Electrónico, aplicado a la Atención Primaria de la Salud en Paraguay.

1.3. OBJETIVOS

En esta sección serán presentados los objetivos.

[1] Conjunto de tablas que describen la estructura lógica y física de los datos, y se puede manipular según el modelo relacional de los datos [Codd, 1970].

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Proponer y evaluar un estándar en forma de conjuntos de datos mínimos con formalismo ontológico para la interoperabilidad entre sistemas EHR en Paraguay, teniendo como caso de estudio la atención primaria de la salud.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el dominio de atención primaria de la salud en el marco del proyecto Historial de Salud Personal.
- Definir los conjuntos de datos mínimos para registro de salud electrónico de atención integrada en Paraguay, necesarios para cubrir el dominio de atención primaria de la salud.
- Modelar los conjuntos de datos mínimos utilizando formalismo ontológico.
- Prototipar y evaluar el modelo ontológico del conjunto de datos mínimos.

1.4. UTILIDAD

Teniendo un CDM para el EHR acotado a APS, que sea estándar a nivel nacional y que además, dicho CDM aplique formalismo ontológico para conservar el significado de los datos, permitirá que los sistemas EHR que lo implementen puedan compartir información del paciente. Lo cual será útil tanto para los profesionales de salud como para los pacientes, ya que se podrá recuperar el EHR completo del paciente sin pérdida de información, con lo cual el profesional de salud podrá tomar decisiones más precisas. Esto ayuda a mejorar la atención médica del paciente y su calidad de vida.

1.5. HIPÓTESIS

En Paraguay es posible lograr la interconexión entre sistemas EHR heterogéneos y la correcta interpretación de la información compartida, mediante un adecuado formalismo ontológico de los conjuntos de datos mínimos, requeridos para el dominio acotado a la APS, que asegure la interoperabilidad semántica.

1.6. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

En el contexto del proyecto HSP acotado a APS en Paraguay:

- ¿Cuáles son los datos mínimos requeridos para modelar correctamente la información?
- ¿Cuáles son los requerimientos que se deben considerar al hacer el modelado ontológico de datos?
- ¿Qué metodología de construcción se puede utilizar para el modelado ontológico de datos?

1.7. ESCENARIO

Si bien este trabajo está acotado a APS, el escenario elegido es el área de inmunizaciones, centrado en el registro de vacunación.

El registro de vacunación corresponde a un submódulo dentro del modelado de APS que se pretende desarrollar en este trabajo. En la Figura 1.1, se puede observar el esquema para el escenario propuesto, en donde el registro de vacunación es compartido entre múltiples sistemas que pueden pertenecer a diversas instituciones de salud. Para representar los elementos que se deben considerar en el registro de un evento de vacunación, se considera la estructura de un acto médico (ver Figura 1.2) de [Luna *et al.*, 2007].

Esta elección se debe al bajo nivel de dependencia de otras áreas médicas, en comparación a otros posibles escenarios, lo cual haría que sea factible realizar pruebas bien acotadas y completas. Otra característica que lo hace un escenario ideal es el nivel de sensibilidad de los datos, ya que normalmente los pacientes acceden a esta información con facilidad lo que evitaría problemas con la compartición de datos de salud. Es además, especialmente relevante ya que el registro de los datos de vacunación se da desde el nacimiento del paciente y lo acompaña durante toda su vida. Así también, es conveniente debido a que el HSP ya tiene desarrollado como plan piloto el módulo de vacunación, lo que facilitaría la integración con otros sistemas EHR que tengan desarrollado dicho módulo.

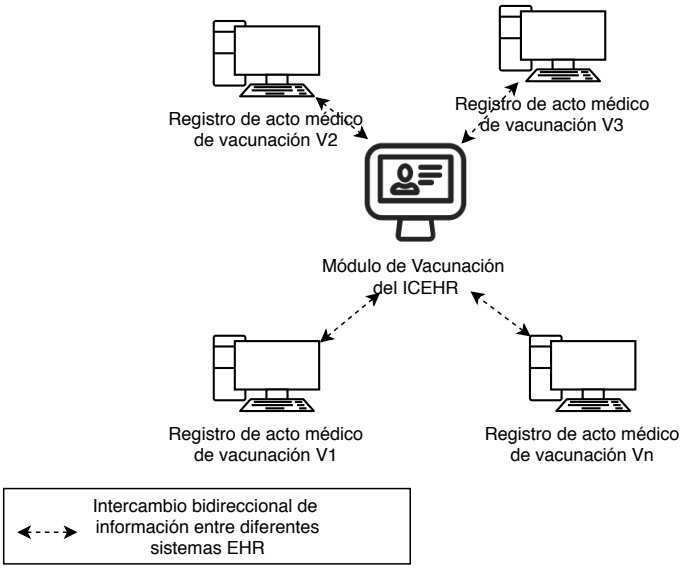

Figura 1.1: Esquema de escenario de trabajo

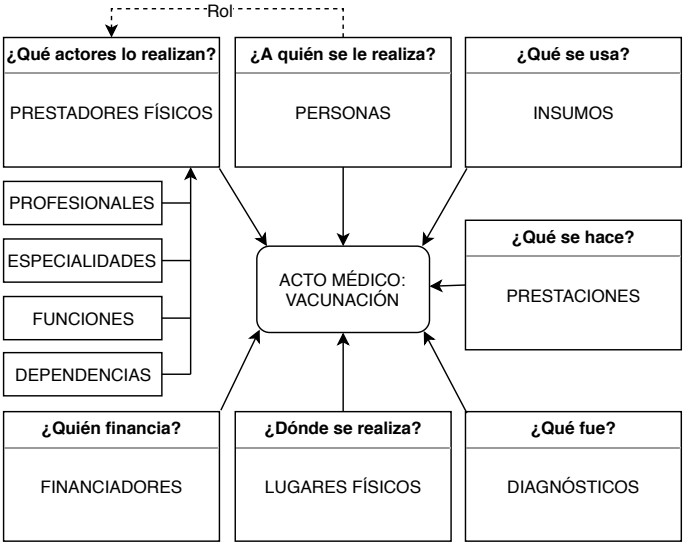

Figura 1.2: Anatomía de un acto médico basado en [Luna *et al.*, 2007]

1.8. ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA

En las siguientes secciones, se disponibilizan los conceptos e informaciones necesarios para la comprensión de la problemática, se muestra el contexto a nivel global, además

se expone la situación actual de Paraguay en cuanto a EHR y se pone a conocimiento el aporte que brindará este trabajo como solución propuesta para parte de la problemática.

El documento estará estructurado de la siguiente manera: en la Sección 2 se presenta la descripción de EHR y su clasificación, de manera a poder entender las diferencias y las consideraciones para este trabajo con respecto a las mismas, el concepto de interoperabilidad en los niveles sintáctico y semántico, así también la definición de la técnica de modelado de conocimiento mediante la aplicación de ontología apuntando a la informática médica, junto con el uso de estándares médicos, describiendo brevemente aquellos de mayor uso en la actualidad. Además, se decriben el CDM y su importancia en el dominio de salud acotado a APS. La Sección 3 presenta un panorama general de la situación de Paraguay en cuanto a EHR, la problemática, algunos de los sistemas informatizados existentes de los centros asistenciales del país, como también, de otros países de la región como Brasil, Chile, Uruguay y Argentina. La Sección 4 contiene los materiales y métodos que se pretenden llevar a cabo para el desarrollo del proyecto, incluyendo la metodología para la definición del CDM, las tareas, el cronograma y diagrama de estado de estas y los resultados esperados. Finalmente, en la Sección 5 se presenta la estructura tentativa del libro del proyecto final de grado.

2 INTEROPERABILIDAD EN REGISTROS DE SALID ELECTRÓNICOS

En esta sección se exponen los conceptos principales y necesarios para la elaboración y desarrollo de este trabajo. Estos conceptos son: el registro de salud electrónico, la interoperabilidad entre sistemas EHR, en su nivel de interoperabilidad sintáctica y semántica, las ontologías computacionales, los estándares médicos y el conjunto de datos mínimos en el dominio de la salud.

2.1. REGISTRO DE SALUD ELECTRÓNICO

Cuando se habla de un EHR, puede existir cierta confusión, esto es debido a que existe un conjunto de terminologías con significados próximos a este, o incluso derivaciones del término, que hace que la interpretación varíe según el término utilizado entre diversas instituciones [Organization, 2006].

Un caso que se podría citar, es que por lo general, se atribuye el concepto de EHR a los sistemas EHR. Sin embargo, estos son conceptos distintos y por lo tanto es importante comprender que el sistema EHR es el "sistema de registro, recuperación y manipulación de información en EHR" [ISO, 2005].

En cuanto a EHR, muchas organizaciones en el ámbito de la estandarización o de la salud han definido este término [Information y Society, 2019], [Organization, 2006], [ISO, 2005]. La Organización Internacional de Normalización [1] (ISO por sus siglas en inglés), define el EHR en una jerarquía de definiciones (ver Figura 2.1), en su reporte técnico ISO/TR 20514 [ISO, 2005]. El desglose de definiciones de EHR establecido en dicho reporte, permite cubrir las necesidades para categorizar los sistemas informatizados de salud que se pretende abarcar en este trabajo, según el tipo de EHR de los mismos, por lo cual se explicará brevemente a continuación.

Para la categorización, se hace una distinción entre el contenido y la estructura de un EHR. En la jerarquía más alta se tiene la definición en términos de estructura, esto es, el EHR Básico Genérico definido como "depósito de información sobre el estado de

[1] "Es el organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales a excepción de la eléctrica y la electrónica. Su función principal es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones a nivel internacional" [EcuRed, 2018].

salud de un sujeto de atención, en forma procesable por computadora".

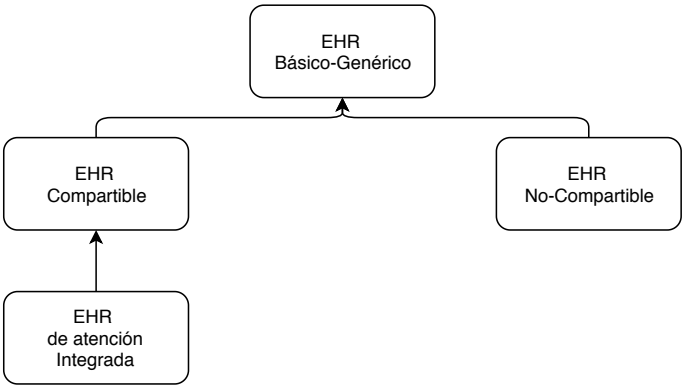

Figura 2.1: Clasificación de definiciones EHR [ISO, 2005].

El EHR básico genérico se subdivide en dos categorías, el EHR compartible y el no compartible, en los cuales se hace una especialización según dos de las características más importantes de un EHR, "la capacidad de compartir información de salud del paciente entre usuarios autorizados del EHR y el rol principal del EHR en el apoyo a la atención médica integrada continua, eficiente y de calidad".

Dentro de la categoría de EHR no compartible, se incluyen aquellos modelos de información que no siguen una estructura o estandarización. Este modelo está atado a un sistema EHR particular, por lo cual no es posible conseguir interoperabilidad con otros sistemas, es decir, los sistemas EHR con un modelo EHR no compartible, no permiten compartir información con otros sistemas o al menos el intercambio es muy limitado.

Por su parte, el EHR compartible es el "EHR con un modelo de información lógico comúnmente acordado", lo que permite el intercambio de información de EHR, lo cual se puede dar en tres niveles.

En el nivel uno, que es el más bajo, se tiene el intercambio a través de una misma aplicación, por ejemplo en un mismo centro asistencial entre diferentes usuarios, estos podrían ser los médicos de diversas especialidades que pueden revisar el EHR del paciente o también hacer sus propios registros.

En el nivel dos, el intercambio se puede dar cuando la información de EHR se almacena y mantiene en una ubicación particular y los usuarios pueden compartir dicha información desde diferentes aplicaciones.

Sin embargo, un intercambio más significativo se da en el nivel tres, cuando el EHR

puede compartirse de forma transparente entre diferentes sistemas EHR, dentro de esta forma de intercambio se tiene una especialización del EHR compartible denominado EHR de Atención Integrada (ICEHR por sus siglas en inglés). El ICEHR "tiene un modelo de información lógico estandarizado o comúnmente acordado que es independiente de los sistemas EHR y cuyo propósito principal es el apoyo a la atención sanitaria integrada, continua, eficiente y de calidad".

Por otro lado, debe considerarse que hoy en día existen varios sistemas informatizados aplicados al área médica, dedicados al registro de información de salud de los pacientes, con diversas características y definiciones. A su vez, existen varios términos para referirse al registro electrónico de datos de un paciente, algunos de estos términos incluyen Registros de Salud Automatizados, Registro Médico Electrónico, Registro de Pacientes por Computadora, entre otros [Organization, 2006].

El Registro Médico Electrónico (EMR por sus siglas en inglés), es uno de los términos que por lo general se entiende como sinónimo de EHR, sin embargo, mientras que el EHR abarca toda la información de un paciente, el EMR se enfoca sólo en la parte médica. Esto puede notarse claramente con la definición descrita por la ISO, que afirma lo siguiente "el EMR podría considerarse como un caso especial de EHR, restringido en su alcance al dominio médico o al menos muy centrado en el aspecto médico" [ISO, 2005].

Por tanto, en este proyecto de fin de grado se considerará el EHR como tal, para hacer referencia al registro electrónico de los datos del paciente.

2.2. INTEROPERABILIDAD

Hoy en día es difícil pensar en sistemas computacionales aislados que no necesiten de otros sistemas para funcionar [Sun *et al.*, 2012]. Actualmente la mayoría de estos sistemas necesitan trabajar de manera integrada, lo cual se puede dar de muchas maneras, una de las más útiles y más necesarias, pero a la vez más trabajosas es hacer que los sistemas funcionen de manera integral y que además trabajen en conjunto de forma coordinada [Yahia *et al.*, 2012]. Para lograr dicha coordinación es necesaria la comunicación pero no es suficiente sólo con comunicarse, porque la comunicación significativa en computación sólo se establece cuando se tiene interacción [Carney *et al.*, 2005], [Marco-Ruiz *et al.*, 2017]. En ese sentido surge la necesidad de una propiedad denominada interoperabilidad [Indarte y Gutierrez, 2011].

Actualmente no existe una única definición consensuada de interoperabilidad, diferentes autores han atribuido sus respectivas definiciones, por citar algunos [Gibbons *et al.*, 2007], [Yahia *et al.*, 2012], [ISO, 2005], [Carney *et al.*, 2005], etc.

Para interoperar en computación, los sistemas pueden interactuar de varias maneras, dependiendo del ambiente en computación para cumplir un objetivo dado determinado por el contexto [Yahia *et al.*, 2012]. La interoperabilidad se da cuando dos o más sistemas tienen la necesidad de interactuar entre sí, intercambiar información con contexto y lograr que la información intercambiada sea utilizada para algún fin. Es decir, usar dicha información, de tal forma que tenga un significado y pueda ser interpretada correctamente para tomar una decisión o realizar alguna acción [Carney *et al.*, 2005].

De forma análoga, en la vida diaria existe interoperabilidad entre dos o más personas cuando estas conversan. Para lograr esto, intervienen algunos factores como el idioma en que las personas hablan para comunicarse (interoperabilidad a nivel sintáctico), y que la información que intercambian entre ellas sea interpretada correctamente (interoperabilidad a nivel semántico). Tal es el caso de que si Juan conversa con María en el lenguaje español y le habla de una planta, María la interprete como una planta industrial, sin embargo Juan se refiere a una planta cultivada. Lo cual refleja que para lograr la interoperabilidad es necesaria la interoperabilidad sintáctica, pero no es suficiente ya que para lograr la correcta interpretación de la información también hace falta la interoperabilidad semántica [Yahia *et al.*, 2012].

Cabe destacar también que existen diversos tipos de clasificación de la interoperabilidad, teniendo en cuenta aspectos técnicos, conceptuales y organizacionales [Blobel y Pharow, 2008], [Indarte y Gutierrez, 2011], [Gibbons *et al.*, 2007], [Elkin *et al.*, 2007], [Yahia *et al.*, 2012].

En un enfoque de formalización, [Yahia *et al.*, 2012] exponen la clasificación de la interoperabilidad especificando un escenario consistente de dos sistemas informatizados(SI_1 y SI_2) que interoperan en un contexto determinado, considerando sus respectivos modelos conceptuales que están orientados a los hechos, de tal forma a evaluar su interoperabilidad potencial y efectiva. Ellos establecen que SI_1 interopera con SI_2 si estos cumplen las siguientes propiedades (ver Figura 2.2):

- P1. SI_1 puede comunicar cierta información con SI_2, es decir, SI_1 puede intercambiar información con SI_2, y

- P2. SI_2 es capaz de comprender al menos parcialmente la semántica de la información intercambiada, es decir, SI_2 puede interpretar el significado correcto de dicha información intercambiada, y

- P3. SI_2 opera en esa información intercambiada, es decir, SI_2 utiliza la información intercambiada para realizar alguna acción.

La Figura 2.2 refleja las propiedades dadas para lograr la interoperabilidad entre SI_1 y SI_2. Primeramente, para que SI_1 pueda intercambiar información con SI_2, éstos deben tener interfaces compatibles (P1, interoperabilidad técnica). Luego, para el estudio de la propiedad P2, se necesita identificar las diferentes relaciones semánticas que pueden existir entre los modelos conceptuales orientados a hechos. Por último, opera la propiedad P3, cuando SI_2 utiliza de manera efectiva la información intercambiada y si dicha información es suficiente como para cumplir con la información necesaria, obligatoria y mínima de SI_2 (interoperabilidad semántica).

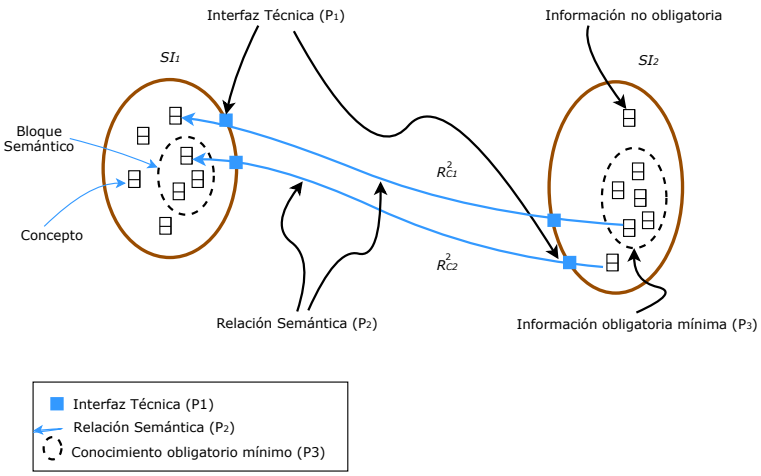

Figura 2.2: Propiedades de la Interoperabilidad [Yahia *et al.*, 2012].

La importancia de la interoperación entre sistemas se vuelve más significativa cuando se piensa no sólo en el presente, sino también en el futuro, donde puede existir la necesidad de ejecutar en los sistemas, funciones que sean de un patrón diferente del que se ejecuta en el presente o el contexto de colaboración cambia, dichos sistemas tienen que ser capaces de adaptarse a los cambios.

Este trabajo se centra en dos de las clasificaciones que serán abordadas a lo largo de toda la sección ya que son el foco para el desarrollo del proyecto. A continuación, serán detallados en la Sección 2.2.1 los aspectos de la interoperabilidad sintáctica y en la Sección 2.2.2 se complementa con la interoperabilidad semántica.

2.2.1. INTEROPERABILIDAD SINTÁCTICA

La diversidad y aplicación de las TIC y la gran cantidad de proveedores de sistemas informatizados que se han puesto en funcionamiento en el sector en los últimos años, hace que la interoperabilidad sea una de las características necesarias y fundamentales

de dichos sistemas, ya que en algunos casos, estos sistemas necesitan trabajar en conjunto, para lo cual un primer paso es la de poder comunicarse. Esto se logra mediante el uso de estándares que dan lugar a establecer un formato común de los datos, lo que se conoce como interoperabilidad sintáctica [Indarte y Gutierrez, 2011].

La interoperabilidad sintáctica se ocupa de las estructuras interoperables y se adapta a aquellas aplicaciones de software que dependen sólo de una estructura interoperable, es decir, se basa en la comunicación entre dos o más sistemas informatizados [Hovenga, 2008].

Los sistemas que implementan la interoperabilidad a nivel sintáctico, permiten que un sistema, que actúa como emisor, transmita datos a otro sistema, que actúa como receptor, dando lugar a una comunicación específica de manera precisa. Para lograrlo, ambos sistemas deben acordar el formato de los datos. La necesidad de interconectar las aplicaciones, y que haya intercambio de datos entre ellos, requiere del desarrollo y la aplicación de estándares de interoperabilidad [Meglič *et al.*, 2015].

2.2.2. INTEROPERABILIDAD SEMÁNTICA

Los esfuerzos por lograr la comunicación de los diversos y heterogéneos sistemas informatizados, sólo será práctico y útil si los mismos pueden intercambiar información y si la interpretación de dichas informaciones hace posible que los diferentes actores involucrados lleguen a las mismas conclusiones. Es decir, no es simplemente compartir los datos en un formato común, sino también conservar el contexto y el nivel significativo en ambas partes interesadas, lo que se conoce como interoperabilidad semántica [Marco-Ruiz *et al.*, 2017].

La interoperabilidad semántica "es la capacidad para que la información compartida por los sistemas se comprenda a nivel de conceptos de dominio definidos formalmente", esta proporciona los medios para integrar y procesar automáticamente grandes cantidades de información sin intervención humana [ISO, 2005].

Los sistemas que intercambian información y que pueden interpretar automáticamente dicha información, implementan la interoperabilidad a un nivel semántico. Dicha interoperabilidad implica que el sistema receptor no solo puede manejar la información que recibe, sino que también puede enternderla e interpretarla automáticamente. Por tanto, la interoperabilidad semántica se da cuando al menos uno de los sistemas puede procesar semánticamente la información, como por ejemplo ser capaz de hacer inferencias o realizar acciones que dependen completamente del significado de la información, no de su sintaxis. Tales funciones semánticas se pueden lograr utilizando alguna técnica de ontología [Meglič *et al.*, 2015].

2.3. ONTOLOGÍA

Dentro del área de la Inteligencia Artificial (IA) [1] existe un campo bastante amplio denominado Representación de Conocimiento [2], dedicado a representar información del mundo real, de una forma comprensible y precisa, que pueda ser interpretada y utilizada tanto por seres humanos como por máquinas, de manera tal a resolver problemas utilizando dicho conocimiento [Sowa, 2000]. Es aquí donde aparece el concepto de ontología.

El término ontología tiene diversas interpretaciones, en principio proviene de la interpretación filosófica, y su significado etimológico como "el estudio de la existencia" [Guarino, 1998]. En ciencias de la computación, también se pueden observar una variedad de trabajos, en diferentes áreas de aplicación para la informática, que definen el término con diferentes interpretaciones [Guarino, 1998], [Guizzardi, 2005], [Guarino y Giaretta, 1995], [Gruber, 1992], [Borst, 1997], [Studer *et al.*, 1997].

Como se menciona en [Guizzardi, 2005], una de las áreas de aplicación de la ontología es en sistemas de información, en cuyo contexto el término ontología tiene un significado claro, que es similar a la definición dada en filosofía en la que se establece como una teoría particular sobre la naturaleza del ser o los tipos de existencia. En ese sentido, en computación se entiende ontología como un sistema de categorías, que es independiente del lenguaje y estado de las cosas. Pero este significado no es la única interpretación que se tiene en computación, como se mencionó existen varias aplicaciones de ontología en otras áreas de la informática, por lo que se pueden encontrar una amplia gama de artefactos diferentes que se han denominado ontologías en la literatura, como se puede observar en la Figura 2.3 de [Smith y Welty, 2001]. Estas especificaciones van desde catálogos simples que contienen, por ejemplo, los productos que vende una empresa, hasta un léxico de términos con definiciones de lenguaje natural (tesauro), hasta teorías lógicas formales.

En [Guarino y Giaretta, 1995], los autores discuten siete interpretaciones diferentes de la palabra ontología utilizada en IA y, después de un análisis cuidadoso, restringen su posible uso a tres interpretaciones sonoras:

(1) Ontología como representación de un sistema conceptual que se caracteriza por propiedades lógicas específicas (tipo especial de teoría lógica que contiene sólo fórmulas necesariamente verdaderas);

[1] Inteligencia Artificial (IA) es el nombre establecido para el campo definido como Inteligencia Computacional (IC). La IC es el estudio del diseño de agentes inteligentes. Un agente es algo que actúa en un entorno, es decir, realiza alguna acción [Poole *et al.*, 1998].

[2] "Es la aplicación de la lógica y la ontología a la tarea de construir modelos computables para algún dominio" [Sowa, 2000]

(2) Ontología como especificación de un compromiso ontológico;

(3) Ontología como sinónimo de conceptualización.

Muchas de las especificaciones contabilizadas en la clasificación de la Figura 2.3 son de hecho ontologías en el sentido (a). Sin embargo, otra parte de ellos cumple únicamente con el sentido del término, que según el análisis de [Guarino y Giaretta, 1995] no es suficiente para calificar como ontología, es decir, la ontología como representación de un sistema conceptual que se caracteriza por propósitos específicos.

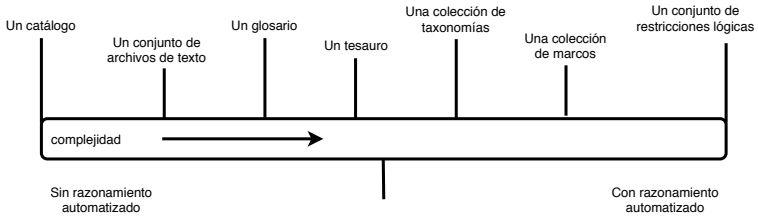

Figura 2.3: Diferentes tipos de especificaciones clasificadas como ontologías en la literatura de ciencias de la computación [Smith y Welty, 2001].

En su uso más frecuente en IA según [Guarino, 1998], "una ontología se refiere a un artefacto de ingeniería, constituido por un vocabulario específico utilizado para describir una determinada realidad, más un conjunto de suposiciones explícitas con respecto al significado pretendido de las palabras de vocabulario". Este conjunto de supuestos tiene generalmente la forma de una teoría lógica de primer orden, donde las palabras de vocabulario aparecen como nombres de predicados binarios o unarios, denominados conceptos y relaciones respectivamente. En el caso más simple, una ontología describe una jerarquía de conceptos relacionados por relaciones de subsunción; en casos más sofisticados, se agregan axiomas adecuados para expresar otras relaciones entre conceptos y para restringir su interpretación prevista.

En este trabajo, se considera la definición de [Guarino, 1998], ya que es una de las definiciones con mayor aceptación en la literatura y que además se ajusta mejor al contexto y objetivos establecidos, con el fin de resolver el problema tratado en este proyecto de fin de grado, por tanto, se profundiza dicha definición a continuación.

Una ontología es un "artefacto de ingeniería", es decir, que es un proceso de desarrollo específico, con el que se pretende describir una realidad a través de un "vocabulario" para representar las palabras que se utilizan en la ontología, dicho vocabulario es un conjunto de símbolos no lógicos, a los cuales se le debe atribuir el significado pretendido, definiendo de forma "explícita" tales significados utilizando métodos formales, más comúnmente el lenguaje formal "teoría lógica de primer orden" o "lógica de predica-

dos".

Una representación formal del papel de una ontología, considerada como un conjunto de axiomas lógicos diseñados para dar cuenta del significado pretendido de un vocabulario es lo que se expone a continuación con la siguiente definición. Dado un lenguaje L con compromiso ontológico K, una ontología para L es un conjunto de axiomas diseñados de tal manera que el conjunto de sus modelos se aproxima lo mejor posible al conjunto de modelos intencionales de L según K, (ver Figura 2.4) [Guarino, 1998].

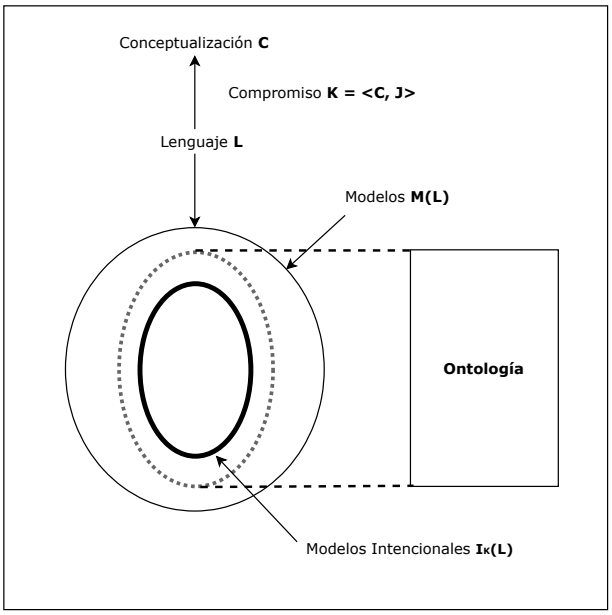

Figura 2.4: Los modelos intencionales de un lenguaje lógico reflejan su compromiso con una conceptualización. Una ontología refleja indirectamente este compromiso (y la conceptualización subyacente) al aproximar este conjunto de modelos intencionales [Guarino, 1998].

Siguiendo la Figura 2.4, una conceptualización es definida como una estructura C $= < D, W, R >$, donde R es un conjunto de relaciones conceptuales en el espacio del dominio $< D, W >$, donde D es un dominio y W son mundos posibles, es decir, el conjunto de atributos o características para medir dicho dominio. Los mundos posibles indican los valores que son posibles para los conceptos y las combinaciones entre ellos. Dada esta definición formal, se puede decir que, "una conceptualización es un conjunto de relaciones conceptuales definidas es un espacio de dominio".

El lenguaje se refiere a cuál es el conjunto de atributos (palabras) que se puede usar para definir un concepto, por ejemplo, un concepto puede ser color y todo atributo es potencialmente también un concepto, por ejemplo, color se puede definir como siendo:

rojo, verde y nada más, no hay otros colores en W que no sean rojos y verdes.

El compromiso ontológico está dado por lo que está definido en los estándares, (por ejemplo estándares médicos), conformado por grupo de especialistas (por ejemplo en medicina, biología, enfermería, etc.). Estos estándares dan una guia muy accesible y explícita de cuáles serían los compromisos ontológicos, para este caso, de la comunidad médica. Ese compromiso debe ser interpretado y traducido formalmente como regla dentro del área computacional. Por ejemplo, un compromiso ontológico es definir lo que es en medicina, el concepto de nacido vivo a partir de circulación sanguínea, la regla podría ser, si la sangre circula entonces el paciente está vivo.

El modelo está dado a partir del lenguaje que se define más arriba. Y el modelo intencional es lo que el modelador se compromete, mediante el compromiso ontológico definido en un lenguaje. "Los modelos intencionales de un lenguaje lógico reflejan su compromiso con una conceptualización. Una ontología refleja indirectamente este compromiso (y la conceptualización subyacente) al aproximar este conjunto de modelos intencionales" [Guarino, 1998].

Un punto importante para que una ontología pueda especificar exactamente su conceptualización objetivo es elegir el dominio y el vocabulario correcto. Además, para la elección de lenguaje se debe tener en cuenta la necesidad de equilibrio entre expresividad y eficiencia. Cuanta más expresividad tenga el lenguaje más significado se puede expresar, pero disminuye la capacidad de razonamiento, es decir la capacidad de resolver problemas, extraer conclusiones e inferir sobre los hechos [Guarino *et al.*, 2009].

En la Figura 2.5, [Uschold y Gruninger, 2004] representan los diferentes enfoques de un lenguaje considerado L, mediante un espectro continuo desde lo más informal hasta lo más formal, que va de izquierda a derecha, pero cuyo criterio de inicio de formalidad es difícil de determinar a lo largo del espectro.

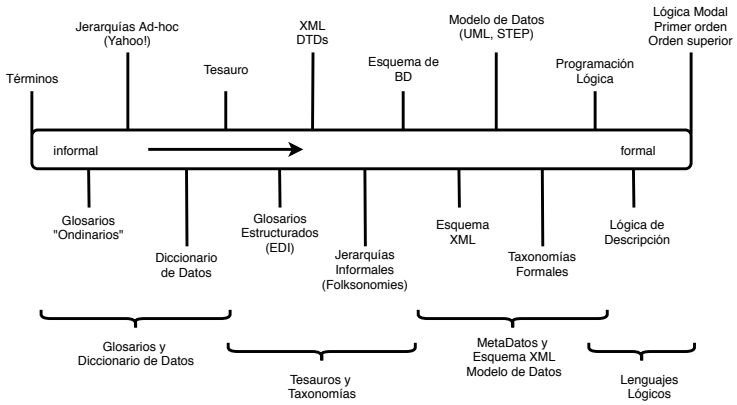

Figura 2.5: Diferentes enfoques del lenguaje L de acuerdo con [Uschold y Gruninger, 2004]. Típicamente, los lenguajes lógicos son elegibles para la especificación formal, explícita y, por lo tanto, las ontologías [Guarino *et al.*, 2009].

En el extremo izquierdo, yendo hacia adelante, se encuentran los enfoques más informales que prácticamente no aplican el significado pretendido de los términos para L, lo cual es necesario si lo que se busca es un nivel semántico del lenguaje. Cabe resaltar que este enfoque, en la mayoría de los casos, permite tener razonadores eficientes y decidibles, es decir, capaz de decidir la validez o no del lenguaje. En el extremo opuesto, se ven los enfoques mucho más formales que suplen la necesidad de especificación de significado para el vocabulario de L, mediante lenguajes lógicos formales, dando lugar a una expresividad más rica del lenguaje y permitiendo el razonamiento sobre el lenguaje, teniendo en cuenta el equilibrio con la expresividad. Generalmente dicho equilibrio no se consigue con lógica de primer orden, lógica de orden superior o lógica modal, ya que los mismos son muy expresivos lo que hace que no se pueda tener razonamiento sólido, completo y por ende hace que un razonador no termine [Guarino *et al.*, 2009].

Por otro lado, [Uschold y Gruninger, 2004] mencionan que la lógica de primer orden se puede dividir en dos grandes paradigmas: los lenguajes de la familia de Lógicas de Descripción [1] (DL por sus siglas en inglés), y la Programación Lógica [2] (LP por sus siglas en inglés).

Este trabajo se enfoca en el primer paradigma, ya que es aquí donde se identifica la existencia del lenguaje ontológico denominado Lenguaje de Ontología Web (OWL por sus siglas en inglés) basado en DL, mayormente utilizado y de mayor aceptación para la construcción de ontologías. La World Wide Web Consortium (W3C) recomienda el uso

[1] Son lenguajes formales usados para construir ontologías y permiten declarar conocimiento de un dominio específico e incluir reglas de razonamiento para poder procesarlo [Kalibatiene y Vasilecas, 2011].

[2] Se basa en gran medida en la lógica formal para expresar hechos y reglas sobre algún dominio de problema [Uschold y Gruninger, 2004].

de este lenguaje [W3C, 2004]. Por esta razón, OWL es seleccionado como el lenguaje de definición de ontologías para el propósito de este trabajo y es ampliado en la Sección 2.3.3.

A continuación se dará una breve explicación de lo que es la DL, debido a que resulta relevante para entender OWL.

LÓGICA DE DESCRIPCIÓN

La DL consiste de lenguajes de representación del conocimiento para modelado ontológico, que permite construir ontología con semántica formal que pueda ser intercambiada con la capacidad de conservar el significado, es decir, que sea interpretada por todas las partes con el mismo significado. La DL entonces, se utiliza para representar de manera formal el conocimiento de un dominio, como su nombre lo indica, a un nivel lógico, esto es, define el significado específico de una realidad, que puede ser procesado y entendido tanto por humanos como por máquinas. Además permite inferir, esto es, sacar conclusiones a partir de los hechos, alguna eventualidad implícita que no se representa de manera explícita [Krötzsch *et al.*, 2013].

Para representar el conocimiento, las DL describen el dominio en términos de tres tipos de entidades [Hitzler *et al.*, 2009]:

- Los conceptos, cuya función es la de representar al conjunto de individuos del dominio.
- Los roles, con la función de representar las relaciones entre conceptos, es decir, entre los individuos del dominio.
- Los nombres individuales, que representan los nombres de individuos del dominio.

Esta representación se lleva a cabo mediante un conjunto de proposiciones denominadas axiomas, que son los encargados de capturar el conocimiento de la situación que una ontología está describiendo, donde cada axioma debe reflejar un hecho verdadero para lo que se está representando [Krötzsch *et al.*, 2013].

Para tener una idea más clara de estas definiciones, se presenta a continuación un ejemplo representando parte de una ontología que describe tipos de participantes de un acto médico y las relaciones entre ellos. Para tal caso se tienen los siguientes cuadros y sus respectivas premisas DL: el Cuadro 2.1, donde se definen los conceptos y subconceptos, el Cuadro 2.2, donde se definen las relaciones entre conceptos y finalmente el

Cuadro 2.3, que representa los individuos del dominio. Además, la Figura 2.6 intenta reflejar esta ontología mediante un gráfico en forma de árbol, con los actores involucrados y sus relaciones, donde las flechas con líneas continuas son relaciones de subsunción, es decir, las flechas van de un subconcepto (especialización) hasta el concepto más general, y donde las flecha discontinuas son relaciones entre conceptos.

Concepto	**SubConjunto de**	**Representa**
Persona		El conjunto de todas las personas.
Paciente	Persona	El conjunto de todos los pacientes.
Medico	Persona	El conjunto de todos los médicos.

Cuadro 2.1: Conceptos y subconceptos del dominio

$$Paciente \subseteq Persona$$

$$Medico \subseteq Persona$$

$Medico \cap Paciente$ representa el conjunto de las personas que son tanto médicos como pacientes.

Rol	**Representa**
es_atendido_por	La relación entre un Paciente y un Médico.
atiende_a	La inversa del rol es_atendido_por.

Cuadro 2.2: Relaciones entre conceptos del dominio

$$es_atendido_por(\ Paciente,\ Medico)$$

$$atiende_a(\ Medico,\ Paciente)$$

$$inversaDe(\ atiende_a,\ es_atendido_por)$$

$$inversaDe(\ es_atendido_por,\ atiende_a)$$

Nombre Individual	**Representa**
Cynthia	Un individuo médico.
Gustavo	Un individuo paciente.

Cuadro 2.3: Individuos del dominio

Medico(Cynthia)

Paciente(Gustavo)

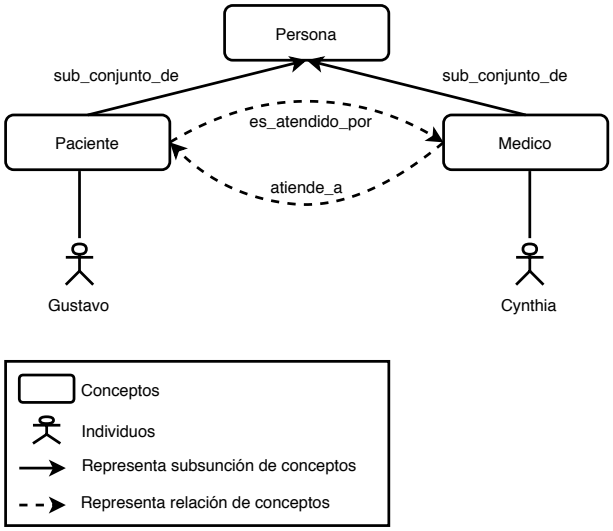

Figura 2.6: Representación gráfica de una parte de la ontología que describe tipos de participantes de un acto médico y las relaciones entre ellos.

En las secciones siguientes se describen los métodos de desarrollo y evaluación de ontologías más utilizados hasta la actualidad, así también el lenguaje ontológico OWL de mayor aceptación por la comunidad informática, de tal forma a tenerlos en cuenta para el proceso y la elaboración de este proyecto de grado.

2.3.1. MÉTODOS DE DESARROLLO DE ONTOLOGÍAS

Si bien hasta ahora no hay una estandarización sobre qué metodología utilizar para el proceso de construcción de ontologías [Fernández *et al.*, 1996], existen una diversidad de metodologías para desarrollarlas, de entre las cuales se exponen a continuación las de mayor aceptación y uso de la comunidad, tales como: Methontology [Fernández *et al.*, 1996], Ontology Development 101 [Noy y McGuinness, 2001] y NeOn [del Carmen Suárez de Figueroa Baonza, 2010].

METHONTOLOGY

Methontology es una metodología utilizada para la construcción de ontologías, basándose en el prototipo evolutivo de ingeniería de software para el desarrollo del ciclo

de vida de la ontología, lo cual permite hacer crecer la misma según las necesidades, en caso de que se tenga que agregar una nueva definición o modificar una ya existente e incluso eliminarla. El ciclo de vida de la ontología avanza a través de los siguientes estados: especificación, conceptualización, formalización, integración, implementación y mantenimiento [Fernández *et al.*, 1996]. La Figura 2.7 refleja las actividades llevadas a cabo para construir una ontología, donde cada una debe pasar por los diferentes estados mencionados más arriba, de forma a tener éxito.

A continuación se describe brevemente un conjunto de pautas descritos en [Fernández *et al.*, 1996], sobre cómo debe llevarse a cabo las actividades identificadas en el proceso de desarrollo de la ontología, qué tipos de técnicas son las más apropiadas en cada actividad y qué productos produce cada una.

1. **Especificación:** en este punto se definen los requerimientos y propósito de la ontología, el nivel de formalidad en lenguaje natural donde se especifique el dominio, el alcance, los usuarios finales, el nivel de granularidad y las fuentes de conocimiento. Esta actividad debe derivar a una documentación de especificación de la ontología en lenguaje natural.

2. **Adquisición de Conocimientos:** esta actividad es independiente del proceso de desarrollo de la ontología, pero es coincidente con las demás ya que se realizan en forma simultánea, más específicamente con la tarea de especificación de manera a proveerle las fuentes de conocimientos recopilados a partir de libros, manuales, entrevistas con expertos del dominio, foros, etc. El resultado de esta actividad es un documento de adquisición de conocimiento.

3. **Conceptualización:** en esta actividad se toma el conocimiento de dominio adquirido y especificado en las fases anteriores y lo estructura en un modelo conceptual que describa el problema y su solución en términos del vocabulario de dominio identificado.

4. **Integración:** en está fase se considera la posibilidad del reuso de ontologías ya existentes que se ajusten a los conceptos del dominio en cuestión, para no tener que rehacer lo ya está hecho. Además se deben seleccionar las tecnologías a utilizar. El resultado es un documento de integración, resumiendo: la meta-ontología que se utilizará y, para cada término cuya definición va a usarse: el nombre del término en el modelo conceptual, el nombre de la ontología de la cual tomará su definición, el nombre de la definición y sus argumentos.

5. **Implementación:** en esta etapa se toma lo definido en las fases anteriores, principalmente en la fase de integración y se representa de manera formal la ontología en el lenguaje que se considere más apropiado, cómo podría ser OWL o RDF. Esta actividad también debe generar una documentación de la misma.

6. **Evaluación:** es aquí donde se constata la verificación y validación de la ontología llevada a cabo, basándose en los requisitos y requerimientos definidos en la fase de especialización, evaluar el intercambio de conocimientos y juzgar la correctitud de lo que se quiere representar. También debe generarse una documentación en esta fase.

7. **Documentación:** por cada actividad se recomienda realizar una documentación durante su proceso de desarrollo, de tal forma a tener una descripción detallada de lo que se hizo en cada una de ellas, de modo que se pueda entender con menor dificultad y pueda ser útil para la utilización o reutilización de la ontología construida. Así también para que sirva como guía para la creación de otras ontologías.

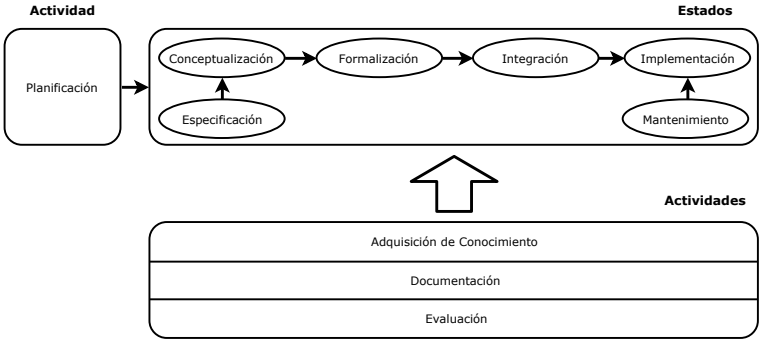

Figura 2.7: Estados y actividades en la creación de ontologías [Yahia *et al.*, 2012].

ONTOLOGY DEVELOPMENT 101

Ontology Development 101 es otra metodología para la creación de una ontología, [Noy y McGuinness, 2001] mencionan que no hay una forma o metodología "correcta" para desarrollar ontologías, pero ponen a conocimiento los temas generales a considerar y ofrecen un posible proceso para desarrollar una ontología basándose en la metodología Ontology Development 101. Esta metodología describe un enfoque iterativo para el desarrollo de la ontología, que se muestra en la Figura 2.8 y este proceso de diseño iterativo probablemente continuará durante todo el ciclo de vida de la ontología que debe pasar por una serie de pasos enumerados a continuación:

Paso 1. Determine el dominio y el alcance de la ontología

El primer paso para comenzar con el desarrollo de una ontología es definir el dominio que se quiere cubrir y el alcance, definir temas como quien va a usar la ontología, para qué se va a usar la ontología y qué preguntas debe responder la ontología. Cabe mencionar que durante el proceso de diseño de la ontología estos puntos pueden cambiar, ayudando a limitar el alcance del modelo.

Paso 2. Considere reutilizar las ontologías existentes

Existen muchas bibliotecas de ontologías ya creadas por otras personas que pueden ser útiles según el dominio definido en el paso 1, por lo que vale la pena considerar su reutilización si se pueden adaptar al dominio o tarea particular, por lo que en este paso se debe hacer un análisis y verificación de las ontologías a considerar.

Paso 3. Enumerar términos importantes en la ontología

En este paso se definen los términos junto con sus propiedades más relevantes del dominio que va a abarcar la ontología que se está desarrollando.

Paso 4. Definir las clases y la jerarquía de clases

En este paso se establece el enfoque para definir las clases y sus jerarquías, se puede tener un proceso de desarrollo de arriba hacia abajo donde se comienza con la definición de los conceptos más generales en el dominio y la posterior especialización de los conceptos. Es decir, primero se define la clase y luego sus subclases y un proceso de desarrollo de abajo hacia arriba que comienza con la definición de las clases más específicas, las hojas de la jerarquía, con la agrupación posterior de estas clases en conceptos más generales.

Paso 5. Definir las propiedades de las clases - ranuras

En esta etapa se debe describir la estructura interna de los conceptos, sus elementos, propiedades y relaciones entre conceptos definidos en los pasos anteriores, además, por cada propiedad se debe determinar a qué clase describe y a qué clases está conectado.

Paso 6. Definir las características de las ranuras

En este paso se debe definir las diferentes características que pueden tener las ranuras, por ejemplo: el tipo de valor, los valores permitidos, la cardinalidad entre otras características que sea útil y necesaria para definir las ranuras.

Paso 7. Crear instancias

El último paso a realizar es la creación de instancias individuales de clases en la jerarquía, desarrolladas en los pasos anteriores. Definir una instancia individual de una clase requiere: elegir una clase, crear una instancia individual de esa clase y completar los valores de la ranura.

Figura 2.8: Procesos de desarrollo de Ontology Development 101 [Noy, 2005].

NEON

Esta metodología sugiere una variedad de vías para el desarrollo de ontologías. Propone nueve escenarios que se reflejan en la figura 2.8, que cubren situaciones comunes como por ejemplo, cuándo las ontologías disponibles deben rediseñarse, alinearse, modularizarse, localizarse para soportar diferentes lenguajes y culturas, e integrarse con patrones de diseño de ontología y recursos no ontológicos. Además, Neon proporciona un glosario de procesos y actividades involucradas en el desarrollo de ontologías, dos modelos de ciclo de vida en tiempo real, y un conjunto de pautas metodológicas para diferentes procesos y actividades, que se describen funcionalmente, en términos de objetivos, insumos, productos y restricciones relevantes; procesalmente, por medio de especificaciones de flujo de trabajo; y empíricamente, a través de un conjunto de ejemplos ilustrativos [del Carmen Suárez de Figueroa Baonza, 2010].

A continuación se citan los nueve escenarios que propone esta metodología:

Escenario 1: de la especificación a la implementación

Este escenario se basa en desarrollar desde cero una ontología, es decir, sin reutilizar los recursos de conocimiento disponibles. En esta etapa se especifican los requisitos y requerimientos de la ontología a desarrollar.

Escenario 2: reutilización y rediseño de recursos no ontológicos

Este escenario cubre el caso donde se deben analizar los recursos no ontológicos y decidir, de acuerdo con los requisitos y requerimientos que la ontología que se quiere desarrollar debe cumplir, qué recursos no ontológicos pueden reutilizarse para construir dicha ontología. También cubre la tarea de rediseñar los recursos no ontológicos seleccionados.

Escenario 3: reutilización de recursos ontológicos

Como el título lo indica, aquí, se reutilizan los recursos ontológicos que cumplan con los requisitos de la ontología a construir.

Escenario 4: reutilizar y rediseñar recursos ontológicos

Como el título lo indica, en este escenario los desarrolladores de ontología reutilizan y rediseñan recursos ontológicos.

Escenario 5: reutilización y fusión de recursos ontológicos

Este escenario es un caso particular, ya que se desarrolla sólo en casos en que se reutilizan varios recursos ontológicos en el mismo dominio y cuando los desarrolladores de ontología desean crear un nuevo recurso ontológico a partir de dos o más recursos ontológicos existentes.

Escenario 6: reutilizar, fusionar y rediseñar recursos ontológicos

Este escenario es similar al escenario 5, a diferencia de que aquí los desarrolladores de ontologías deciden diseñar el conjunto de recursos ontológicos combinados.

Escenario 7: reutilización de Patrones de Diseño de Ontología (ODP por sus siglas en inglés)

Considerando este escenario, los desarrolladores de ontologías acceden a los repositorios de ODP para reutilizarlos.

Escenario 8: reestructuración de recursos ontológicos

En este escenario los desarrolladores de ontologías reestructuran los recursos ontológicos para integrarse a la ontología que se está construyendo.

Escenario 9: localización de recursos ontológicos

Por último, se producen ontologías multilingüe, es decir, los desarrolladores de ontologías adaptan la ontología a otros idiomas y comunidades culturales.

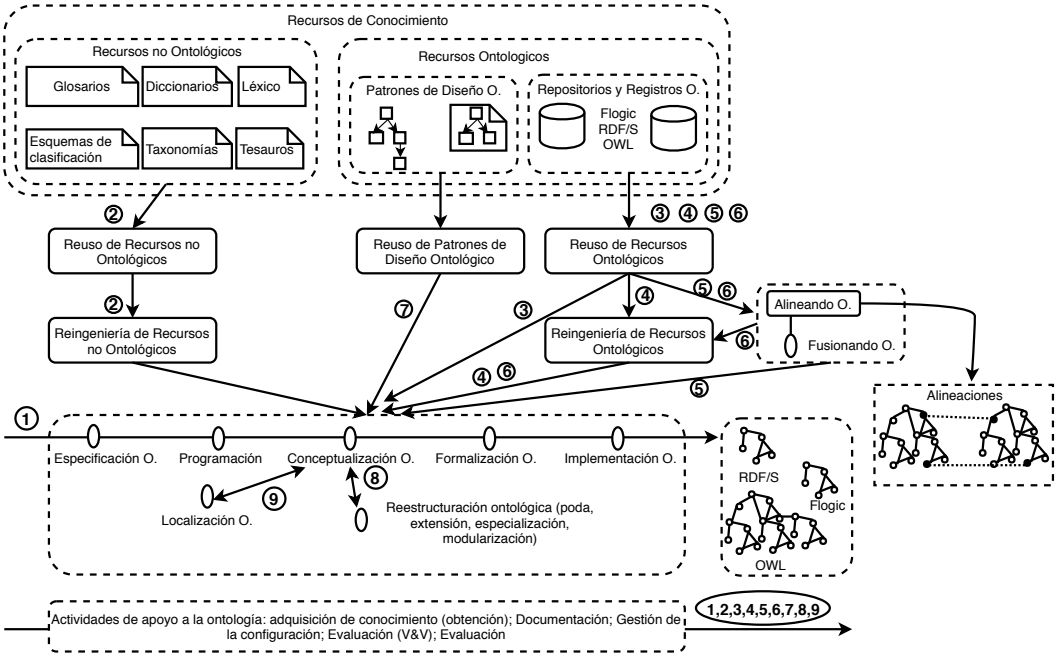

Figura 2.9: Escenarios para la construcción de ontologías y redes ontológicas. [del Carmen Suárez de Figueroa Baonza, 2010].

2.3.2. EVALUACIÓN DE ONTOLOGÍAS

Al igual que las metodologías de desarrollo de ontolgías, existen también métodos para la evaluación de las mismas, en esta sección se describen los métodos de evaluación y análisis llamados: OntoClean [Guarino y Welty, 2002] y OntoQA [Tartir y Arpinar, 2007].

ONTOCLEAN

La metodología OntoClean según [Guarino y Welty, 2002], se basa en nociones formales, que son lo suficientemente generales como para ser utilizadas en cualquier esfuerzo de ontología, independientemente de un dominio particular. Ellos mencionan que usan estas nociones para definir un conjunto de metapropiedades que, a su vez, se utilizan para caracterizar aspectos relevantes del significado pretendido de las propiedades, clases y relaciones que conforman una ontología. Además, las metapropiedades imponen varias restricciones a la estructura taxonómica de una ontología, lo que ayuda a evaluar las elecciones realizadas.

Seguidamente se describen brevemente las nociones en las que se basa esta meto-

dología.

1. **Esencia y Rigidez:** una forma especial de esencia es la rigidez, una propiedad es rígida si es esencial para todas sus instancias. La rigidez es una noción sutil, toda entidad que puede exhibir la propiedad debe exhibirla.

2. **Identidad y Unidad:** la identidad se refiere al problema de poder reconocer que las entidades individuales en el mundo son las mismas (o diferentes), y la unidad se refiere a la capacidad de reconocer todas las partes que forman una entidad individual.

ONTOQA

OntoQA es una herramienta que evalúa ontologías relacionadas con un cierto conjunto de términos y luego los clasifica según un conjunto de métricas que capturan diferentes aspectos de las ontologías. Dado que no existen criterios globales que definen cómo debería ser una buena ontología, OntoQA permite a los usuarios ajustar la clasificación hacia ciertas características de las ontologías para adaptarse a la necesidad de sus aplicaciones. Esta herramienta divide la evaluación de una ontología en dos dimensiones: esquema e instancias, donde la primera dimensión evalúa el diseño ontológico y su potencial para una rica representación del conocimiento y la segunda dimensión evalúa la ubicación de los datos de instancia dentro de la ontología de acuerdo con el conocimiento modelado en el esquema [Tartir y Arpinar, 2007].

A continuación se describen las métricas para evaluar cada una de las dimensiones anteriores. Cabe destacar que la información expuesta es teniendo en cuenta lo publicado por [Tartir y Arpinar, 2007], donde se tiene:

1. **Métricas de esquema**

   - **Diversidad de relación:** la diversidad de relaciones, en su forma abreviada *(RD)*, es una métrica de esquema que se define como la relación entre el número de relaciones no heredadas *(P)*, dividido por el número total de relaciones definidas en el esquema (la suma del número de relaciones de herencia *(H)* y relaciones no heredadas *(P)*).

   - **Profundidad del esquema:** la profundidad del esquema, en su forma abreviada *(SD)*, es una métrica de esquema que se define como el número promedio de subclases por clase.

2. **Métricas de instancia**

- **Utilización de clase:** esta métrica de instancia, en su forma abreviada *(CU)*, de una ontología se define como la relación entre el número de clases pobladas, representada por *(C')*, dividido por el número total de clases definidas en el esquema de ontología, representada por *(C)*. El resultado será un porcentaje que indica cómo la base de conocimiento utiliza las clases definidas en el esquema.

- **Cohesión:** la cohesión, en su forma abreviada *(Coh)* de una ontología se define como la cantidad de componentes conectados, representado por *(CC)* del gráfico que representa la base de conocimiento. El resultado será un número entero que representa la cantidad de componentes conectados en la ontología.

- **Distribución de instancia de clase:** la distribución de instancia de clase de una ontología es una métrica de instancia que se define como la desviación estándar en el número de instancias por clase.

- **Conectividad de clase:** la conectividad de una clase representada por *(Conn(C_i))*, es una métrica de instancia que se define como el número total de instancias de relaciones de la clase con instancias de otras clases.

- **Importancia de clase:** la importancia de una clase representada por *(Imp(C_i))*, es una métrica de instancia que se define como el número de instancias que pertenecen al subárbol de herencia enraizado en C_i en la base de conocimiento *(inst(C_i))* en comparación con el número total de instancias de clase en la Base de Conocimiento *(CI)*.

- **Utilización de la relación:** la utilización de relación, en su forma abreviada *(RU)* de una clase representada por C_i, es una métrica de instancia que se define como el número de relaciones que están siendo utilizadas por las instancias I_i que pertenecen a C_i (P(I_i, I_j)) en comparación con el número de relaciones que se definen para C_i en el nivel de esquema (P(C_i, C_j)).

- **Importancia de relación:** la importancia de una relación, representada por *(Imp(R_i))*, es una métrica de instancia que se define como el número de instancias de relación R_i en Base de Conocimiento *(inst(R_i))* en comparación con el número total de instancias de propiedad en base de conocimiento *(RI)*. El resultado será un porcentaje que represente la importancia de la clase actual.

2.3.3. LENGUAJE DE ONTOLOGÍA WEB (OWL)

Las ontologías cuyo modelado se quiere representar formalmente, es decir representar el significado del mundo de manera tal que pueda ser interpretada tanto por humanos como por máquinas, deben ser escritas en algún lenguaje ontológico capaz de soportar dicho modelo [Lassila y McGuinness, 2001]. A lo largo de los años se han

definido diversos lenguajes con esta finalidad como RDF y RDFS [W3C, 2014], pero con ciertas limitaciones y restricciones que hacen que no se pueda llegar a representar el conocimiento ontológico con la expresividad que se requiere. Todo esto ha llevado a la necesidad de diseñar un lenguaje que pueda cumplir con los requerimientos y características de la ontología, que pueda ser lo suficientemente expresivo y razonablemente eficiente. Es aquí donde surge el OWL [W3C, 2013].

OWL es el lenguaje ontológico recomendado por la W3C y que pretende ser el lenguaje estandarizado de la Web Semántica [1]. En su página oficial, la W3C describe al mismo como un lenguaje de la Web Semántica diseñado para representar un conocimiento rico y complejo sobre cosas, grupos de cosas y relaciones entre cosas del mundo real [W3C, 2004].

Este lenguaje ontológico se basa en los lenguajes RDF y RDFS, extendiendo el mismo tipo de sintaxis y el significado de clases y propiedades (conceptos y relaciones entre conceptos respectivamente), y agregando primitivas propias para dar soporte a la expresividad [Staab y Studer, 2009].

OWL se clasifica en tres lenguajes de mayor poder expresivo: OWL-Lite, OWL-DL y OWL-Full. OWL-Lite y OWL-DL son básicamente DL muy expresivas [Staab y Studer, 2009]. Además, como lenguaje de consulta, utiliza SPARQL [W3C, 2008] que también es una recomendación de la W3C. Gracias a esto, OWL facilita un mejor mecanismo de interpretabilidad de contenido web, proporcionando vocabulario adicional junto con una semántica formal basado en DL, que permite explotar el conocimiento expresado en programas, sistemas y aplicaciones de computadoras. De esta manera, OWL intenta ser el lenguaje formal utilizado para la construcción y desarrollo de ontologías computacionales. Las ontologías médicas en su mayoría son definidas en OWL, como por ejemplo SNOMED CT [Marco-Ruiz *et al.*, 2017].

Siguiendo con el ejemplo definido en la Sección 2.3, de la ontología que describe tipos de participantes de un acto médico y las relaciones entre ellos, la Figura 2.10 refleja su implementación en OWL, la Figura 2.11 representa una consulta en SPARQL y el Listado 2.1 muestra el fragmento de código de la ontología construida.

[1] La Web Semántica proporciona un marco común que permite compartir y reutilizar datos a través de los límites de la aplicación, la empresa y la comunidad [W3C, 2013].

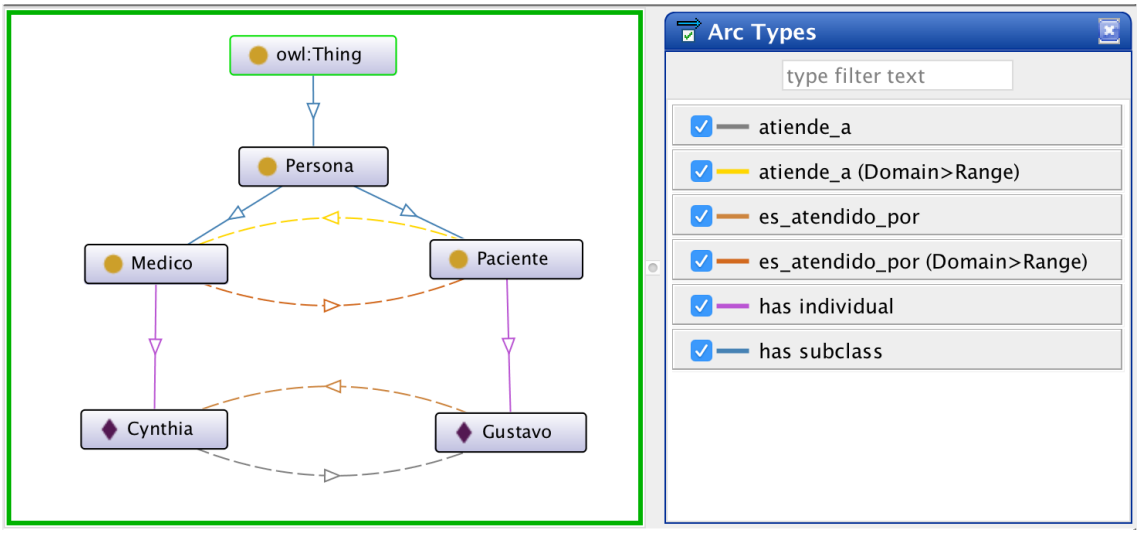

Figura 2.10: Representación gráfica de una parte de la ontología que describe tipos de participantes de un acto médico y las relaciones entre ellos en OWL.

```
PREFIX : <http://www.semanticweb.org/sonia/ontologies/2018/10/ontologia-propuesta#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
SELECT * WHERE
{
  ?sujeto ?predicado ?objeto
}
```

Execution time: 0.006 ... Show: All Shor... Attach Prefixes Execute Save Changes

sujeto	predicado	objeto
:Gustavo	:es_atendido_por	:Cynthia
:Cynthia	:atiende_a	:Gustavo
:Cynthia	rdf:type	:Medico
:Gustavo	rdf:type	:Paciente

Figura 2.11: Una consulta sencilla de la ontología construida en OWL, mediante el lenguaje de consulta SPARQL.

```
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF xmlns="http://www.semanticweb.org/ontologies/2018/10/ontologia#"
     xml:base="http://www.semanticweb.org/ontologies/2018/10/ontologia"
     xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
     xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
     xmlns:xml="http://www.w3.org/XML/1998/namespace"
     xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
```

```
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#">
<owl:Ontology rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies
/2018/10/ontologia">
    <rdfs:comment>Desarrollo de parte de la ontologia que describe
tipos de participantes de un acto medico y sus relaciones entre ellos.
</rdfs:comment>
</owl:Ontology>

<!-- Object Properties -->

<owl:ObjectProperty rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies
/2018/10/ontologia#atiende_a">
    <owl:inverseOf rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies
/2018/10/ontologia#es_atendido_por"/>
    <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies
/2018/10/ontologia#Paciente"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies
/2018/10/ontologia#Medico"/>
    <rdfs:comment>La inversa del rol es_atendido_por.</rdfs:comment>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies
/2018/10/ontologia#es_atendido_por">
    <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies
/2018/10/ontologia#Medico"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies
/2018/10/ontologia#Paciente"/>
    <rdfs:comment>La relaci n entre un Paciente y un M dico.</
rdfs:comment>
</owl:ObjectProperty>

<!-- Classes -->

<owl:Class rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2018/10/
ontologia#Medico">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.semanticweb.org/
ontologies/2018/10/ontologia#Persona"/>
    <rdfs:comment>El conjunto de todos los Medicos.</rdfs:comment>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2018/10/
ontologia#Paciente">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.semanticweb.org/
ontologies/2018/10/ontologia#Persona"/>
    <rdfs:comment>El conjunto de todos los pacientes.</rdfs:comment>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2018/10/
ontologia#Persona">
    <rdfs:comment>El conjunto de todas las personas.</rdfs:comment>
</owl:Class>
<!-- Individuals -->
<owl:NamedIndividual rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies
/2018/10/ontologia#Cynthia">
    <rdf:type rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies
/2018/10/ontologia#Medico"/>
```

```
        <atiende_a rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies
    /2018/10/ontologia#Gustavo"/>
        <rdfs:comment>Un individuo m dico.</rdfs:comment>
    </owl:NamedIndividual>
    <owl:NamedIndividual rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies
    /2018/10/ontologia#Gustavo">
        <rdf:type rdf:resource="http://www.semanticweb.org/ontologies
    /2018/10/ontologia#Paciente"/>
        <es_atendido_por rdf:resource="http://www.semanticweb.org/
    ontologies/2018/10/ontologia#Cynthia"/>
        <rdfs:comment>Un individuo paciente.</rdfs:comment>
    </owl:NamedIndividual>
</rdf:RDF>
```

Listado 2.1: Fragmento de código en OWL de una parte de la ontología que describe tipos de participantes de un acto médico y las relaciones entre ellos.

2.4. ESTÁNDARES MÉDICOS

El paradigma de EHR proporciona toda la funcionalidad que el enfoque del banco de datos para los sistemas EHR pretende proporcionar, es decir, el requisito de compartir e intercambiar datos entre dos o más sistemas EHR, de modo a que dichos datos estén disponibles y accesibles a través de diferentes tecnologías de implementación, además de permitir diferentes dominios médicos con coherencia conceptual, integridad e interoperabilidad de datos [Arikan, 2016]. Para el logro de estos requisitos, el método dominante es la estandarización del EHR, que pueda ayudar a cumplir con los mismos, permitiendo la definición de los datos de salud independientemente del dominio y permitiendo que puedan ser intercambiados e interpretados correctamente, a un nivel de significado de los datos [Obando y Sánchez, 2013].

Según [Arikan, 2016], es necesario el uso de terminologías clínicas y estándares EHR para expresar la semántica utilizada para registrar la información clínica y la estructura de esa información dentro de una implementación de EHR. Por tanto, dichas herramientas son entonces la clave para que los sistemas EHR se puedan comunicar y compartir información relacionada a un paciente.

Para crear sistemas EHR no existe un estándar único, se necesitan distintos estándares para resolver diferentes aspectos del sistema [Indarte y Gutierrez, 2011]. En este sentido, existen estándares que permiten la interoperabilidad del EHR así como el almacenamiento de sus datos de forma normalizada, entre estos se encuentran: Nivel de Salud Siete (HL7 por sus siglas en inglés), que permite la comunicación y envío de información mediante mensajería [HL7, 2018b]; Arquitectura de Documentos Clínicos (CDA por sus siglas en inglés) de HL7, para realización de documentos clínicos [HL7,

2018a]; Recursos Rápidos de Interoperabilidad en la Atención Médica (FHIR por sus siglas en inglés), un estándar de HL7 basado en recursos que representan conceptos clínicos [HL7, 2017a] y OpenEHR, que permite la persistencia de la información del EHR [Gómez y Perlaza, 2016].

Entre los estándares de salud más populares también se encuentran: la Imagen Digital y Comunicación en Medicina (DICOM por sus siglas en inglés), que permite transmitir imágenes de diagnósticos con datos asociados [Association, 2018]; Nombres y Códigos de Identificadores de Observación Lógica (LOINC por sus siglas en inglés), que proporciona nombre e identificadores universales para diferenciar los resultados de laboratorio y pruebas clínicas, con el fin de facilitar el intercambio de resultados [Institute, 2018]; la Nomenclatura Sistematizada de la Medicina - Términos clínicos (SNOMED CT por sus siglas en inglés), se trata de un vocabulario controlado, una terminología clínica que puede ser mapeada a otros estándares internacionales de salud de manera que se pueda tener comunicación entre sistemas EHR lo que reduce la ambigüedad [SNOMED-CT, 2018]; la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10), se utiliza para unificar la codificación y clasificación de enfermedades [Organization, 2018] y la Integración de la Empresa Sanitaria (IHE por sus siglas en inglés), que si bien no es un estándar propiamente, promueve el uso coordinado de los estándares, dirigido por las necesidades particulares de las instituciones de manera que se pueda brindar mejores servicios de salud a los pacientes [International, 2018].

A continuación se describen brevemente los vocabularios y estándares médicos mencionados anteriormente.

2.4.1. VOCABULARIOS MÉDICOS

Los vocabularios son listas de términos utilizados en un dominio particular, que en algunos casos pueden incluir una definición adjunta [Lassila y McGuinness, 2001]. En este contexto específico se refiere a vocabularios en el dominio médico, que es un campo amplio y diverso, por lo que al momento de gestionar la información médica de un paciente se ha puesto en evidencia la complejidad del manejo del vocabulario y la necesidad de estrategias de control del mismo [Otero, 2010]. Algunos de los trabajos desarrollados para hacer frente a esta necesidad se describen brevemente a continuación.

SNOMED CT

Es la terminología médica más completa y multilingüe del mundo, un recurso con contenido clínico integral validado científicamente, que permite una representación consistente y procesable del contenido de un EHR [SNOMED-CT, 2018]. Proporciona un marco para expresar conceptos y relaciones para definir la semántica y además, es utili-

zado por varios estándares médicos como HL7, ISO/EN 13606 y openEHR para aclarar la semántica y mejorar la interoperabilidad semántica [Arikan, 2016].

El modelo de concepto SNOMED CT, según [Marco-Ruiz *et al.*, 2017], es una ontología que proporciona una representación formal de las reglas para organizar los conceptos de terminología que se basan en las DL. Además, especifica cómo se organizan las jerarquías de términos más generales a más específicos y cómo se pueden especificar las relaciones entre los conceptos de una manera válida. La figura 2.12, muestra esta jerarquía de nivel superior del concepto general de SNOMED-CT, donde este es el principal que contiene los subconceptos que nuevamente vuelven a tener otros subconceptos, así sucesivamente a medida que se desciende por la jerarquía, de un concepto más general a un concepto más específico, aunque esto no se refleje en la figura.

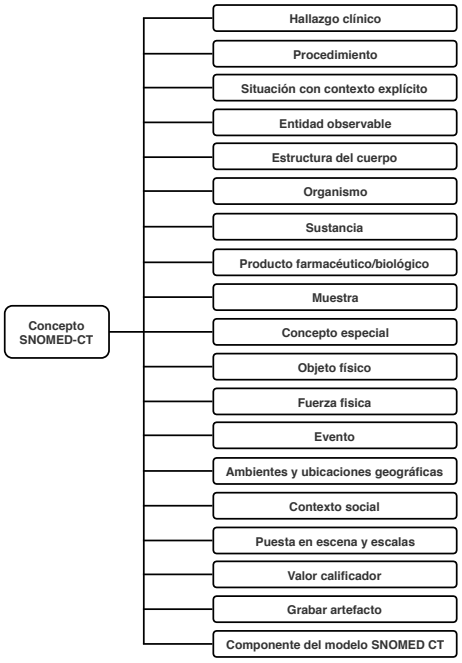

Figura 2.12: Jerarquías superiores de SNOMED-CT [Marco-Ruiz *et al.*, 2017].

Este estándar, a través de un mecanismo de codificación de información médica, busca la representación de los datos e informaciones clínicas del paciente, lo más preciso, confiable, consistente e integral posible [Indarte y Gutierrez, 2011], de manera a lograr una mejor calidad del contenido médico del mismo, y permitiendo que dicho contenido pueda ser intercambiada a nivel semántico entre diversos sistemas que requieran del mismo, es decir, que el significado de la información que se está intercambiando se mantenga inalterado y se tenga una correcta interpretación para posterior uso de este [Anani, 2016]. De esta forma el SNOMED CT beneficia tanto a médicos como a

pacientes, permitiendo la interoperabilidad y la disponibilidad del contenido clínico en cualquier momento y en cualquier lugar.

CIE-10

Es la base para la identificación de tendencias y estadísticas de salud a nivel mundial, y el estándar internacional para informar enfermedades y condiciones de salud, es decir, es el estándar de clasificación de diagnóstico para todos los fines clínicos y de investigación. Define el universo de enfermedades, trastornos, lesiones y otras afecciones de salud relacionadas, enumeradas de una manera integral y jerárquica que permite un fácil almacenamiento, recuperación y análisis de información de salud para la toma de decisiones basada en evidencias, compartir y comparar información de salud entre diferentes centros asistenciales [Organization, 2018].

Se puede descatar que, este estándar permite que diferentes centros asistenciales que se comunican entre sí puedan intercambiar información sobre enfermedades o condiciones de salud de un paciente y que dicha información tenga el significado y la correcta interpretación, sin sufrir pérdida de datos. Esto gracias al mecanismo utilizado para el registro, almacenamiento y posterior recuperación de los datos, independientemente del centro asistencial donde se lleva a cabo el procedimiento o la atención del paciente.

LOINC

"Es un lenguaje común (conjunto de identificadores, nombres y códigos) para identificar medidas de salud, observaciones y documentos. Si considera una observación como una "pregunta" y el valor del resultado de la observación como una "respuesta"", los códigos LOINC representan la "pregunta" y donde sea necesario, los códigos de otros estándares (por ejemplo, SNOMED CT) representan la "respuesta" [Institute, 2018].

Este estándar suple la necesidad de tener información de determinados datos clínicos para identificar los resultados de laboratorios médicos. Al igual que otros estándares de salud, LOINC busca el intercambio de información entre sistemas EHR, pero específicamente de los resultados de laboratorios clínicos que es a lo que está enfocado, como por ejemplo: pruebas de laboratorio realizados a un paciente [Araujo *et al.*, 2014].

2.4.2. HL7

"HL7 es una organización de desarrollo de normas acreditada por ANSI sin fines de lucro, dedicada a proporcionar un marco integral y estándares relacionados para el intercambio, la integración y la recuperación de información de salud en formato electrónico, que apoya la práctica clínica, la gestión, la entrega y evaluación de los

servicios de salud" [HL7, 2018b].

La organización HL7 proporcionó una gran optimización de la atención clínica y del trabajo en los sistemas EHR, posibilitando la transferencia de informaciones y el conocimiento entre profesionales de salud y los pacientes, además de agencias y organismos gubernamentales. Esto se debe a que provee un conjunto de estándares utilizados para intercambiar información entre diferentes sistemas EHR, dando soporte a los datos de salud procesables por máquina, permitiendo que la información esté disponible en todos los sistemas que participan del intercambio de datos [Araujo *et al.*, 2014]. Actualmente HL7 cuenta con los estándares: HL7 v2, HL7 v3 CDA y el más reciente FHIR.

Para lograr el intercambio de información entre sistemas EHR, HL7 provee dos componentes principales denominados: "mensaje" y el "Modelo de Referencia de Información (RIM por sus siglas en inglés)". El mensaje es una respuesta a los eventos dentro de un sistema EHR, representa información tanto médica como administrativa, en formato de archivo. Por otro lado, el RIM corresponde al modelo de contenido de toda la información médica compartida a través del mensaje, como actores, roles, entidades, etc. [HL7, 2018b]. De esta manera, estos componentes en conjunto permiten la integración e intercambio de información entre sistemas EHR que lo implementen.

Muchos países de la región, a través de normativas reguladas por ley para la construcción de sistemas EHR nacional, han hecho uso de los estándares que provee HL7, entre los que se encuentran: Uruguay [de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y del Conocimiento AGESIC, 2018], Brasil [Araujo *et al.*, 2014] y Argentina [SIMPLIFIER.NET, 2018], por citar algunos.

En las secciones siguientes 2.4.3 y 2.4.4, se detallan de manera breve los estándares CDA y FHIR respectivamente, según su enfoque y utilidad.

2.4.3. CDA

"Es un estándar de marcado de documentos que especifica la estructura y la semántica de los documentos clínicos con el fin de intercambiar información entre los proveedores de atención médica y los pacientes". Cada documento clínico presenta seis características en su definición, como: persistencia, administración, potencial autenticación, contexto, integridad y legibilidad humana; con la finalidad de proporcionar el intercambio de información entre centros asistenciales y asegurar que dicha información sea consistente en ambas partes involucradas. Además, permite reutilizar la información para fines prácticos como seguridad del paciente, control de calidad de la asistencia médica, etc. [HL7, 2018a].

CDA se construye en formato XML y proporciona tanto un encabezado estandarizado que contiene metadatos sobre el documento como la capacidad de transmitir una amplia variedad de contenido clínico organizado en varias secciones. El contenido del documento puede ser no codificado, como un PDF, a través de una instancia totalmente codificada HL7 v3 [versión 3 (STU), 2017]. Además, un CDA puede contener cualquier tipo de contenido clínico: como el resumen de alta, un informe de imágenes, un informe de admisión, etc. La guía de implementación de este estándar está disponible en la página oficial de HL7 [HL7, 2018a].

Exiten varios países que han optado por utilizar CDA como solución para el intercambio de información de salud, como el caso de Brasil, donde el Ministerio de Salud reguló el uso del CDA como estándar en la implementación del sistema EHR del país [Araujo *et al.*, 2014] y según lo descrito en la página oficial de HL7, otros países donde el intercambio de información de salud está bien establecido, como Finlandia, Grecia, Alemania, etc., también utilizan CDA como solución para dicho fin.

2.4.4. FHIR

Las especificaciones FHIR se utilizan para intercambiar información clínica y relacionada con la salud entre diferentes sistemas [Abbas *et al.*, 2017], definen un conjunto de capacidades en todo el proceso de atención médica a partir de un conjunto de componentes modulares llamados "recursos". Dichos recursos tienen un identificador único y se modelan utilizando XML para representar conceptos administrativos como paciente, proveedor y organización, así como conceptos clínicos como medicación, informe diagnóstico, etc. [HL7, 2017a].

FHIR incluye varias de las características de las diferentes versiones de los estándares que HL7 ofrece. Además, admite 4 paradigmas diferentes para el intercambio de información: la API , mensajería , documentos y servicios de RESTful [HL7, 2017c]. Así también, ofrece muchas mejoras sobre los estándares HL7 existentes según lo descrito en [HL7, 2017b], tales como:

- Ofrece un fuerte enfoque en la implementación: rápida y fácil de implementar.
- Ofrece múltiples bibliotecas de implementación, con muchos ejemplos disponibles para iniciar el desarrollo.
- Disponibiliza la especificación de forma gratuita para su uso sin restricciones.

- Proporciona interoperabilidad lista para usar: los recursos básicos se pueden usar tal como están, pero también se pueden adaptar a los requisitos locales, de acuerdo con la necesidad del sistema construido.

- Permite ruta de desarrollo evolutivo de HL7 v2 y CDA: los estándares pueden coexistir y aprovecharse mutuamente.

- Provee una base sólida en estándares web: XML, JSON, HTTP, OAuth, etc.

- Tiene soporte para arquitecturas REST, intercambio de información sin problemas mediante mensajes o documentos y arquitecturas basadas en servicios.

- Las especificaciones que pone a disposición son concisas y fáciles de entender.

- Posee un formato de serialización legible para los usuarios para facilitar su uso por parte de los desarrolladores.

- Incorpora un sólido análisis basado en ontología con un mapeo formal riguroso para la corrección.

- Provee soporte y uso de terminologías médicas, como por ejemplo SNOMED CT.

En su página oficial, FHIR proporciona una guía de implementación para los que quieran iniciar con una solución basada en FHIR. Detalles sobre cómo se intercambiará la información, cómo se utilizan las terminologías, cómo se asegurará la información, cuándo se intercambia la información y qué información se va a intercambiar, entre otras cosas [HL7, 2017a]. Actualmente en Argentina, la Dirección Nacional de Sistemas de Información de Salud, está trabajando en la Guia de Implementación FHIR para un proyecto de Salud Digital, que busca alinear la agenda digital de salud con las estrategias nacionales sanitarias [SIMPLIFIER.NET, 2018].

Cabe mencionar además que hay un trabajo en curso para representar los recursos FHIR utilizando la tecnología de la Web Semántica, de manera a dar sosporte a la Interoperabilidad Semántica. El proyecto es una ontología no oficial, que busca describir los recursos FHIR utilizando el formato OWL [Mallia y Prud'hommeaux, 2018]. Existe un trabajo que implementa dicha ontología no oficial, cuyo propósito es hacer

un razonamiento acerca de las Interacciones entre drogas, basándose en la información del paciente junto con la información disponible sobre los medicamentos que utilizan FHIR [Abbas *et al.*, 2017].

También existe un proyecto en construcción denominado clinFHIR , que es una herramienta que pretende generar modelos lógicos de los recursos FHIR. Esta iniciativa es idealmente para recopilación de requisitos cuando se interactúa con los médicos, para describir qué información y procesos son necesarios para satisfacer alguna necesidad relacionada con la interoperabilidad y que además dichos requisitos puedan incorporarse al proceso de diseño de perfiles y guías de implementación que provee FHIR [Hay, 2016], [Zelanda, 2016].

En consecuencia a lo descrito más arriba, se destaca que el estándar FHIR está siendo cada vez más aplicado como solución para el intercambio de información entre sistemas EHR, enfocado a una interoperabilidad a nivel sintáctico, siendo su componente principal los recursos y siguiendo con los desarrollos para alcanzar el nivel semántico de interoperabilidad.

2.4.5. OPENEHR

La fundación openEHR es la institución responsable de la gestión de las especificaciones y también de las herramientas que permiten el uso de la norma. "openEHR es una comunidad virtual que trabaja para convertir los datos de salud de la forma física en formato electrónico y garantizar la interoperabilidad universal entre todas las formas de datos electrónicos. El enfoque principal de su esfuerzo está en EHR y sistemas relacionados" [OpenEHR, 2018a].

La fundación openEHR y su comunidad relacionada, proporcionan un amplio y rico conjunto de especificaciones y herramientas libres que permiten la posibilidad de desarrollar los EHR en módulos, con capacidad de operar entre sí, según la necesidad. Es decir, que dos o más sitemas EHR puedan comunicarse e intercambiar información, sin tener pérdida de significado del contenido intercambiado. Estas especificaciones constituyen la referencia principal para todas las semánticas de openEHR [Bacelar y Correia, 2015]. En la figura 2.13 se muestra la especificación de componentes de openEHR donde se implementa la plataforma de computación de salud de openEHR.

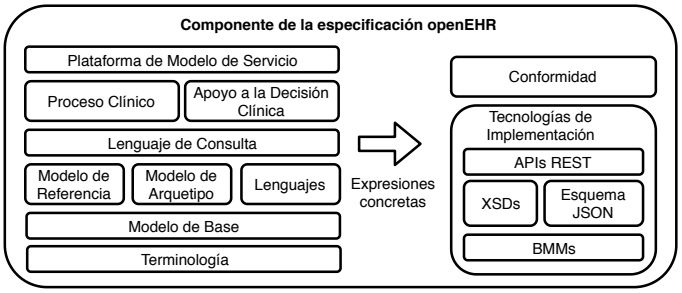

Figura 2.13: Especificación de componentes de openEHR [Bacelar y Correia, 2015].

Los componentes de la izquierda representan la plataforma openEHR. El modelo de servicio, el modelo de referencia y el modelo de arquetipo, representan las especificaciones abstractas, además constituyen la semántica de openEHR y son definidas mediante notación UML. Por otra parte, las terminologías contienen los artefactos formales de openEHR [openEHR Foundation, 2019].

openEHR busca la privacidad de los datos del paciente y que dicho paciente pueda interactuar con el médico. Además, busca que la prestación de cuidados de salud pueda llegar a todos los ámbitos, como atención primaria, urgencias, entre otros [Bacelar y Correia, 2015].

Así también, para lograr la interoperabilidad entre sistemas, uno de los conceptos clave dentro del enfoque y especificación de openEHR es el modelado de dos niveles, que separa el modelado de información en arquetipos y en modelo de referencia [OpenEHR, 2018a]. El nivel inferior corresponde al modelo de referencia, un modelo de información estable, que define las estructuras lógicas de un EHR y los datos demográficos, a partir de los cuales se pueden construir software. Cada concepto definido en el modelo de referencia es invariable y puede incluir varios tipos de datos, como cantidad y texto codificado. Para la práctica, la fundación openEHR proporciona la especificación del modelo de referencia, que es una definición lógica y formal de la información [Bacelar y Correia, 2015].

El nivel superior corresponde a los arquetipos, que representan modelos de contenido clínico, es decir, conceptos clínicos coherentes como la presión arterial, el test de apgar, la evaluación de riesgos o la prescripción de medicamentos. Cada arquetipo debe ser conjunto de datos máximos, es decir, debe contener todos los elementos de datos relevantes que cualquier sistema pueda necesitar en la práctica médica, en relación con el concepto clínico que está representando. Definir los arquetipos como conjunto de datos máximos ayuda a que toda organización de algún centro asistencial que quiera implementarlo dentro de su sistema, lo utilice para representar un concepto clínico determinado, extrayendo sólo aquellos datos que el sistema necesite, agrupándolos a

través de plantillas que especifican grupos de arquetipos para un propósito particular. De esta forma, los diferentes sistemas de los diversos centros asistenciales, pueden hacer uso del mismo arquetipo y adaptarlo según sus requerimientos [Anani, 2016].

Cabe mencionar que los arquetipos definen los modelos clínicos a partir de la especificación de restricciones en la estructura y los valores determinados en el modelo de referencia. Por lo tanto, la creación y modificación del contenido clínico y la posterior consulta de los datos, se pueden controlar mediante los arquetipos. Este enfoque también permite el uso de terminologías como SNOMED CT, LOINC y CIE-10 en el proceso de modelado clínico [Beale y Heard, 2007].

Una consecuencia importante del enfoque de dos niveles en el que se basa openEHR, es la independencia tecnológica. La existencia de un mismo formato de datos, lleva a la facilidad del intercambio de información entre dos o más sistemas que lo implementen, debido a la interoperabilidad a nivel del conocimiento, es decir, a nivel semántico [Bacelar y Correia, 2015]. Actualmente, la fundación openEHR provee un Gestor de Conocimiento Clínico (CKM por sus siglas en ingles), que contiene más de 500 arquetipos definidos y disponibles para ser utilizados [OpenEHR, 2018b].

Existen diversos trabajos en la literatura que utilizan openEHR como solución para diferentes propósitos, como por ejemplo, la implementación del prontuario electrónico en sistemas gestores de contenido [Pessanha y Bax, 2015], la exploración de guías clínicas basadas en OpenEHR en atención e investigación de accidentes cerebrovasculares agudos [Anani, 2016], etc. Además, países como Brasil han optado por hacer uso de openEHR, por medio de una ordenanza que establece la aplicación del modelo de arquetipos como parte de la solución para el logro de la interoperabilidad entre sistemas EHR [da Saúde, 2018a].

A continuación se presenta el Cuadro 2.4 comparativo de los dos estándares FHIR y openEHR, que en este trabajo se considerean como los más utilizados actualmente como solución para los sitemas EHR y que presentan en algunos casos, características similares y en otros específicos de cada estándar.

Características	FHIR	openEHR
Definición	Es una especificación de plataforma que define un conjunto de capacidades de uso en todo el proceso de atención médica, en todas las jurisdicciones y en muchos contextos diferentes.	Es un conjunto de especificaciones y herramientas libres, que permite el desarrollo de registros clínicos en módulos de acuerdo con la necesidad (modulares) y, aún así, capaces de realizar operaciones entre sí (interoperables)
Componente	Recursos	Arquetipos y Plantillas
Uso	Para intercambiar datos	Para modelar y almacenar datos
Interoperabilidad	Sintáctica y en proceso de desarrollo la semántica	Sintáctica y semántica
Terminologías	Uso y soporte de terminologías y artefactos relacionados	Soporte y uso de terminologías
Formato	XML y JSON	Esquema XML (XSD), XML y JSON
API REST	Especifica cómo realizar consultas y enviar datos a través de una API REST.	Todavía no define cómo ofrecer servicios para consultar y registrar datos en el repositorio de datos a través de una interfaz de API REST.

Cuadro 2.4: Comparativa de los estándares FHIR y openEHR [HL7, 2017a], [OpenEHR, 2018a].

2.4.6. ONTOLOGÍAS MÉDICAS

Como se mencionó en la Sección 2.3, la aplicación de ontologías en diversas áreas está siendo cada vez mayor, una de ellas es la medicina, donde se utilizan en la mayoría de los casos para descubrir, transmitir, reutilizar y compartir conocimientos médicos, debido a que estos conocimientos pueden ser de carácter incierto, como también ambiguo, redundante y altamente soportado sólo por el lenguaje natural [Navarro y Carrión, 2010].

A razón de esto es que existen diversas investigaciones destinadas a construir sistemas EHR útiles tanto para la atención médica como también para el personal de salud en sus labores. En su mayoría, orientadas a crear, reusar y consultar el conocimiento generado. Para dichos sistemas, una de las herramientas ampliamente usadas es la ontología y de ahí que existe un número indefinido de esta, orientadas al campo médico, de entre las cuales y por citar algunos, se destacan las siguientes: Ontología de Genes [Consortium, 2010],[Consortium, 2018], Modelo Fundacional de Anatomía [of Anatomy,

2018], Ontología para Investigaciones Biomédicas [Bandrowski *et al.*, 2018], [Bandrowski *et al.*, 2016], donde cada una está definida para propósitos específicos.

ONTOLOGÍA DE GENES

La Ontología de Genes (GO por sus siglas en inglés), descrita en [Consortium, 2010], fue desarrollada y continúa siendo desarrollada por el Consorcio de Ontología Genética (GOC por sus siglas en inglés) [Consortium, 2018], cuyo objetivo es estandarizar la representación de un conjunto de vocabularios estructurados y controlados que describen los genes, los atributos de los productos génicos y secuencias en cualquier organismo.

Esta ontología sigue expandiéndose tanto en contenido como en estructura, agregando términos y modificando la misma, basada en las solicitudes de la comunidad de expertos y trabajando conjuntamente con ellos, centrándose en áreas específicas relacionadas con la biología.

El GOC busca mejorar tanto el marco lógico como la amplitud de la ontología, de manera que se puedan ejecutar consultas refinadas y permitir que se formulen preguntas generadoras de hipótesis. Así también, busca tener un control de calidad riguroso, asegurando que la ontología sea completa y precisa.

MODELO FUNDACIONAL DE ANATOMÍA

El Modelo Fundacional de Anatomía (FMA por sus siglas en inglés), explicada en [of Anatomy, 2018], es una ontología que representa el dominio de la anatomía y el cuerpo humano, sin embargo se puede aplicar y extender a las demás especies.

El FMA es una de las fuentes de conocimiento más grandes y útiles para la informática biomédica, proporcionando información anatómica a cualquier grupo de usuario que lo necesite ya sea para fines médicos, clínicos, académicos, etc., como también para uso dentro de alguna aplicación de sistema que requiera de dicho conocimiento. Actualmente diversos proyectos que implementan ontologías anatómicas, han utlizado FMA como fuente de referencia de contenido anatómico.

El propósito del FMA es asegurar la consistencia y en última instancia, estandarizar la representación anatómica, de tal forma que sea comprensible tanto por humanos como por máquinas. Por lo que, los miembros del Grupo de Informática Estructural siguen trabajando en diferentes grados y capacidades en el desarrollo de la misma.

ONTOLOGIA PARA INVESTIGACIONES BIOMÉDICAS

La Ontología para Investigaciones Biomédicas (OBI por sus siglas en inglés), descrita en [Bandrowski *et al.*, 2018], proporciona términos que describen los aspectos

que se deben tener en cuenta al momento de realizar investigaciones en los dominios médico y biológico, cubriendo así las diferentes fases que se llevan a cabo durante el proceso de una investigación. Es decir, es una iniciativa para representar de una forma computacional aceptable, las investigaciones biomédicas.

OBI es un esfuerzo abierto de colaboración interdisciplinaria, que abarca múltiples comunidades de investigación de todo el mundo, cuyos miembros trabajan en las mejoras en términos de amplitud y profundidad de la cobertura. Por ejemplo, permitiendo reutilizar ontologías biomédicas existentes, como el GO, de manera a construir términos no sólo ricos en conocimiento, sino también precisos, compartidos y explícitos.

A razón de que existen colaboradores dispersos a nivel mundial y para garantizar que OBI sea un recurso homogéneo, la comunidad ha adoptado convenciones formales y una metodología específica para el desarrollo, como la elección de convenciones de metadatos, el uso OWL, el desarrollo concurrente, la integración con ontologías existentes, limitación del alcance a las investigaciones canónicas, las solicitudes de plazo y la liberación y control de calidad de cada nueva versión de OBI.

2.5. CONJUNTO DE DATOS MÍNIMOS EN EL DOMINIO DE SALUD

El CDM consiste en la definición de datos que mínimamente deben ser registrados y que son relevantes en un evento de salud, para que se puedan cubrir las necesidades de captura de información. Dichos datos deben ajustarse a los estándares a nivel regional e internacional, que permitan una explotación e integración de estos datos [de Sanidad, 2013].

Según se menciona en [Werley *et al.*, 1991], el objetivo del CDM es la normalización de las bases de datos capaces de proporcionar información de atención de salud válida, confiable y comparable de los centros asistenciales que se ajustan al sistema nacional de salud.

En el área médica, el CDM contiene información valiosa para conocer la realidad sanitaria de una población. Tendiendo en cuenta la diversidad de especialidades médicas, el CDM puede se extenso, ya que además de recoger los datos demográficos habituales del paciente, también puede contener datos que registra el diagnóstico que ha motivado el ingreso, los factores de riesgo, comorbilidades y complicaciones que presenta el paciente durante el ingreso. Además, algunas técnicas de diagnósticos relevantes y las intervenciones terapéuticas que han sido utilizadas para tratar al paciente y muchos otros datos que pueden ayudar a tener una mejor calidad de atención efectiva y eficiente

del paciente, así también como soporte para las decisiones de gestión clínica [IASIST, 2018].

Un punto clave identificado para la definición de un CDM que constituirá los datos de salud, es el trabajo en conjunto con los expertos del dominio, es decir, el personal de blanco, incluso el personal administrativo (al momento de definir los datos demográficos del paciente). Además, cabe mencionar que el CDM define el alcance de la información que se necesita intercambiar entre los divesos centros asistenciales, de modo a lograr que estos puedan interoperar entre ellos [Huerta *et al.*, 2009].

Muchos países de la región, de Europa y los EEUU, han optado por definir sus respectivos CDM para los diversos eventos de salud que pueden generarse en atenciones médicas de un paciente [Oliván, 1997], como por ejemplo desde una atención primaria hasta una internación. Por mencionar algunos paises, se tiene el caso de España, donde se llevó a cabo un proyecto orientado a definir el CDM que deben reunir los diferentes informes clínicos en el marco del Sistama Nacional de Salud (urgencias, internación, laboratorio, etc.) [de Información Sanitaria, 2008]. Por su parte, Chile dió a conocer la versión preliminar del CDM comprometido en la Agenda Digital 2020 [de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, 2013]. Asi también, en Brasil se tiene un conjunto mínimo de información en los sistemas de salud y debe ser adoptado como el método estándar para la transmisión de datos entre sistemas [da Saúde, 2018a], [da Saúde, 2018c].

En el contexto de este trabajo el CDM es acotado a APS, donde el alcance de los datos va desde los datos demográficos hasta los datos de consulta ambulatoria del paciente cuando asiste a un centro asistencial [de Atención Primaria de Salud, 2012], de modo a asegurar la interoperabilidad mediante el correcto intercambio e interpretación de la información entre los centros asistenciales del pais.

2.5.1. IMPORTANCIA DE LA DEFINICIÓN DEL CONJUNTO DE DATOS MÍNIMOS

La definición de un CDM estándar para APS a nivel país es de gran importancia para la población, ya que nutre de información crítica a los sistemas debido a que el CDM es la base para la gestión, la planificación y la evaluación de los cuidados y servicios sanitarios así como para la investigación epidemiológica y clínica, incluso para el soporte a la toma de decisiones clínicas [de Sanidad, 2013].

Otro punto importante es que el CDM constituye una parte escencial para lograr la interoperabilidad entre sistemas EHR [de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, 2013], [de Información Sanitaria, 2008], [Oliván, 1997], [da Saúde, 2018c], ya

que si los centros asistenciales tanto públicos como privados cumplen con la implementación y uso de un CDM estándar, facilitará el intercambio de información del paciente, cuando dichos centros requieran y soliciten su EHR. Esto se dará gracias a que cada vez que el paciente consulte en algún centro asistencial, los datos se registrarán según lo establecido en el CDM [Huerta *et al.*, 2009].

En cierta forma, adoptar el CDM estándar también puede ayudar a mejorar la organización y unificación de la información del paciente, lo cual puede colaborar de manera positiva en la atención médica brindada al mismo. A razón de esto y de lo mencionado más arriba, este trabajo propone un CDM base para APS ajustado a las necesidades de Paraguay, de modo a fomentar su aplicación y uso en el marco del proyecto HSP. Dicho CDM será definido siguiendo una metodología, detallada en la Sección 4.1.

3 ANTECEDENTES

En esta sección se pretende detallar brevemente el panorama general de la situación de Paraguay en cuanto a EHR, la problemática, algunos de los sistemas informatizados existentes de los centros asistenciales del país, como también, de otros países de la región como Brasil, Chile, Uruguay y Argentina.

3.1. SISTEMAS EHR EN PAÍSES DE LA REGIÓN

Existen muchos países que desde hace varios años están trabajando en tener su propio EHR compartido a nivel nacional, considerando los beneficios que se pueden tener, como por ejemplo una atención de salud, que se le brinde al paciente, con mayor efectividad y calidad. A continuación se explica brevemente los trabajos realizados en los países más próximos y que podrían tener características y requerimientos similares a Paraguay.

El gobierno de Brasil, a través del Ministerio de Salud ha regulado el uso de algunas de las normas para el EHR, a través de la instrucción denominada Ordenanza nº 2073, de 31 de agosto de 2011 [Araujo *et al.*, 2014]. Dicha ordenanza ha permitido la reestructuración de los Sistemas de Información en Salud del Ministerio de Salud, entendiendo que es fundamental la gestión de la información para ampliar la calidad de atención a la población. Se han desarrollado sistemas EHR compartidos, con cobertura a nivel nacional para Atención Básica y Hospitalar, denominados e-SUS Atención Básica y e-SUS Hospitalar respectivamente [da Saúde, 2018a], [da Saúde, 2018b].

También es el caso de Uruguay, que mediante una iniciativa de Presidencia de la República, el Ministerio de Salud Pública (MSP), el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) y la Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y del Conocimiento (AGESIC), se aprobó el Decreto Nº 396/003 - Historia clínica electrónica única de cada persona y dió inicio a los trabajos del programa Salud.uy, que promueve el uso intensivo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el sector de la salud. Este programa, a través del decreto, "ha definido los estándares y lineamientos de informática médica así como ha establecido el contexto técnico y regulatorio habilitante para hacer posible y segura la Historia Clínica Electrónica Nacional (HCEN). Esto permite que el equipo de salud pueda acceder a la información que necesitan de cada paciente en tiempo real, desde cualquier punto del país, garantizando una atención más precisa y de mejor calidad" [de Gobierno Electrónico y Sociedad de

la Información y del Conocimiento AGESIC, 2018].

Del mismo modo, en Argentina el Ministerio de Salud y Desarrollo Social aprobó la Resolución 680/2018 de Estrategia de Salud Digital, que a través de la Dirección Nacional de Sistemas de Información de Salud (DNSIS), cuya función principal es establecer la agenda digital de salud, alineada con las estrategias nacionales sanitarias, está trabajando en desarrollar e implementar recursos centrales que permitan la interoperabilidad de sistemas EHR, para una cobertura universal de salud [SIMPLIFIER.NET, 2018]. Además, para alcanzar la meta y teniendo en cuenta que Argentina es un país federal, se trabaja en conjunto con las dintintas jurisdicciones para la adopción de sistemas EHR interoperables ajustados a estándares establecidos según la resolución [de Salud y Desarrollo Social, 2018].

Chile por su parte, a través del Sistema de Información de Redes Asistenciales (SIDRA), diseñado para mejorar la calidad y eficiencia de los cuidados de salud pública dentro de los Servicios de Salud del país, al proveer software para automatizar la entrega local de cuidados e intercambiar información clínica, y junto con el programa Agenda Digital, está trabajando para la digitalización de los procesos de Sistemas de Gestión Hospitalaria y Sistemas de Atención Primaria. La estrategia SIDRA, aspira a lograr que las distintas soluciones de EHR y otras fuentes de información existentes en la red de salud del país puedan integrarse, y lograr un impacto mayor en el sector sanitario a nivel nacional [de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, 2013].

Los países mencionados apuntan a sistemas EHR integrado a nivel nacional, cuyo foco principal es la de poder brindar una atención eficiente y de calidad a los pacientes.

3.1.1. SISTEMAS EHR EN PARAGUAY

El sistema de salud en Paraguay fue creado por la Ley 1032/96 [1] y está constituido por los sectores público, privado y mixto. El sector público tiene el mayor porcentaje de cobertura. La mayor cantidad de centros asistenciales son dependientes del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPyBS) [2] [de la salud y de la Salud, 2019].

Actualmente, el MSPyBS cuenta con una variedad de sistemas informatizados enfocados a la salud y para fines específicos. Dichos sistemas utilizan CIE-9 y CIE-10 para procedimientos y diagnósticos respectivamente y para lograr que estos sistemas interoperen, utilizan la tecnología de servicios web, sin embargo, se piensa a futuro la implementación de HL7 para la interoperabilidad [de Tecnología de la Información y

[1] Para más detalles ver [de Salud, 1996]

[2] El Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social "es la más alta dependencia del Estado competente en materia de salud y aspectos fundamentales del bienestar social"[de la Nación Paraguaya, 1980].

Comunicación, 2019]. De manera a tener una visión general de lo que se está hablando, a continuación se describen brevemente algunos de los sistemas informatizados en salud.

SAA

SAA es un Sub-Sistema de Información de los Servicios de Salud proporcionado por el MSPyBS, que está orientado al área ambulatoria, es decir, para recopilar datos de pacientes que son atendidos en consultas externas, urgencias y/o extramural. El objetivo del SAA es "registrar y almacenar información sobre la ocurrencia de la Morbilidad Hospitalaria y sus características con fines estadísticos y de seguimiento de pacientes, así como la optimización de la gestión de cada servicio de salud que lo utilice". Este sistema es utilizado en los centros dependientes del MSPyBS [de Salud Pública y Bienestar Social, 2018].

PAI

PAI "es un sistema informático multiusuario de entorno Web que permite la administración de las informaciones inherentes a los Registros de Coberturas de Vacunación, mediante los registros individuales o también llamados nominales y el seguimiento correspondiente a cada persona, el stock de elementos empleados (Logística) y la notificación correspondiente de enfermedades detectadas por parte de Programa Ampliado de Inmunizaciones (PAI) del MSPyBS, cuyas informaciones se integran a los demás sistemas existentes en el MSPyBS y establece mecanismos informáticos para que dicha información esté permanentemente actualizada y brinde información oportuna y confiable" [de Salud Pública y Bienestar Social, 2012].

HISpy

HISpy, es un Proyecto para la mejora de la Eficiencia de la Gestión de la Informática en Salud en Paraguay, cuyo objetivo, entre otras cosas, es la de mejorar la función de sistema de salud electrónico y promocionar su uso, de manera a mejorar la productividad y prestación de servicios, a nivel país. Este sistema está enfocado a EMR y se encuentra actualmente en desarrollo, y ya cuenta con un plan piloto cuyas pruebas se han realizado en el Hospital Regional de Villarrica y sus dependencias, el Hospital Regional de Ciudad del Este, el Hopital de Barrio Obrero y el Hospital Materno Infantil de Limpio. Todavía se continúa con la implementación, sugiriendo su ampliación a los hospitales del departamento capital a mediano plazo [de Tecnología de la Información y Comunicación, 2019].

Por su parte, el Hospital Rigoberto Caballero, cuenta con un sistema de Atención Médica Ambulatoria, cuyo objetivo es la implementación de fichas e historial médico electrónico, enfocado al área de atención ambulatoria de las distintas especialidades.

Dicho sistema cuenta con CIE-10 como terminología médica y se ajusta al estándar de comunicación de HL7. Actualmente, este sistema está en etapa de implementación y capacitación a los usuarios [del Paraguay, 2019].

Así también, el Hospital de Clínicas, cuenta con un sistema informatizado para el registro de datos de los pacientes, cuyo objetivo es "simplificar y documentar en forma lógica y ordenada el trabajo médico asistencial, adiministrativo y docente". Dicho sistema utiliza CIE-9 y CIE-10 y actualmente se encuentra en desarrollo [de Ciencias Médicas, 2019].

Si bien en el país, las organizaciones de salud, cuentan con un sistema informatizado propio para registrar los datos del paciente, éstos están construidos según los requerimientos de cada institución, [de Salud Pública y Bienestar Social, 2018], [de Salud Pública y Bienestar Social, 2012], [de Tecnología de la Información y Comunicación, 2019], [del Paraguay, 2019], [del Paraguay, 2019], lo que da lugar a que los mismos estén aislados y sin poder interoperar entre ellos, es decir, no pueden comunicarse para luego intercambiar información del paciente. Esto último, se considera en este trabajo, de vital utilidad tanto para el personal de blanco como para el paciente, ya que puede mejorar la atención del médico hacia el paciente, de qué forma, teniendo informaciones de los antecedentes e historial clínicos del paciente de los diversos centros asistenciales donde haya asistido antes, pudiendo ayudar al médico en la evaluación del paciente [Indarte y Gutierrez, 2011].

A razón de esto, teniendo en cuenta la necesidad y los beneficios que se pueden obtener si se tienen sistemas EHR integrados a nivel nacional, es que se está trabajando en el marco del proyecto HSP, el cual se menciona de manera breve a continuación.

HSP es un proyecto de investigación de la Facultad Politécnica, cuyo objetivo reside en "mejorar la organización y el acceso al historial de salud de pacientes en el Paraguay, a través de un sistema de historial de salud personal confiable, único y ubicuo. Un HSP confiable que permita que la información sea registrada únicamente por profesionales autorizados, con el objetivo que la misma pueda ser reutilizada de manera confiable para lo que hubiere lugar (estudios, investigaciones, diagnósticos, entre otros). Un HSP único e independiente de instituciones y profesionales involucrados en las consultas del paciente. Un HSP ubicuo, el cual estará accesible desde cualquier lugar y estará disponible en cualquier momento" [López *et al.*, 2016b].

Dentro del marco del proyecto, se propone una arquitectura basada en la nube, que permita la interoperabilidad de los sistemas EHR. Así también, que reúna las características de integrado y confiable, siguiendo estándares internacionales conformes a las tecnologías actuales y que pueda ser aplicable al sistema HSP [López *et al.*, 2016a]. Inicialmente, se ha desarrollado un prototipo de registro de vacunación acotado al contexto de pediatría, y actualmente se ha extendido la implementación para adultos,

es decir, hoy se cuenta con el plan piloto para todas las edades de los pacientes [Villalba, 2017].

4 MATERIALES Y MÉTODOS

Para el logro de los objetivos propuestos en este trabajo, se plantea una serie de actividades y tareas a llevarse acabo durante el proceso de desarrollo. Primeramente se pretende definir un CDM descrito en la Sección 2.5, acotado a APS. Además, establecer indicadores para la validación de dicho CDM por parte de los médicos y entes médicos involucrados. Luego, tomar ese CDM y modelarlo con semántica formal utilizando técnicas de Ontología descritas en la Sección 2.3. Y finalmente aplicar el modelado semántico en el escenario especificado en la Sección 1.7.

A continuación se detallan, la metodología para la definición del CDM, las tareas que describen el proceso de determinadas etapas, como también la Figura 4.1 y la Figura 4.2, donde se pueden observar el cronograma estimado de desarrollo del proyecto y el diagrama de estado de las tareas respectivamente.

4.1. METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL CONJUNTO DE DATOS MÍNIMOS PARA APS

Definir un CDM no es trivial, se deben tener en cuenta ciertos aspectos del dominio, como la identificación, exploración, análisis, selección entre otros. Así también el trabajo en conjunto con los expertos del dominio (personal de blanco) e incluso el personal administrativo, pueden colaborar para la definición del CDM ajustado a las necesidades del país [de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, 2013], [de Información Sanitaria, 2008].

Además, en este proyecto se considera necesario establecer una metodología para proponer el CDM estándar, de manera a organizar y coordinar los trabajos con el fin de lograr el objetivo. Por lo cual, dicha metodología conlleva a realizar una serie de tareas, algunas en paralelo mientras que otras de manera secuencial, permitiendo que el CDM pueda crecer según los requerimientos, ya sea agregando un nuevo dato o modificando uno existente, hasta obtener el CDM estándar. A continuación se enumera y detalla cada tarea identificada, que debe llevarse acabo para la definición:

1. **Identificación de organizaciones:** en esta tarea se debe identificar los organismos o entidades responsables de APS, que puedan colaborar con el trabajo. Para este punto, se pueden consultar fuentes bibliográficas o con autoridades de la salud, que

ayuden a brindar la información que se requiere.

2. **Identificación y comprensión de los procesos:** el objetivo de esta tarea consiste en identificar los procesos que se llevan a cabo al brindar atención médica a un individuo. Durante esta etapa se realizarán encuentros con los diferentes actores implicados, ya que se espera obtener una visión global y completa del proceso asistencial. Además, esta tarea se divide de la siguiente manera:

   - Revisión de las especialidades médicas implicadas: este punto se puede determinar mediante consultas a fuentes bibliográficas oficiales o a las autoridades responsables del área.

   - Comprensión de la perspectiva de lo relevante para el personal de blanco: hablar primeramente con los médicos de diversas especialidades y enfermeras del área, para entender que informaciones ellos necesitan tener, y que consideran datos útiles y relevantes del paciente.

   - Comprensión de la perspectiva de lo relevante para el paciente: conversar con los pacientes para saber qué informaciones ellos identifican como requeridos y útiles para su registro de salud.

   - Conmprensión de la perspectiva de lo relevante para los demás actores involucrados: dialogar con los encargados del área administrativa, para conocer las informaciones del paciente que son necesarias y de mayor importancia para ellos.

3. **Recopilación de datos:** esta tarea puede considerarse como coincidente con las demás, ya que se realizan en paralelo. Se espera que a través de la misma, se provea informaciones recopiladas a partir de fuentes de conocimientos bibliográfcios, como libros, artículos, en línea, entrevistas con expertos del dominio y agentes de TIC, etc. Esta tarea conlleva a la obtención de una serie de datos, la cual se consigue de la siguiente manera:

   - Reuniones con los expertos del dominio y actores involucrados: recolectar información que nos puedan brindar los médicos y enfermeros, lo que necesitan registrar y que consideran relevante guardar sobre el paciente. Así también, recolectar información por parte de los pacientes, es decir, que los pacientes den a conocer los datos que identifican como útiles y deben aparecer en su registro clínico. Del mismo modo, obetener información de lo relevante para el personal administrativo.

   - Recolección de datos de diversos sistemas informatizados y los estándares médicos: obetener información acerca de la estructura de datos de los sistemas informatizados de los centros asistenciales públicos y privados del país, como

también del ente encargado de las TIC en el país. Del mismo modo, se deben contemplar los estándares médicos, realizar un análisis y selección de los mismos.

- Investigación acerca de los servicios que se consideran en APS en Paraguay: en este punto se deben identificar cuáles son aquellos servicios que se prestan en APS. Dichos servicios marcarán el límite y los requisitos mínimos para la definición del CDM.

- Recopilación de CDM de otros países: realizar un recopilado de los CDM y el estudio del funcionamiento de APS en otros países que tienen similitudes con Paraguay, como: Chile, Brasil, Argentina, España, etc., esto a razón de poder tomar la experiencia de dichos países que ya definieron o están en proceso de definición de los CDM correspondientes. O incluso, reutilizarlos si cumplen con los requerimientos de Paraguay.

4. **Propuesta de CDM:**

   - Análisis preliminar de los datos recopilados: en este punto, se realizarán tablas comparativas entre los diferentes conjuntos de datos recolectados en al etapa de Recopilación de datos, de tal forma a tener un panorama general de lo recopilado.

   - Clasificación de las informaciones: en esta etapa, se deben clasificar los datos, según lo clínicamente relevante para los actores e instituciones involucrados, como: el médico, el paciente, la gerencia, el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social(MSPyBS), etc., y dejar de lado aquellas están fuera del alcance del área específica.

   - Análisis y estudio de la información: para poder llegar a la definición de los datos, se debe primeramente, hacer un estudio de la información clasificada, si satisfacen los requisitos y cubren las necesidades expuestas. Esta tarea debe ir acompañada de un análisis, junto con un debate con los orientadores del trabajo, acerca de los datos en cuestión.

   - Definición de los datos: esta tarea se debe realizar en conjunto con las dos últimas mencionadas arriba, ya que se deben determinar los datos que se consideran deben formar parte del CDM y que deben ser juzgados por expertos del dominio, y en caso de que hayan modificaciones o datos que agregar, se debe volver a pasar por las etapas mencionadas, hasta que se cubran los requerimientos establecidos.

   - Especificación de los CDM a nivel país: teniendo definido los datos, se debe realizar la especificación formal de los CDM, determinar los tipos de datos, cardinalidades, alcance y limitaciones de cada uno de los datos incluidos dentro del mismo.

- Definición de indicadores de validación: en este punto, se debe establecer indicadores para la validación del CDM, por parte de los profesionales del área médica, personal del MSPyBS y con la ayuda de organizaciones internacionales dedicadas a la estandarización y modelado de datos en la salud.

- Evaluación de los CDM: en este punto se deben aplicar los indicadores de validación establecidos en el paso anterior.

Cabe mencionar que la metodología expuesta será un proceso iterativo y evolutivo, donde en cada iteración se buscará cubrir las necesidades, realizar cambios o ajustes si se requiere y poder enriquecer el CDM hasta tener el estándar deseado.

4.2. TAREAS

A continuación se detallan las tareas que se realizarán durante el desarrollo de este proyecto. Estas tareas están agrupadas en cinco diferentes etapas. Cabe mencionar que la secuencia en la que se detallan las tareas no representa un orden en el que deben ejecutarse. Esto último puede observarse en el diagrama de gantt de la Figura 4.1 y el diagrama de estados de la Figura 4.2, en donde se pueden visualizar las fechas estimadas de inicio y fin para cada tarea y las dependencias entre tareas respectivamente. Las tareas a realizarse son:

1. **Elaboración del libro de tesis:** el objetivo de esta etapa es dejar una documentación por escrito de las investigaciones y el trabajo que se irán realizando en las siguientes etapas. Las tareas que conforman esta etapa son:

    - Revisión bibliográfica: esta tarea consiste en la búsqueda de trabajos relacionados al tema del proyecto, lo que implica la lectura y clasificación de los diferentes materiales.

    - Redacción de las secciones del libro: durante el desarrollo del trabajo, deberán realizarse diversas elecciones, ya sea de herramientas, metodologías, estándares u otros recursos, de acuerdo a las necesidades que vayan surgiendo. El objetivo de esta etapa es dejar un registro de la investigación realizada para llegar a tales decisiones, justificar las mismas y finalmente dejar una documentación del trabajo desarrollado.

    - Corrección del libro: esta tarea consiste en el acompañamiento por parte de los tutores, para orientar la redacción correcta del libro. La misma se llevará a cabo de forma iterativa y evolutiva, ya que de acuerdo a los avances se irán

realizando entregas versionadas para su evaluación y corrección, donde cada versión puede contener las acotaciones y correcciones realizadas por los tutores sobre la versión anterior, pudiendo también incluirse nuevo contenido a ser revisado.

2. **Identificación de procesos APS:** las especificaciones de esta tarea están descritas en la Sección 4.1 de Metodología para la definición del Conjunto de Datos Mínimos para APS.

3. **Definición del CDM:** las especificaciones de esta tarea están descritas en la Sección 4.1 de Metodología para la definición del Conjunto de Datos Mínimos para APS.

4. **Modelado ontológico:**

   - Selección de metodología: el primer paso para el modelado ontológico consiste en la elección de la metodología que mejor se adecue a los objetivos del trabajo. Esta se definirá de manera a guiar todo el proceso de modelado, pero no se excluye la posibilidad de tomar otras decisiones fuera de esta, en caso que sea necesario.

   - Selección de herramientas: consiste en la elección de lenguajes de programación, frameworks u otras herramientas de desarrollo que sean necesarias para la construcción de la ontología.

   - Selección de ontologías a reutilizar: el objetivo de esta tarea consiste en la selección de otras ontologías ya construidas que puedan reutilizarse e integrarse a fin de cubrir, enriquecer y/o complementar la ontología en construcción, según los requisitos de la misma.

   - Conceptualización: consiste en definir los conceptos y relaciones entre conceptos a considerarse en la ontología.

   - Construcción: en esta tarea se llevará a cabo el desarrollo de la ontología, a partir de todas las tareas definidas anteriormente durante esta etapa.

   - Validación de consistencia: esta tarea acompañará el proceso de desarrollo.

5. **Verificación de interoperabilidad:** para probar que el desarrollo del estándar propuesto cumpla el objetivo de lograr interoperabilidad semántica entre sistemas EHR, es necesario intercambiar informaciones entre dos o más de estos sistemas. Es por ello que durante esta etapa se utilizará el sistema HSP, para intercambiar información con otro sistema y así comprobar la validez del estándar a través de este experimento.

   - Integración a la ontología: esta tarea consiste en realizar las adecuaciones que puedan ser necesarias para integrar el sistema HSP a la ontología desarrollada.

- Búsqueda, exploración y análisis de sistemas para interoperar: se debe realizar una tarea de búsqueda de algún sistema funcional, explorar los datos relevantes a ser intercambiados y hacer un análisis de la interfaz a ser interoperable con el HSP. Para esto es necesario contar con el apoyo de alguna entidad u organización que cuente con un sistema EHR.

- Integración a la ontología del sistema B: una vez que se tenga el sistema para el intercambio, es necesario nuevamente hacer las adecuaciones pertinentes para integrarlo a la ontología desarrollada.

- Intercambio de datos: para esta tarea es necesario hacer peticiones de un sistema a otro para intercambiar informaciones relevantes de uno o varios pacientes de prueba.

- Evaluación de resultados: el intercambio debe estar acompañado de esta tarea, para determinar si se obtienen las informaciones con el significado correcto y completo, y poder demostrar el cumplimiento de los objetivos del trabajo.

4.3. CRONOGRAMA PRELIMINAR

En esta sección se presentan la Figura 4.1 y la Figura 4.2, donde se pueden observar el cronograma estimado de desarrollo del proyecto y el diagrama de estado de las tareas respectivamente.

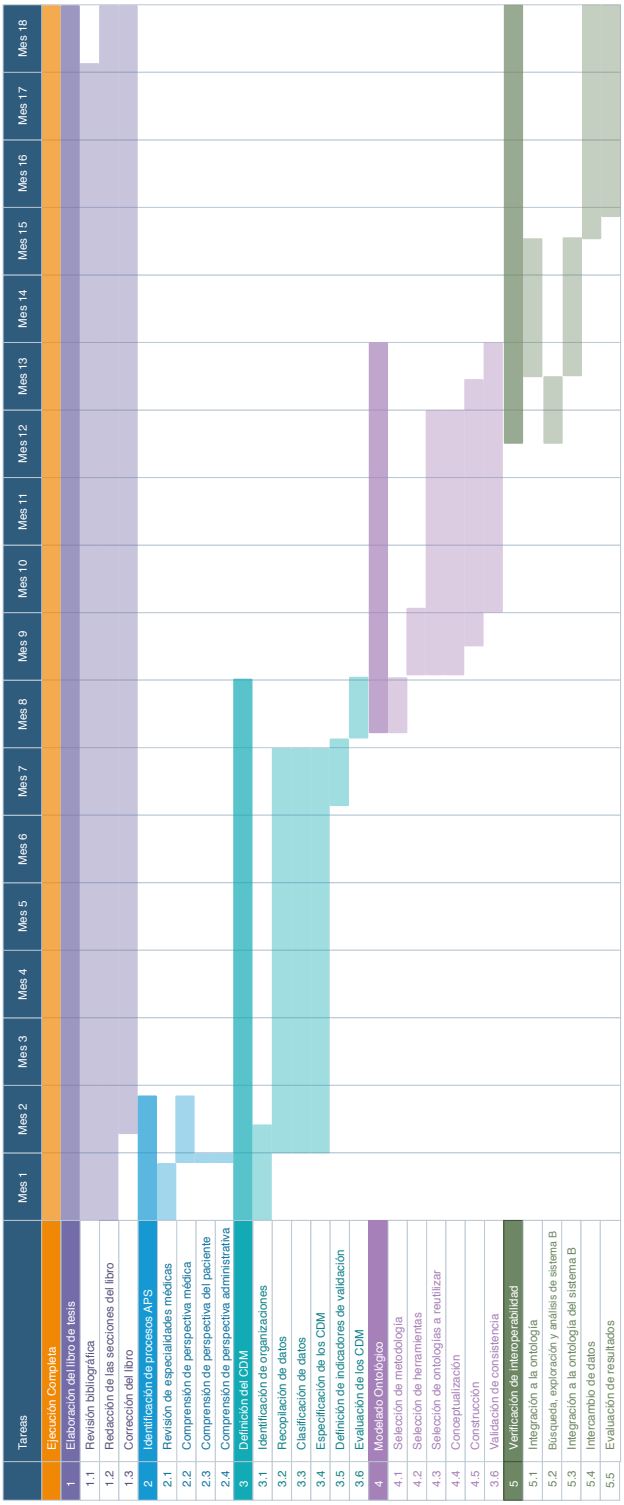

Figura 4.1: Cronograma preliminar de las tareas.

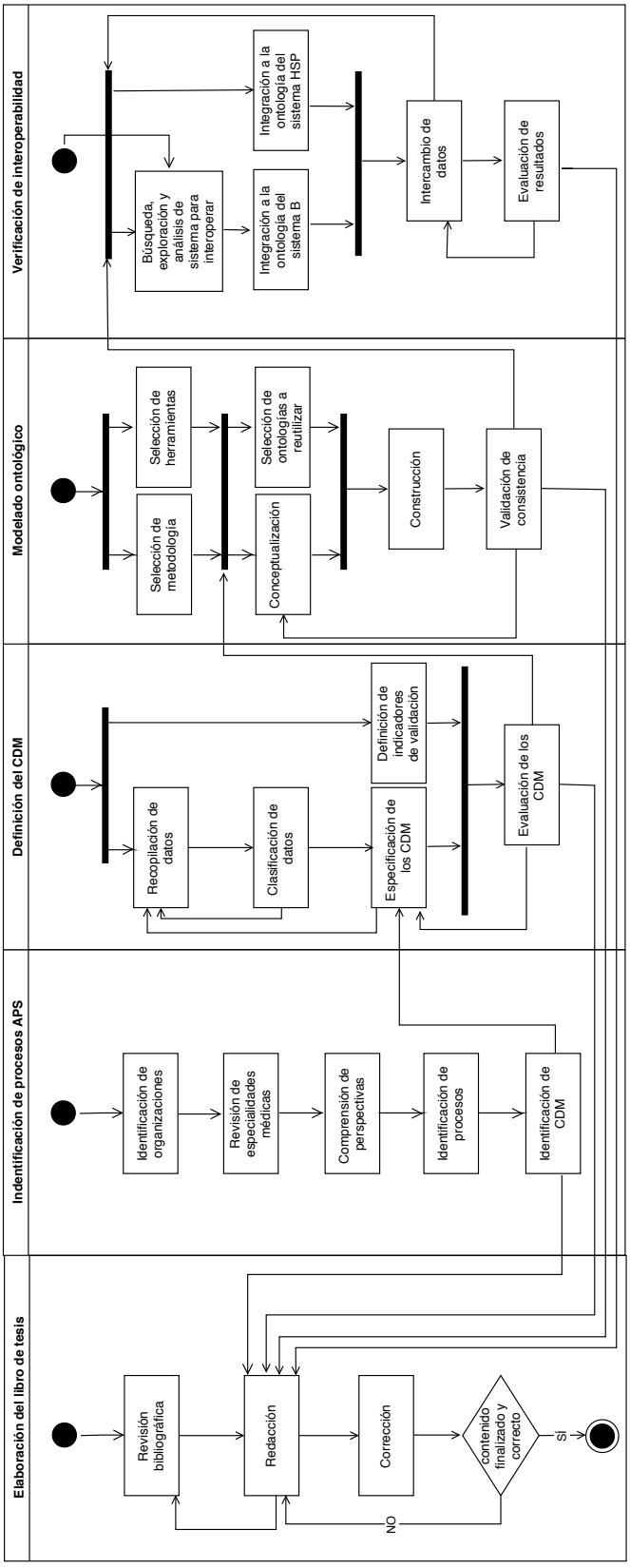

Figura 4.2: Diagrama de estado de las tareas.

4.4. RESULTADOS ESPERADOS

Se espera tener construido un esquema de datos de salud estandarizado que permita que la información compartida entre diversos sistemas EHR, de diferentes centros asistenciales, pueda ser interpretada correctamente, diseñando e implementando mediante técnicas de formalización de un Modelo de Datos Mínimo para un dominio médico acotado a APS, que sea utilizable para el proyecto HSP ajustado a las necesidades de Paraguay.

5 ESTRUCTURA DEL LIBRO

La estructura tentativa del libro del trabajo final de grado se enumera acontinuación:

1. Introducción.
2. Formulación del Problema.
3. Interoperabilidad.
4. Conceptualización.
5. Informática Médica.
6. Materiales y Métodos.
7. Conclusiones y Trabajo Futuro.
8. Bibliografía.

BIBLIOGRAFÍA

Abbas, Raees, Islam Fathi Hussein Al Khaldi and, Getinet Ayele, y Nytun, Jan Pettersen. 2017. Mapping FHIR Resources to Ontology for DDI reasoning. 40, 42

Agency, Australian Digital Health. 2018. *Autralia Government. Australian Digital Health Agency.* https://www.digitalhealth.gov.au/. 3

Alazraqui, Marcio, y Bogado, Sixta. 2018. *Diseño del SINAIS.* Tech. rept. 5

Anani, Nadim. 2016. *Exploring openEHR-Based Clinical Guidelines in Acute Stroke Care and Research.* Ph.D. thesis, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden. 37, 44

Araujo, Tiago Veloso, Pires, Silvio Ricardo, y Bandiera-Paiva, Paulo. 2014. Adopcion de las normas para la Historia clinica electronica en Brasil. 38, 39, 40, 50

Arikan, Sevket Seref. 2016. *An experimental study and evaluation of a new architecture for clinical decision support - integrating the openEHR specifications for the Electronic Health Record with Bayesian Networks.* Ph.D. thesis, University College London. 35, 37

Association, National Electrical Manufacturers. 2018. *Inicio.* https://www.dicomstandard.org/. 36

Bacelar, Gustavo, y Correia, Ricardo. 2015. As bases do OpenEHR. 42, 43, 44

Bandrowski, Anita, Brinkman, Ryan, Brochhausen, Mathias, Brush, Matthew H., Bug, Bill, Chibucos, Marcus C., Clancy, Kevin, Courtot, Mélanie, Derom, Dirk, Dumontier, Michel, Fan, Liju, Fostel, Jennifer, Fragoso, Gilberto, Gibson, Frank, Gonzalez-Beltran, Alejandra, Haendel, Melissa A., He, Yongqun, Heiskanen, Mervi, Hernandez-Boussard, Tina, Jensen, Mark, Lin, Yu, Lister, Allyson L., Lord, Phillip, Malone, James, Manduchi, Elisabetta, McGee, Monnie, Morrison, Norman, Overton, James A., Parkinson, Helen, Peters, Bjoern, Rocca-Serra, Philippe, Ruttenberg, Alan, Sansone, Susanna-Assunta, Scheuermann, Richard H., Schober, Daniel, Smith, Barry, Soldatova, Larisa N., Christian J. Stoeckert, Jr., Taylor, Chris F., Torniai, Carlo, Turner, Jessica A., Vita, Randi, Whetzel, Patricia L., y Zheng, Jie. 2016. The Ontology for Biomedical Investigations. 46

Bandrowski, Anita, Brinkman, Ryan, Brochhausen, Mathias, Brush, Matthew H., Bug, Bill, Chibucos, Marcus C., Clancy, Kevin, Courtot, Mélanie, Derom, Dirk, Dumontier, Michel, Fan, Liju, Fostel, Jennifer, Fragoso, Gilberto, Gibson, Frank, Gonzalez-Beltran, Alejandra, Haendel, Melissa A., He, Yongqun, Heiskanen, Mervi, Hernandez-Boussard, Tina, Jensen, Mark, Lin, Yu, Lister, Allyson L., Lord, Phillip, Malone, James, Manduchi, Elisabetta, McGee, Monnie, Morrison, Norman, Overton, James A., Parkinson, Helen, Peters, Bjoern, Rocca-Serra, Philippe, Ruttenberg, Alan, Sansone, Susanna-Assunta, Scheuermann, Richard H., Schober, Daniel, Smith, Barry, Soldatova, Larisa N., Christian J. Stoeckert, Jr., Taylor, Chris F., Torniai, Carlo, Turner, Jessica A., Vita, Randi, Whetzel, Patricia L., y Zheng, Jie. 2018. *Ontology for Biomedical Investigations*. http://obi-ontology.org/. 46

Beale, Thomas, y Heard, Sam. 2007. openEHR Architecture. Architecture Overview. 44

Blobel, Bernd G.M.E., y Pharow, Peter. 2008. Analysis and Evaluation of EHR Approaches. 13

Borst, Willem Nico. 1997. *Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse*. Centre for Telematics and Information Technology (CTIT). 16

Carney, David, Fisher, David, y Place, Patrick. 2005. *Topics in Interoperability: System-of-Systems Evolution*. Tech. rept. 12, 13

Codd, E. F. 1970. A relational model of Data for Large Shared Data Banks. 5

Consortium, The Gene Ontology. 2010. The Gene Ontology in 2010: extensions and refinements. 45, 46

Consortium, The Gene Ontology. 2018. *Gene Ontology Consortium*. http://www.geneontology.org/. 45, 46

da Saúde, Ministério. 2018a. *e-SUS Atenção Básica*. http://dab.saude.gov.br/portaldab/esus.php. 44, 48, 50

da Saúde, Ministério. 2018b. *e-SUS Hospitalar*. http://datasus.saude.gov.br/sistemas-e-aplicativos/hospitalares/hospub. 50

da Saúde, Ministério. 2018c. *Sistema Único de Saúde (SUS): estrutura, princípios e como funciona*. http://portalms.saude.gov.br/sistema-unico-de-saude. 3, 48

de Atención Primaria de Salud, Dirección General. 2012. *Manual de Funciones de la Unidades de Salud de la Familia (USF)*. Tech. rept. 48

DE CIENCIAS MÉDICAS, FACULTAD. 2019. *Información de Sistemas de Salud.* https://informacionpublica.paraguay.gov.py/portal/#!/ciudadano/solicitud/18945. 53

DE GOBIERNO ELECTRÓNICO Y SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN Y DEL CONOCIMIENTO AGESIC, AGENCIA. 2018. *Programa Salud.uy.* https://www.agesic.gub.uy/innovaportal/v/4422/19/agesic/que_es.html. 39, 50

DE INFORMACIÓN SANITARIA, INSTITUTO. 2008. *Historia Clínica Digital en el Sistema Nacional de Salud. Conjunto Mínimo de Datos de Informes Clínicos.* Tech. rept. 48, 55

DE LA NACIÓN PARAGUAYA, CONGRESO. 1980. *Ley N 836 de Código Sanitario.* Tech. rept. 51

DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA, Y DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN MUNDIAL. 2019. *Paraguay Contexto General.* https://www.paho.org/salud-en-las-americas-2017/?post_t_es=paraguay&lang=es. 51

DE SALUD, SUPERINTENDENCIA. 1996. *PODER LEGISLATIVO LEY N 1032 QUE CREA EL SISTEMA NACIONAL DE SALUD EL CONGRESO DE LA NACION PARAGUAYA SANCIONA CON FUERZA DE LEY.* Tech. rept. 51

DE SALUD DEL GOBIERNO DE CHILE, MINISTERIO. 2014. *América Latina y el Caribe avanzan en agenda común para la Historia Cínica Electrónica.* http://www.salud-e.cl/prensa/america-latina-y-el-caribe-avanzan-en-una-agenda-comun-para-el-desarrollo-de-la-h 3

DE SALUD PÚBLICA Y BIENESTAR SOCIAL, MINISTÉRIO. 2012. *Sistema Informático PAI Web.* https://paiinfovacparaguay.mspbs.gov.py/. 52, 53

DE SALUD PÚBLICA Y BIENESTAR SOCIAL, MINISTÉRIO. 2018. *Sub-Sistema de Información de Servicios de Salud - Área Ambulatoria.* http://saa.mspbs.gov.py/. 52, 53

DE SALUD Y DESARROLLO SOCIAL, MINISTERIO. 2018. *Resolución 680/2018: Estándares de Sistemas Informáticos de Salud.* https://www.argentina.gob.ar/noticias/resolucion-6802018-estandares-de-sistemas-informaticos-de-salud. 51

DE SANIDAD, SECRETARÍA GENERAL. 2013. *Proyecto de Real Decreto de Estructura y Contenidos Básicos de Registro de Actividad de Atención Especializada.* Tech. rept. 4, 47, 48

DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN, DIRECCIÓN GENERAL. 2019. *Memorandum DGTIC Nro. 03/2019.* Tech. rept. 3, 5, 51, 52, 53

de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Gabinete Ministra División. 2013. *Minuta Agenda 2020*. Tech. rept. 48, 51, 55

del Carmen Suárez de Figueroa Baonza, María. 2010. *NeOn Methodology for Building Ontology Networks: Specification, Scheduling and Reuse*. Ph.D. thesis, Universidad Politécnica de Madrid Facultad de Informática Departamento de Inteligencia Artificial. 23, 27, 29

del Paraguay, Policía Nacional. 2019. *Información de Sistema de Salud del Hospital Rigoberto Caballero*. https://informacionpublica.paraguay.gov.py/portal/#!/ciudadano/solicitud/18948. 53

EcuRed. 2018. *ISO*. https://www.ecured.cu/ISO. 10

Elkin, Peter L., Bauer, Brent A., Wahner-Roedler, Dietlind, Rosenbloom, S. Trent, Bailey, Kent, Froehling, David, y Brown, Steven H. 2007. Aequus Communis Sententia: Defining Levels of Interoperability. 13

Fernández, Mariano, Gómez-Pérez, Asunción, y Juristo, Natalia. 1996. *METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering*. Tech. rept. 23, 24

Gibbons, Patricia, Arzt, Noam, Burke-Beebe, Susie, Chute, Chris, Dickinson, Gary, Flewelling, Tim, Jepsen, Thomas, Kamens, Don, Larson, Joanne, Ritter, John, Rozen, Michael, Selover, Sherry, y Stanford, Jean. 2007. Coming to Terms: Scoping Interoperability for Health Care. 4, 12, 13

Gruber, Thomas R. 1992. *A Translation Approach to Portable Ontology Specifications*. Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL 92-71. Appeared in Knowledge Acquisition, 5(2):199-220. 16

Guarino, Nicola. 1998. *Formal Ontology and Information Systems*. Ph.D. thesis, National Research Council. 16, 17, 18, 19

Guarino, Nicola, y Giaretta, Pierdaniele. 1995. Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification. 16, 17

Guarino, Nicola, y Welty, Christopher. 2002. *Evaluating ontological decisions with ontoclean*. Ph.D. thesis, Communications of the ACM. 29

Guarino, Nicola, Oberle, Daniel, , y Staab, Steffen. 2009. What Is an Ontology? 19, 20

Guizzardi, Giancarlo. 2005. *Ontological Foundations for Structural Conceptual Models*. Ph.D. thesis, Telematica Instituut Fundamental Research Series. 16

Gómez, Luis Fernando, y Perlaza, Leonardo Yunda. 2016. Informática Médica: Sistemas de Información y Estándares en Salud: Modelo de Aplicación. 36

Hay, David. 2016. *Modelos logicos en FHIR*. https://fhirblog.com/2016/10/17/LOGICAL-MODELS-IN-FHIR/#COMMENTS. 42

Hitzler, Pascal, Krötzsch, Markus, y Rudolph, Sebastian. 2009. Knowledge Representation for the Semantic Web. Part I: OWL 2. 21

HL7, Health Level Seven ® INTERNACIONAL. 2017a. *FHIR Release 3 (STU)*. https://www.hl7.org/fhir. 36, 40, 41, 45

HL7, Health Level Seven ® INTERNACIONAL. 2017b. *Introducing HL7 FHIR*. https://www.hl7.org/fhir/summary.html. 40

HL7, Health Level Seven ® INTERNACIONAL. 2017c. *Módulo Fundación 2.0*. https://www.hl7.org/fhir/foundation-module.html#uses. 40

HL7, Health Level Seven ® INTERNACIONAL. 2018a. *CDA® Release 2*. http://www.hl7.org/implement/standards/product_brief.cfm?product_id=7. 35, 39, 40

HL7, Health Level Seven ® INTERNACIONAL. 2018b. *Health Level Seven*. http://www.hl7.org/. 35, 39

Hovenga, Evelyn Johanna Sophia. 2008. Importance of Achieving Semantic Interoperability for National Health Information Systems. 5, 15

Huerta, Javier Etreros, Villar, Carmen Alonso, Fernández, Maravillas Cabronero, Cuenca, Gonzalo Marco, y Acebedo, Iciar Abad. 2009. *El Sistema de Historia Clínica Digital del SNS*. Tech. rept. 48, 49

IASIST. 2018. *CONJUNTO MÍNIMO BÁSICO DE DATOS (CMBD)*. http://www.iasist.com/es/2181/Conjunto-Minimo-Basico-de-Datos-CMBD. 48

Indarte, Selene, y Gutierrez, Pablo Pazos. 2011. *Estándares e interoperabilidad en salud electrónica: Requisitos para una gestión sanitaria efectiva y eficiente*. Tech. rept. 4, 5, 12, 13, 15, 35, 37, 53

Information, Healthcare, y Society, Management Systems. 2019. *Electronic Health Records*. https://www.himss.org/library/ehr. 10

Infoway, Canada Health. 2018. *Canada Health Infoway*. https://www.infoway-inforoute.ca/en/. 3

Institute, Regenstrief. 2018. *What LOINC is*. https://loinc.org/get-started/what-loinc-is/. 36, 38

International, IHE. 2018. *Integrating theHealthcare Enterprise*. https://www.ihe.net/about_ihe/. 36

ISO. 2005. *Health informatics — Electronic health record — Definition, scope and context.* Tech. rept. 3, 4, 10, 11, 12, 15

ISO/IEC. 2004. Standardization and related activities - General vocabulary. Geneve: International Organization for Standarization. 4

Kalibatiene, y Vasilecas. 2011. Survey on ontology languages. In Perspectives in Business Informatics Research. 20

Krötzsch, Markus, Simancík, František, y Horrocks, Ian. 2013. A Description Logic Primer. 21

Lassila, Ora, y McGuinness, Deborah. 2001. The Role of Frame-Based Representation on the Semantic Web. 31, 36

Legislativo, Poder. 2013. *Gaceta Oficial de la República del Paraguay. Poder Legislativo Ley N 4989.* Tech. rept. 3

Luna, Daniel, Soriano, Enrique, y de Quirós, Fernán González Bernaldo. 2007. Historia clínica electrónica. 7, 8

López, Pablo, Romero, Jesús, Villalba, Cynthia, Vázquez, José Luis, Cappo, Cristian, y Pinto, Diego. 2016a. Cloud Architecture for Electronic Health Record Systems Interoperability. 53

López, Pablo, Romero, Jesús, Villalba, Cynthia, Vázquez, José Luis, Cappo, Cristian, y Pinto, Diego. 2016b. *Proyecto de Historial de Salud Personal. Historial del paciente unificado, confiable y accesible de forma ubicua.* Tech. rept. 4, 53

Mallia, Anthony, y Prud'hommeaux, Eric. 2018. *FHIR OWL Ontology Unofficial Draft.* http://w3c.github.io/hcls-fhir-rdf/spec/ontology.html. 41

Marco-Ruiz, Luis, Malm-Nicolaisen, Kristian, Pedersen, Rune, Makhlysheva, Alexandra, y Bakkevoll, Per Atle. 2017. *Ontology-based terminologies for healthcare.* Tech. rept. 12, 15, 32, 37

Meglič, Matic, Magajne, Marija, y Zaletel, Metka. 2015. *Methodological guidelines and recommendations for efficient and rational governance of patient registries – version 1.0.* PARENT, Cross-border Patient Registries Initiative. 15

Navarro, Alicia Sarrión, y Carrión, Yulianela Corrales. 2010. Un acercamiento a las ontologías médicas y su importancia. 45

Noy, Natalya. 2005. Ontology Development 101. 27

Noy, Natalya F., y McGuinness, Deborah L. 2001. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. 23, 25

Obando, Fernando Suárez, y Sánchez, Jhon Camacho. 2013. Estandares en informatica medica: generalidades y aplicaciones. 35

of Anatomy, Foundational Model. 2018. *Foundational Model of Anatomy*. http://sig.biostr.washington.edu/projects/fm/AboutFM.html. 45, 46

of Transportation, U.S. Department. 2001. *Data Integration Glossary*. Federal Highway Administration's Office of Asset Management. 4

Oliván, José Antonio Salvador. 1997. Sistemas de informacion hospitalarios: el C.M.B.D. 48

OpenEHR. 2018a. *OpenEHR, An open domain-driven platform for developing flexible e-health systems*. https://www.openehr.org/what_is_openehr#. 42, 43, 45

OpenEHR. 2018b. *OpenEHR, Clinical Knowledge Manager*. https://www.openehr.org/ckm/. 44

openEHR Foundation, The. 2019. *openEHR Architecture Overview*. https://specifications.openehr.org/releases/BASE/latest/architecture_overview.html. 43

Organization, World Health. 2006. *Electronic Health Records: Manual for Developing Countries*. World Health Organization. 10, 12

Organization, World Health. 2018. *Classifications*. http://www.who.int/classifications/icd/en/#. 36, 38

Otero, Paula. 2010. Utilización de Terminologías Clínicas y su aplicación a una Historia Clínica Electrónica. 36

Pessanha, Christiano Pereira, y Bax, Marcello Peixoto. 2015. Implementing the openEHR Electronical Record in Content Management Systems: An aproximation. 44

Poole, David, Mackworth, Alan Keith, y Goebel, Randy. 1998. *Computational Intelligence and Knowledge*. Oxford University Press. 16

Sachdeva, Shelly, y Bhalla, Subhash. 2012. Semantic Interoperability in Standardized Electronic Health Record Databases. 5

SIMPLIFIER.NET. 2018. *Salud.Digital.ar - Guias de Implementación FHIR*. https://simplifier.net/SaludDigital.ar/~introduction. 39, 41, 51

Smith, Barry, y Welty, Christopher. 2001. Ontology: Towards a New Synthesis. 16, 17

SNOMED-CT. 2018. *SNOMED CT The Global Language of Healthcare*. https://www.snomed.org/. 36

Sowa, John F. 2000. *Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations*. Brooks Cole Publishing Co. 16

Staab, Steffen, y Studer, Rudi. 2009. *Handbook on Ontologies, International Handbooks on Information Systemss*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 32

Studer, Rudi, Benjamins, V. Richard, y Fensel, Dieter. 1997. *Knowledge Engineering: Principles and methods*. bArtificiaI Intelligence Research Institute (IIIA), Spanish Council for Scientific Research (CSIC), Campus UAB, 08193 Bellaterra, Barcelona, Spain. 16

Sun, Hong, Depraetere, Kristof, Roo, Jos De, Vloed, Boris De, Mels, Giovanni, y Colaert, Dirk. 2012. Semantic integration and analysis of clinical data. 12

Tartir, Samir, y Arpinar, I. Budak. 2007. *Ontology evaluation and ranking using ontoqa*. Ph.D. thesis, International Conference on IEEE. 29, 30

Uschold, Michael, y Gruninger, Michael. 2004. Ontologies and Semantics for Seamless Connectivity. 19, 20

versión 3 (STU), FHIR. 2017. *Arquitectura de documentos clínicos (CDA)*. https://www.hl7.org/fhir/comparison-cda.html. 40

Villalba, Cynthia. 2017. *Historial de Salud Personal*. Tech. rept. 54

W3C. 2004. *Lenguaje de Ontologías Web (OWL)*. https://www.w3.org/2007/09/OWL-Overview-es.html. 21, 32

W3C. 2008. *SPARQL Query Language for RDF*. https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/. 32

W3C. 2013. *W3C Semantic Web Activity*. https://www.w3.org/2001/sw/. 32

W3C. 2014. *Resource Description Framework (RDF)*. https://www.w3.org/RDF/. 32

Werley, Hamet H., Devine, Elizabeth C., Zom, Cecilia R., Ryan, Polly, y Westra, Bonnie L. 1991. The Nursing Minimum Data Set: Abstraction Tool for Standardized, Comparable, Essential Data. 47

WHO, World Health Organization. 2012. *Management of patient information Trends and challenges in Member States*. World Health Organization. 3, 4

WHO, World Health Organization. 2015. *Atlas of eHealth country profiles The use of eHealth in support of universal health coverage*. World Health Organization. 3

WHO, World Health Organization. 2016a. *Global diffusion of eHealth: Making universal health coverage achievable*. World Health Organization. 3

WHO, World Health Organization. 2016b. Revisión de estándares de interoperabilidad para la eSalud en Latinoamérica y el Caribe. 3

Yahia, Esma, Aubry, Alexis, y Panetto, Hervé. 2012. Formal measures for semantic interoperability assessment in cooperative enterprise information systems. 12, 13, 14, 25

Zelanda, HL7 FHIR Nueva. 2016. *clinFHIR Launcher*. http://clinfhir.com/#. 42