

Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño



Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



Modelo de Interoperabilidad Semántica para Sistemas de Información Hospitalarios Heterogéneos

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

DOCTORA EN CIENCIAS

Presenta

Dolores Ojeda Carreño

Ensenada, Baja California, agosto del 2018.

Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño

Modelo de Interoperabilidad Semántica para Sistemas de
Información Hospitalarios Heterogéneos

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS

Presenta

Dolores Ojeda Carreño

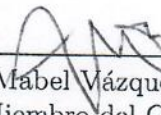
Aprobada por:



Dr. Juan Iván Nieto Hipólito
Director de Tesis




Dra. María de los Ángeles Cosío León
Miembro del Comité



Dra. Mabel Vázquez Briseño
Miembro del Comité



Dr. Ramón René Palacio Cinco
Miembro del Comité



Dr. Christian Xavier Navarro Cota
Miembro del Comité

Ensenada, Baja California, agosto del 2018.

Resumen de la tesis de **Dolores Ojeda Carreño**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de DOCTOR EN CIENCIAS del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (MYDCI) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Ensenada Baja California, México, julio del 2018.

Modelo de Interoperabilidad Semántica para Sistemas de Información Hospitalarios Heterogéneos

Resumen Aprobado por:



Dr. Juan Iván Nieto Hipólito
Director de Tesis

Cada persona que recibe servicios médicos cuenta con un expediente clínico, denominado Expediente Clínico Electrónico (ECE) cuando se encuentra en formato digital. El poder compartir datos entre Sistemas de Información Hospitalarios (SIHs), específicamente entre sistemas de ECEs, proporciona beneficios que se ven reflejados tanto de lado del médico como del paciente. Para lograr esto, es necesario no solo alcanzar la interoperabilidad, sino se trata de entender los datos de la misma manera, logrando así, la interoperabilidad semántica entre sistemas ECEs. Uno de los problemas, es que estos sistemas se implementan utilizando diferentes tecnologías, generando así un ecosistema heterogéneo. Una forma para solucionar esto es hacer uso de estándares de interoperabilidad tales como los de la familia HL7 y openEHR, sin embargo, estos difieren en la manera en que coleccionan la información de salud, así como la estructura que le dan a un ECE, con lo cual la granularidad y explicitud semántica de esas estructuras difieren de un estándar a otro, provocando que la heterogeneidad se siga manteniendo. Por otro lado, los estándares de interoperabilidad manejan de manera diferente la estructura de un ECE, por otro lado, no especifican como debe ser la interacción entre sistemas ECEs, provocando que los datos intercambiados entre los diferentes sistemas ECE posean diferente estructura de datos, limitando o impidiendo de esta forma la interoperabilidad semántica. En el presente trabajo de investigación se propone y se describen los elementos e interacciones que debe tener un modelo de interoperabilidad semántica computacional, para proveer conciencia a un sistema ECE de la herramienta de interoperabilidad que está usando un sistema ECE externo. Para validar el modelo de interoperabilidad semántica se desarrolló una simulación basada en sistemas multiagentes en la que sistemas ECEs comparten una variable fisiológica incrustada dentro de un mensaje estandarizado.

Palabras Clave: *Interoperabilidad Semántica, Sistemas de Información Hospitalarios, Agentes*

Dedicatoria

A mis hijos Camila y Samuel, así como a mi esposo Manuel.

A mi madre.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento:

A Dios. A todos mis sinodales, muy en especial a mi director de tesis el Dr. Juan Iván Nieto Hipólito y a la Dra. María de los Ángeles Cosío León por dirigirme, por sus consejos, observaciones y jalones de oreja que fueron de mucha ayuda en todo este proceso de desarrollo de esta tesis.

A mis compañeros de posgrado y mis amigos del grupo Data Analysis for Integrative Health por toda su ayuda.

A mi amigo Everardo Santiago Ramírez.

Al personal de UABC-FIAD por sus atenciones, amabilidad y disposición para ayudarme.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado y a la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) por las facilidades otorgadas para la realización de éste trabajo.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Problemática de investigación	3
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivo general	3
1.4. Objetivos específicos	3
1.5. Metodología	4
1.6. Estructura de la tesis	5
2. Trabajo relacionado	6
2.1. Sistema multi-agente como solución de interoperabilidad	8
3. Expediente Clínico e interoperabilidad	10
3.1. Expediente clínico	10
3.1.1. Problemática de los expedientes clínicos	10
3.2. Expediente Clínico Electrónico (ECE)	11
3.3. Sistema de Información Hospitalario (SIH)	11
3.3.1. Sub-dominios del SIH	11
3.4. Beneficios de compartir un ECE	13
3.4.1. Interoperabilidad	14
3.5. Problemática de interoperabilidad	14
3.6. Estándares de interoperabilidad	14
3.6.1. Familia HL7	15
3.6.2. openEHR	20
3.7. Terminologías y codificaciones médicas	21
3.7.1. Nomenclatura sistematizada de medicina - términos clínicos	22
3.7.2. Identificadores de observación lógica nombres y códigos	22
3.8. Problemática en torno al uso de los estándares de interoperabilidad	22
4. Propuesta: Modelo de interoperabilidad semántica para SIHs	23
4.1. Pasos previos para el desarrollo de la propuesta	23
4.1.1. Clasificación y validación	24
4.1.2. Clasificación de mensajes	25
4.1.3. Validación sintáctica y semántica	27

4.1.4.	Nivel de complejidad de interpretación de un mensaje	32
4.2.	Descripción del modelo de interoperabilidad semántica para SIH	33
4.3.	Metodología a seguir para validar la propuesta del modelo de interoperabilidad semántica	34
5.	Diseño del Sistema Multi-Agente de Mensajería	44
5.1.	Mensajería de variable fisiológica	44
5.2.	Sistema Multi-Agente de Mensajería de Variable Fisiológica (SMA-MVF)	45
5.2.1.	Definición de agentes	46
5.3.	Agente Interfaz (AI) del SMA-MVF	48
5.3.1.	Actividades del AI	48
5.4.	Agente ECE Sistema - Destino (AESD) del SMA-MVF	49
5.4.1.	Actividades del AESD	49
5.5.	Agente de Sistema de Información de Laboratorio (ASIL) del SMA-MVF	51
5.5.1.	Actividades del ASIL	51
5.6.	Agente de Clasificación de Mensajes (ACM) del SMA-MVF	53
5.6.1.	Actividades del ACM	53
5.7.	Agente de Validación Sintáctica Semántica (AVSS) del SMA-MVF . . .	54
5.7.1.	Actividades de AVSS	54
5.8.	Agente ECE - Sistema Fuente (AESF) del SMA-MVF	55
5.8.1.	Actividades del AESF	56
5.9.	Agente de Eliminación de Mensaje (AEM) del SMA-MVF	56
5.9.1.	Actividades del AEM	56
5.10.	Agente Variable Fisiológica (AVF) del SMA-MVF	57
5.10.1.	Actividades del AVF	57
5.11.	Participación de los Agentes del SMA-MVF en el modelo de interoperabilidad semántica	58
6.	Diseño de la simulación	60
6.1.	Descripción del caso de uso: Paciente hipertenso	60
6.2.	Descripción del diagrama cliente/servidor en el caso de uso	61
6.2.1.	Diagrama cliente/servidor	62
6.3.	Herramientas de simulación basada en agentes	63
6.4.	Lenguaje declarativo R	65
6.4.1.	Uso de R para la clasificación y validación	65
6.5.	Diseño de la simulación en NetLogo	69
7.	Implementación de la simulación	73
7.1.	Colección de mensajes para implementar la simulación	73
7.2.	Implementación de la simulación	74
7.3.	Validación de la implementación de la simulación	75
7.3.1.	Tablas de resultados de la validación de la implementación . . .	76
7.4.	Discusión	77

8. Conclusiones Generales	82
8.1. Trabajo a futuro	83
9. Productividad académica	84

Lista de acrónimos

- Agente de Clasificación de Mensajes (ACM).
- Agente de Eliminación de Mensaje (AEM).
- Agente de Sistema de Información de Laboratorio (ASIL).
- Agente de Validación Sintáctica Semántica (AVSS).
- Agente ECE - Sistema Fuente (AESF).
- Agente ECE Sistema - Destino (AESD).
- Agente ECE Sistema - Fuente (AESF).
- Agente Interfaz (AI).
- Agente Variable Fisiológica (AVF).
- *American Heart Association* (AHA).
- Base de Datos (BDs).
- ECE - Sistema Destino (AESD).
- Expediente Clínico Electrónico (ECE).
- Expedientes Clínicos Electrónicos (ECEs).
- eXtensible Markup Language (XML).
- *Fast Healthcare Interoperability Resources* (HL7 FHIR).
- Health Seven Level (HL7).
- HL7 Versión 2 (HL7 V2).
- HL7 Versión 3 (HL7 V3).
- *JavaScript Object Notation* (JSON).
- *Logical Observation Identifiers Names and Codes* (LOINC).
- Message Header (MSH).
- Registro Personal de Salud (RPS).
- Simulación Basada en Agentes (SBA).

- Sistema de Archivo y Comunicación de Imágenes (SACI).
- Sistema de Información de Laboratorio (SIL).
- Sistema de Información de Radiología (SIR).
- Sistema de Prescripción Electrónica (SPE).
- Sistema Multi-Agente de Mensajería de Variable Fisiológica (SMA-MVF).
- Sistemas de Información (SI).
- Sistemas de Información Hospitalarios (SIHs).
- Sistemas Multi-Agente (SMA).
- *Systematized Nomenclature of Medicine-Clinical Terms* (SNOMED-CT).
- Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs).
- *Unified Modeling Language* (UML).
- *Unsolicited transmission of an observation message / Observational report Unsolicited* (ORU).

Índice de figuras

3.1. Sub-dominios del SIH [Sabooniha2012]	12
3.2. sistema ECE	13
4.1. Seis elementos para la clasificación y validación	25
4.2. Proceso de clasificación	27
4.3. Niveles de complejidad de interpretación de un mensaje	34
4.4. Modelo de interoperabilidad semántica	35
5.1. Nombre y siglas de agentes	46
5.2. Diagrama general del SMA-MVF	47
5.3. Agente Interfaz	48
5.4. Agente ECE Sistema - Destino	50
5.5. Agente de Sistema de Información de Laboratorio	52
5.6. Agente de Clasificación de Mensajes	53
5.7. Agente de Validación Sintáctica Semántica	54
5.8. Agente ECE Sistema - Fuente	55
5.9. Agente de Eliminación de Mensaje	57
5.10. Agente Variable Fisiológica	58
5.11. Agentes en el Modelo de interoperabilidad semántica	59
6.1. Diagrama Cliente / servidor	61
6.2. Notificación de <i>warning</i> en la clasificación lado del cliente	64
6.3. Notificación de <i>warning</i> en la validación	64
6.4. Diagrama de flujo de lado de <i>R</i>	66
6.5. Diagrama de flujo de lado de NetLogo parte uno	70
6.6. Diagrama de flujo de lado de NetLogo parte dos	71
7.1. Salida de lado de <i>R</i>	75
7.2. Impresión de pantalla de salida de lado de NetLogo	79
7.3. Resultados de la clasificación de mensajes	79

Índice de tablas

4.1. HL7 V2 (Resumen de abreviaturas)	28
4.2. HL7 V2	29
4.3. HL7 V2 (continuación parte uno)	29
4.4. HL7 V2 (continuación parte dos)	30
4.5. HL7 V3	37
4.6. HL7 V3 (continuación)	38
4.7. HL7 FHIR	39
4.8. HL7 FHIR (continuación)	40
4.9. openEHR	41
4.10. openEHR (continuación parte uno)	42
4.11. openEHR (continuación parte dos)	43
7.1. Resultados generales	80
7.2. Resultados generales (continuación)	81
7.3. Análisis de resultados generales	81

Capítulo 1

Introducción

En cada hospital, institución clínica o consultorio donde es atendido un paciente se genera un conjunto de información clínica, la cual se recaba a lo largo de la vida del paciente. Originalmente la información clínica era recabada en papel y almacenada físicamente en cada uno de los lugares donde el paciente era atendido. Esto ha ocasionado diversos problemas, debido a que al encontrarse la información dispersa, se limita tanto a los médicos, como a especialistas en salud el tener acceso a todo este conjunto de datos clínicos pertenecientes al paciente [1].

El conjunto de datos e información clínica, denominada expediente clínico, comprende los datos personales del paciente, la historia médica, historia familiar, historia de medicamentos, resultados clínicos, datos demográficos, signos vitales, entre otros [2, 3, 4].

Gracias al uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) [5], para la generación de los Expedientes Clínicos Electrónicos (ECEs) [6], se pudo resolver parcialmente la problemática entorno a que el expediente clínico era generado originalmente en papel, almacenado físicamente y se encontraba disperso.

El denominado Sistema de Información Hospitalario (SIH) es el encargado de administrar la información clínica, administrativa y financiera dentro de una institución clínica [7], el cual por sus características e información que administra, se define como un sistema complejo [8]. Un SIH se compone de diversos sub-dominios, dentro de los cuales se encuentra el ECE.

El mecanismo encargado de administrar los ECEs de los pacientes desde su creación, almacenamiento y compartición, así como sus diversas fuentes de datos, es el denominado sistema ECE [9, 1, 10].

Dentro de las tareas principales de un sistema ECE está el de compartir información clínica entre sistemas, para que esta pueda ser accedida desde cualquier lugar

y en cualquier momento, con el objetivo de ofrecerle al médico una visión completa del estado de salud de sus pacientes [11, 4]. Sin embargo, no se trata solo de compartir información clínica contenida en los ECEs para lograr la interoperabilidad [12], sino se trata de entender los datos de la misma manera, logrando así la interoperabilidad semántica entre sistemas ECEs [13].

Algunas de las limitantes para lograr la interoperabilidad entre sistemas ECEs, es que los sistemas han sido desarrollados utilizando diferente tecnología, plataformas de desarrollo, lenguajes de programación, entre otras diferencias [11], generando así un ecosistema heterogéneo de sistemas ECEs [14]. Actualmente se cuenta con diversos estándares de interoperabilidad que a través de sus modelos de referencia ayudan a resolver parcialmente la problemática anteriormente descrita.

Dentro de los principales estándares de interoperabilidad se encuentran los estándares de la familia HL7 y openEHR [15, 13, 9], así como otras herramientas de interoperabilidad tales como, la terminología SNOMED-CT y la codificación LOINC que trabajan en conjunto con los estándares de interoperabilidad [16, 17]. Sin embargo, los estándares de interoperabilidad difieren entre sí en la forma de cómo coleccionar la información de salud electrónica de los pacientes, así como difieren en la estructura que le dan a los ECEs, al seguir su propio modelo de información de referencia, por lo tanto, la granularidad y explicitud semántica de esas estructuras difieren de un estándar a otro, provocando que la heterogeneidad se siga manteniendo.

Otra limitante entorno al uso de estándares de interoperabilidad se da desde el momento en que los sistemas ECEs que utilicen diferentes estándares de interoperabilidad para comunicarse entre sí, esto es porque los estándares de interoperabilidad no especifican como debe ser la interacción entre sistemas ECEs y segundo porque al utilizar diferentes estándares provocara que los datos que se compartan entre los diferentes sistemas ECE sigan diferente estructura de datos, con lo cual los datos serán entendidos de diferente manera, con lo que se alejan cada vez más de lograr la interoperabilidad semántica entre sistemas ECE.

Dentro de las necesidades principales de las instituciones clínicas se encuentra del intercambio de datos clínicos entre ellas, teniendo como uno de sus objetivos que médicos puedan ofrecer un diagnóstico más completo a sus pacientes, esto al contar con los datos clínicos que se requieran, sin importar qué institución clínica los resguarde. Para poder lograr esto se torna necesario que Ingenieros en Sistemas y especialistas en informática cuenten con la información suficiente que describa qué elementos de validación son necesarios contemplar para que SIs puedan interoperar, así como una descripción entorno a las interacciones entre ellos, para implementar nuevos Sistemas de Información (SIs) y/o actualizar los ya existentes siguiendo un modelo de interoperabilidad semántica computacional, que le provea conciencia a un *sistema ECE - destino* de la herramienta de interoperabilidad que está usando un *sistema ECE - fuente*, para

entender de la misma manera los datos intercambiados.

1.1. Problemática de investigación

¿Qué elementos y tipos de interacción debe tener un modelo de interoperabilidad semántica computacional para proveer conciencia al Sistema de Información Hospitalario-destino de la herramienta de interoperabilidad semántica que está usando el Sistema de Información Hospitalario-fuente ?

1.2. Justificación

Dentro de una institución clínica es necesario implementar nuevos sistemas de información y/o actualizar los ya existentes, para lo cual se requiere que Ingenieros en sistemas y especialistas en informática cuenten con un modelo a seguir, teniendo como uno de los objetivos principales que los médicos puedan realizar el diagnóstico clínico de un paciente de manera más eficiente.

Para que un médico pueda realizar un diagnóstico, requiere principalmente de examinar físicamente al paciente y de tener acceso a sus datos clínicos [3]. Sin embargo, una de las limitantes para el intercambio de datos clínicos entre instituciones médicas es la heterogeneidad [11] entre sus Sistemas de Información Hospitalarios. Pero no se trata solo de intercambiar datos clínicos, sino se trata de entender los datos de la misma manera, para que tanto médicos como especialistas en salud puedan tomar las mejores decisiones entorno a la salud de los pacientes.

1.3. Objetivo general

*Diseñar y evaluar un modelo como soporte de interoperabilidad semántica computacional, que provea conciencia a un Sistema de Información Hospitalario - **destino** de la herramienta de interoperabilidad que está usando el Sistema de Información Hospitalario -**fuente**.*

1.4. Objetivos específicos

- *1.4.1 Identificar las características principales de un Sistema de Información Hospitalario, estándares de interoperabilidad, terminología y codificación médica seleccionados para la investigación.*
- *1.4.2 Determinar los elementos que son necesarios para la interacción entre Sistemas de Información Hospitalarios.*

- *1.4.3 Diseñar y describir la propuesta del modelo de interoperabilidad semántica para Sistemas de Información Hospitalarios.*
- *1.4.4 Diseñar un sistema multi-agente para, el intercambio de variables fisiológicas entre sistemas que implementan diferentes estándares de interoperabilidad semántica.*
- *1.4.5 Implementar la simulación del diseño del sistema multi-agente.*
- *1.4.6 Validar la simulación del diseño del sistema multi-agente.*

1.5. Metodología

La metodología que se siguió para el desarrollo del presente trabajo se dividió en seis etapas:

- La primera etapa consistió en la búsqueda exploratoria de la bibliografía de los estándares de interoperabilidad que existen en la actualidad.
- La segunda etapa se dividió en la clasificación estándares de interoperabilidad en sintácticos y semánticos para poder realizar posteriormente su selección, acorde al objetivo general de la tesis. Así fue necesario realizar entrevistas con especialistas en la salud, así como con Ingenieros en sistemas.
- La tercera etapa estuvo enfocada en los Sistemas de Información Hospitalarios, donde:
 - se identificaron los principales procesos que se realizan.
 - se analizaron los datos de entrada y salida.
 - se analizaron el flujo de los datos que se manejan.
- La cuarta etapa radico desarrollar la propuesta del modelo de interoperabilidad semántica para SIHs, así como en el diseño del sistema Multi-Agente de mensajería del modelo propuesto.
- La quinta etapa corrió de lado del diseño de la simulación del modelo basado en el uso de agentes.
- La sexta etapa fue la implementación de la simulación del modelo.

1.6. Estructura de la tesis

Este trabajo está dividido en los siguientes capítulos:

Capítulo 1 Se da una breve introducción del trabajo de tesis, se indica la justificación y los objetivos tanto general como específicos y la secuencia del trabajo.

Capítulo 2 Describe las propuestas que hay para resolver problemas de interoperabilidad.

Capítulo 3 Se define lo que es un Expediente Clínico Electrónico, así como las problemáticas de interoperabilidad y soluciones parciales a dichas problemáticas.

Capítulo 4 En éste capítulo se describe la propuesta de tesis para resolver el problema de interoperabilidad entre Sistemas de Información Hospitalarios, a través de un modelo de interoperabilidad semántica.

Capítulo 5 Este capítulo describe el diseño de un sistema multi-agente de mensajería.

Capítulo 6 El presente capítulo describe el diseño de la simulación del modelo propuesto basada en el sistema multi-agente de mensajería.

Capítulo 7 Presenta la implementación de la simulación.

Capítulo 8 En éste capítulo se dan las conclusiones del trabajo, así como trabajo futuro.

Capítulo 9 Finalmente, se describe la productividad académica realizada.

Capítulo 2

Trabajo relacionado

Dentro de los datos clínicos que comparten entre SIHs están los provenientes de la tele-monitorización de variables fisiológicas de pacientes. Un ejemplo de esto es el sistema presentado en [18], el cual se basa en una página web y un software que permiten monitorizar el estado de salud de pacientes post-cirugía ambulatoria. Otro ejemplo de tele-monitorización, es el de seguimiento a pacientes descrito en el trabajo de [19], el cual hace uso de sensores fisiológicos, ya que través de estos dispositivos electrónicos se les puede dar seguimiento a pacientes con enfermedades crónico-degenerativas, como es el caso del sistema HealthFace [20] basado en una red inalámbrica de sensores fisiológicos.

La telemonitorización si bien es manejada dentro de una institución clínica, también puede ser utilizada desde la casa del paciente, como en la propuesta de [21], la cual presenta una plataforma para la monitorización de pacientes en su hogar, utilizando sensores fisiológicos, donde además de dar un diagnóstico, ofrece un pronóstico del posible estado crítico que pueda presentar el paciente.

En párrafos anteriores se han descrito diferentes trabajos basados en la recolección de variables fisiológicas de pacientes; sin embargo, no solo se trata de recolectar datos clínicos, sino de poder intercambiarlos entre SIHs. Para lo cual es necesario lograr la interoperabilidad entre instituciones clínicas a través de sus SIHs propietarios, donde una de las opciones más recurrentes es hacer uso de estándares de interoperabilidad tales como la familia HL7 y openEHR. El primer trabajo a presentar es la propuesta de interoperabilidad de yourEHRM [22], la cual tiene como objetivo la estandarización de datos para lograr la interoperabilidad semántica entre SIHs, basándose en modelos de información genéricos que se ajustan a arquetipos (información de dominio contenida en los modelos de información [23]) openEHR/EN13606. Así como la propuesta anterior, otro ejemplo para lograr interoperabilidad entre SIHs es el *framework* presentado en [24], el cual realiza el almacenamiento, intercambio y el análisis predictivo de datos clínicos dentro de un ecosistema de salud basado en los estándares de interoperabilidad openEHR y HL7.

Como parte de los resultados obtenidos de la búsqueda bibliográfica relacionada con SIHs y el uso de estándares de interoperabilidad, se obtuvo que varios SIs se basan en el uso de agentes para lograr la interoperabilidad entre SIHs, tal es el caso del sistema multi-agente MET3 [25], el cual sirve como apoyo para especialistas en salud en la toma de decisiones clínicas, para lo cual el SI MET3 integra la información proveniente de SIHs entorno a la salud del paciente, haciendo uso de mensajes que sigan la estructura estándares de la familia HL7, donde un mensaje es definido como uno de los artefactos (elementos) principales como medio de transporte de datos clínicos por parte de HL7 [26].

La metodología presentada en [27], hace uso también de agentes y basándose en el estándar de interoperabilidad openEHR, esta metodología provee de los elementos necesarios a los diseñadores de *software* para el desarrollo de sistemas de comunicación, basados en el intercambio de mensajes entre SIHs heterogéneos. Otro trabajo basado en el uso de openEHR y de agentes, el cual tiene como objetivo el mejorar la interoperabilidad semántica entre SIHs, es el sistema SAHIB, presentado en [28].

De la misma forma que se puede monitorizar un paciente desde su casa, también se puede trabajar a la par en alimentar su Registro Personal de Salud (RPS), como la propuesta del sistema basado en el estándar de interoperabilidad HL7 y del uso de agentes presentada en [29], donde el sistema realiza la integración de datos de salud provenientes de fuentes estructuradas y semi-estructuradas, para lo cual los datos de salud se exportan para alimentar cada RPS de los pacientes. Otro ejemplo basado en HL7, es la arquitectura basada en Sistemas Multi-Agente (SMAs) de [30], la cual tiene como objetivo el intercambiar, procesar y validar los mensajes internos intercambiados a través de un SIHs de un hospital regional.

Para realizar el análisis y diseño de un SMA se encontró en la búsqueda bibliográfica que el uso de la metodología INGENIAS es una opción usada recurrentemente. A continuación, se presentan dos sistemas, que trabajan con agentes, el primero se trata del SMA de [31] en donde se utilizó la metodología de INGENIAS, así como su conjunto de herramientas, para desarrollar una simulación con el objetivo de evaluar la capacidad del sistema. El segundo es el sistema presentado en [32] donde se hace uso de estas mismas herramientas, pero para el diseño de sistemas multi-sensor de vigilancia inteligente.

Para finalizar con el trabajo relacionado, es necesario mencionar que cuando los SMAs van a ser modelados y simulados, son denominados también como Simulación Basada en Agentes (SBA), esto se da cuando se utiliza sobre todo lenguajes de programación informática [33], como es el caso de NetLogo. Un ejemplo práctico del uso de NetLogo es el modelo teórico de SBA presentado en [34], donde se propuso un modelo teórico basado en agentes para simular la interoperabilidad comercial en el desempeño de las empresas. Los agentes definidos interactúan entre sí para llevar a cabo sus opera-

ciones comerciales diarias. En [35] se implementó en el entorno de simulación NetLogo, un modelo de departamentos de emergencia basado en agentes para estudiar los problemas relacionados con el servicio de emergencia.

2.1. Sistema multi-agente como solución de interoperabilidad

En la sección 1.1 se definió el problema a resolver con el desarrollo de esta tesis, el cual se presentó en forma de pregunta, de la siguiente manera: ¿Qué elementos y tipos de interacción debe tener un modelo de interoperabilidad semántica computacional para proveer conciencia al Sistema de Información Hospitalario-destino de la herramienta de interoperabilidad semántica que está usando el Sistema de Información Hospitalario-fuente?. Derivado de la problemática se generaron seis objetivos específicos, presentados en la sección 1.4, para lograr cumplir con estos objetivos fue necesario realizar una investigación bibliográfica, obteniendo diversas soluciones a la problemática de interoperabilidad.

Como conclusión, en el presente capítulo se presentaron diferentes trabajos y sistemas que realizan las tareas de monitorización de variables fisiológicas pero que no contemplan el uso de estándares de interoperabilidad para el intercambio de las variables entre SIHs [18, 19, 20, 21]. Por otro lado, se presentaron trabajos que contemplan el uso de estándares de interoperabilidad, pero que no hacen uso de la inteligencia que se puede lograr desarrollar entorno a la interoperabilidad entre SIHs a partir del uso de los SMAs [22, 24].

De los trabajos y/o sistemas que sí hacen uso de los agentes o mejor dicho de SMAs se encuentran los presentados en [25, 27, 28, 29, 30] sin embargo estos hacen uso de un estándar de interoperabilidad, es decir, se limita hasta cierto punto la interoperabilidad entre SIHs al manejar uno u otro estándar y no contemplar ambos. Finalmente, existen sistemas que aunque sí hacen uso de SMAs, no contemplan el uso de estándares de interoperabilidad [31, 32, 34, 35].

En los párrafos anteriores se pudieron ver oportunidades de aportar con el presente trabajo de tesis de elementos que cubran total o parcialmente las necesidades que no se han contemplado en los trabajos relacionados quedando un espacio entre trabajos y propuestas donde es necesario definir los elementos y tipo de interacción que deben tener los SIHs para intercambiar datos clínicos, tales como variables fisiológicas para tener una visión más amplia del estado de la salud del paciente. Haciendo uso de los estándares de interoperabilidad más utilizados en el entorno médico, como lo son los estándares de la familia HL7 y openEHR en conjunto. Para lo cual presentan estos elementos e interacciones derivando en el la propuesta del Modelo de interoperabilidad semántica para SIHs que se presentan en el capítulo 4 con el objetivo de proveer

de conciencia al *SIH - destino* de la herramienta de interoperabilidad semántica que está usando el *SIH - fuente*, ya que no se trata solo de intercambiar los datos, sino se trata de que los médicos y especialistas en salud puedan entender los datos de la misma manera, para ofrecer a los pacientes un servicio más eficiente y certero, y para que puedan así tomar las mejores decisiones entorno a la salud de los pacientes.

Para la validar de la propuesta del modelo de interoperabilidad semántica en el capítulo 7 se presenta la evaluación de la solución (modelo) para lo cual fue necesario previamente el diseño del SMA de la evaluación presentado en el capítulo 5, así como la implementación de la evaluación (simulación) que se desarrolló en el capítulo 6 a través del uso de SMAs.

Derivado del desarrollo de este trabajo de tesis se obtuvo una solución relacionada con el sub-dominio del Sistema de Información de Laboratorio (SIL) del SIH, para lo cual se seleccionaron dominios relacionados al SIL de los estándares de la familia HL7 V2, V3, FHIR, así como de openEHR.

Capítulo 3

Expediente Clínico e interoperabilidad

Cumpliendo con el *objetivo específico 1.4.1* del capítulo 1 se identificaron las características principales de un Sistema de Información Hospitalario. También se procedió a analizar y seleccionar los elementos y características principales de los estándares de interoperabilidad, terminología y codificación médica seleccionados para la investigación.

3.1. Expediente clínico

Todo ser humano en algún determinado momento requiere de servicios médicos, los cuales pueden ser proporcionados en un consultorio médico, en una institución clínica u hospital. Indistintamente, será necesario que en el lugar a donde asista el paciente, se cuente con la información clínica respecto al paciente previo a una consulta médica.

Originalmente la información clínica (o información médica) se colectaba a través de un conjunto de documentos escritos basados en papel [1], conocidos como *expediente clínico*. Dentro de un expediente clínico se encuentran los datos personales, historia médica pasada, historia familiar, historia de medicamentos, resultados clínicos, datos demográficos, signos vitales, entre otro datos [2, 3, 4].

3.1.1. Problemática de los expedientes clínicos

Al encontrarse los expedientes clínicos en papel y al ser almacenados físicamente, ha ocasionado problemas a la hora de querer recuperar esta información. Por otro lado, si tomamos en cuenta que al generar un expediente clínico cada vez que un paciente requiere de servicios médicos por primera vez, se está provocando que existan múltiples expedientes clínicos de un mismo paciente, extendidos por diferentes lugares de asistencia médica. Todo lo anteriormente descrito ocasiona problemas al momento de querer recuperar el expediente clínico completo de un paciente, para ser consultado por parte de un médico o especialista [1].

3.2. Expediente Clínico Electrónico (ECE)

La problemática anterior fue parcialmente resuelta gracias a las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) a través de la e-Salud, o Salud Electrónica [5] mediante la generación de los *Expedientes Clínicos Electrónicos (ECEs)* [6]. Con lo cual los registros basados en papel debían disminuir, evitando las limitación de almacenamiento y recuperación [36, 4], permitiendo tanto a médicos como especialistas en salud la recuperación de los expedientes clínicos de cada paciente en forma digital, de manera más eficiente [4].

3.3. Sistema de Información Hospitalario (SIH)

Dentro de una institución clínica u hospital, el sistema encargado de administrar operaciones administrativas, clínicas y financieras es el denominado Sistema de Información Hospitalario (SIH) [7], que por la complejidad que representa el uso y manejo de los datos que realiza, se define que un SIH es un sistema complejo [8].

3.3.1. Sub-dominios del SIH

Cada SIH se compone de un conjunto de sub-sistemas (llámese aplicaciones, interfaces gráficas, entre otros.), mejor conocidos como sub-dominios, dentro de los cuales se encuentran el ECE. Otros sub-dominios pertenecientes al SIH son los siguientes Sistemas de Información (SI). Iniciaremos por mencionar el Sistema de Información de Laboratorio (SIL), el Sistema de Información de Radiología (SIR)/Sistema de Archivo y Comunicación de Imágenes (SACI) y el Sistema de Prescripción Electrónica (SPE) como se puede ver en la Figura 3.1.

A continuación, se describen los SIs acorde a las actividades que realizan:

- El SIL administra marcadores histopatológicos químicos, de hematología, inmunología, entre otros marcadores [4].
- El SIR administra informes, programación de estudios de pacientes, gestión de estudios de imágenes, entre otros [4]. Por otro lado, SACI administra la captura, almacenamiento, recuperación y distribución de imágenes médicas e informes [37].
- El SPE administra la comunicación entre prescriptores, farmacias, farmacéuticos y pacientes [38].

Sistema ECE

Como se describió anteriormente, los ECEs de pacientes son parte del conjunto de sub-dominios de un SIH, motivo por el cual fue este sub-dominio el seleccionado como el elemento principal a utilizar para trabajar como parte del desarrollo de la propuesta

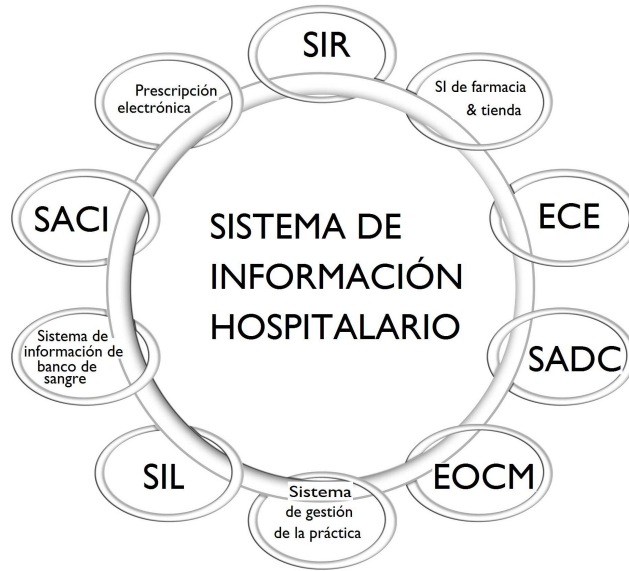


Figura 3.1: Sub-dominios del SIH [Sabooniha2012]

de tesis, debido a que contiene datos médicos relevantes de un paciente y de interés para el intercambio de datos clínicos entre SIHs.

El mecanismo diseñado para el intercambio y administración de los ECEs de pacientes, así como sus diferentes fuentes de datos, es el denominado sistema ECE [9, 1, 10], para lo cual como complemento a la selección del ECE, se optó también por seleccionar como fuentes de datos a los siguientes sub-dominios: SIL, SIR/SACI y SPE del SIH, con el objetivo de representar como se da la administración de un ECE a través del sistema ECE, para lo cual se propuso la Figura 3.2.

Si bien los SIs seleccionados cubren lo que se desea dar a explicar en la Figura propuesta 3.2, se consideró importante añadir como fuente de datos del sistema ECE al Sistema de Registro Personal de Salud (Sistema de RPS), el cual se encarga de administrar el registro médico-personal, propiedad del paciente [39, 2] para complementar los datos que contiene un ECE.

A continuación, se va a describir los elementos que componen al sistema ECE de la Figura 3.2, donde:

- El administrador del ECE se encarga de la creación, almacenamiento, consulta, recuperación y actualización, así como el poder compartir un ECE, con otro sistema ECE (externo) [40].
- El Médico del ECE se encarga de crear un ECE, consultar y actualizar los datos de un ECE, así como se encarga de recuperar información e imágenes relacionadas

al ECE.

- El SIL gestiona marcadores histopatológicos.
- El SIR y el SACI gestionan estudios e imágenes clínicas.
- El SPE gestiona la comunicación entre los proveedores, farmacias, farmacéuticos y pacientes.
- El Sistema de RPS gestiona registro personal de salud de un paciente.

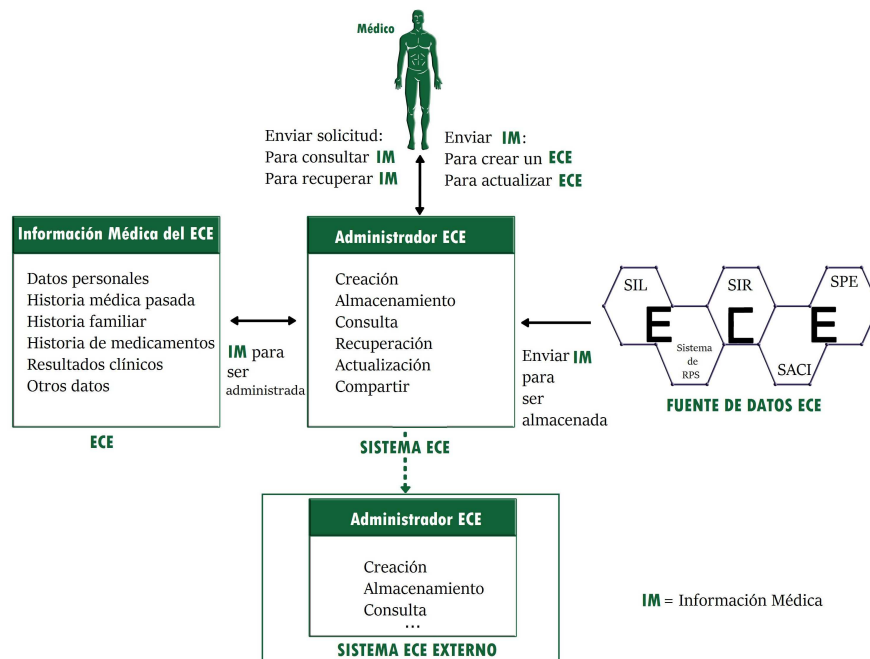


Figura 3.2: sistema ECE

3.4. Beneficios de compartir un ECE

Dentro de los beneficios que ofrece el poder compartir los ECEs de pacientes entre sistemas ECEs, están el poder acceder a ellos desde cualquier lugar y en cualquier momento, ayudando así a los médicos a tomar mejores decisiones entorno a la salud de pacientes, debido a que un ECE ofrece una visión completa del estado de salud del paciente [11, 4], lo cual beneficia también a pacientes con servicios médicos de calidad [3]. Otro beneficio se ve reflejado en el aspecto económico, no siendo necesario que los pacientes se tengan que realizar estudios de nueva cuenta, evitando también así la duplicidad de estudios [4].

3.4.1. Interoperabilidad

Al decir que el ECE de un paciente se puede compartir, se está hablando del término de interoperabilidad, donde la IEEE [12] lo define como la capacidad que tienen dos o más SIs para intercambiar y usar la información que ha sido intercambiada. Dentro de los focos principales de la interoperabilidad se encuentran la interoperabilidad sintáctica e interoperabilidad semántica.

Interoperabilidad sintáctica

La interoperabilidad sintáctica se refiere a la capacidad de los SIs de importar y validar la gramática y/o el conjunto de enunciados de reglas de construcción creados por otro SI [41].

Interoperabilidad semántica

La interoperabilidad semántica se define como la capacidad de intercambiar información entre SIs, pero al mismo tiempo trata de que los SIs entiendan de la misma manera la información que ha sido intercambiada, independientemente del sistema fuente [13].

3.5. Problemática de interoperabilidad

Una de las limitantes para lograr la interoperabilidad sintáctica y semántica entre sistemas ECE es que estos sistemas han sido desarrollados utilizando diferente tecnología, plataformas de desarrollo, lenguajes de programación, entre otras desigualdades [11], por lo que la interoperabilidad se ve limitada o impedida, debido a que se genera un ecosistema heterogéneo de sistemas ECE [14].

3.6. Estándares de interoperabilidad

En la actualidad existen múltiples propuestas y enfoques para solucionar el problema de interoperabilidad sintáctica y semántica entre sistemas ECE heterogéneos, es decir, existen diferentes arquitecturas, metodologías, middlewares, entre otros enfoques. Dichos enfoques se han basado en el uso de diferentes estándares de interoperabilidad, esto debido a su relativamente fácil implementación y que no requieren cambios importantes en la arquitectura de los sistemas que se han desarrollado.

Dentro de los principales estándares de interoperabilidad se encuentran los estándares de la familia Salud Nivel Siete, mejor conocido en el idioma inglés como *Health Seven Level* (HL7) y openEHR [15, 13, 9], los cuales van a ser descritos en las siguientes secciones ¹.

¹Nota aclaratoria: en los capítulo 3 y 4 se presenta información extraída de los portales web de HL7

3.6.1. Familia HL7

HL7 está formado por una comunidad internacional de expertos en el campo de las tecnologías de la información y de la salud, que colaboran para crear estándares para el intercambio, la gestión y la integración de la información de salud electrónica [26]. Unos de los objetivos principales de HL7 ha sido el especificar el formato y la estructura de la información que se intercambiará entre SIs (sintaxis) y aunque HL7 da recomendaciones para el intercambio de datos entre SIs, no ahonda en detalles técnicos [4, 15].

Como parte del desarrollo del presente trabajo de investigación se optó por hacer uso de los estándares de mensajería HL7 Versión 2 (HL7 V2), HL7 Versión 3 (HL7 V3) y el nuevo miembro de la familia HL7; el estándar de mensajería HL7 Recursos Rápidos de Interoperabilidad en Salud mejor conocido en el idioma inglés como *Fast Healthcare Interoperability Resources* (HL7 FHIR) [26] de la familia de estándares HL7.

Los mensajes que sigan la estructura de los estándares HL7 V2, V3 y FHIR van a contener datos médicos provenientes de la fuente de datos del SIL del sistema ECE. Para lo cual se hará uso del dominio de laboratorio, dominio que se basa en resultados de laboratorio clínico tales como hematología, serología, virología, entre otros marcadores hepatológicos, los mensajes también podrán hacer uso de *observaciones y/o resultados* que pueden ser mediciones numéricas cuantitativas [26], tales como temperatura corporal o presión arterial, por mencionar algunos signos vitales.

HL7 Versión 2

HL7 V2 es el primer estándar de mensajería HL7, publicado en el año de 1988 [4, 42]. Una de las características principales de HL7 V2 es que hace uso del símbolo *pipe* | como delimitador del texto contenido dentro de un mensaje [42], el cual es utilizado como medio de transporte para el intercambio de dato clínicos. Actualmente, esta versión es el estándar de la familia HL7 que más se utiliza entre los SIs sanitarios [15].

Dentro de los formatos de archivo que utilizan los mensajes HL7 V2 están la extensión *.hl7* propietaria de HL7 [26], pero también puede utilizar el formato con extensión *.txt*.

Dentro de los tipos de mensajes que maneja HL7 V2 se ha seleccionado el tipo *Transmisión no solicitada de un mensaje de observación*, cuyas siglas en ingles son *ORU (Unsolicited transmission of an observation message / Observational report _Unsolicited)*², esto debido a que el tipo de mensaje *ORU* es utilizado para transmitir resultados de

y openEHR, sin embargo en algunas sub-secciones se consideró necesario poner el enlace completo a la ubicación exacta a través de superíndices, por tratarse de un portal web y para aportar información complementaria al presente trabajo de investigación.

²https://www.hl7.org/special/committees/vocab/v26_appendix_a.pdf

laboratorio a otros SIs ³.

A continuación, se presenta un fragmento de un mensaje HL7 V2, con el objetivo de identificar como es manejada la lectura del signo vital de presión arterial, el cual maneja como unidad de medida el milímetro de mercurio (mmHg).

Donde la lectura de la presión arterial sistólica (medición 1) se presenta en las líneas 3 y 4, quedando la lectura de la presión arteria diastólica (medición 2) en las líneas 5 y 6.

```
1 ...
2 OBR|1||VS12340000|28562-7^Vital Signs ^LN
3 OBX|1|NM|271649006^Systolic blood pressure ^SNOMED-CT||132|mm[Hg]|90-120|H|||F|
4 ||20100511
5 OBX|2|NM|271650006^Diastolic blood pressure ^SNOMED-CT||86|mm[Hg]|60-80|H|||F||
6 20100511
7 ...
```

En las líneas 3 y 4, así como en las 5 y 6 se puede ver el siguiente comportamiento de la estructura del estándar HL7 V2:

1. ...
2. Definición de tipo de terminología y/o codificación medica utilizada.
3. Declaración del tipo de lectura (Lectura de presión arterial sistólica o diastólica) y valor.
4. Unidad de medida de la lectura.
5. Fecha con o sin hora de la toma de la lectura.
6. ...

HL7 Versión 3

El estándar HL7 V3 se publicó en el año 2004, con el objetivo de trabajar con mensajes y documentos electrónicos, tipos de datos, así como con terminologías clínicas [26]. HL7 V3 se basa en su modelo propietario, el modelo de información de referencia el cual define tipos de datos detallados, clases, diagramas de estado, modelos de casos de uso y terminología para poder derivar en modelos de información específicos de dominio, con el fin de resolver problemas de interoperabilidad semántica [4].

HL7 V3 utiliza para sus mensajes el formato del Lenguaje de Marcado Extensible, mejor conocido en el idioma inglés como *eXtensible Markup Language* (XML) para la

³http://docs.medisys.com.my/standard/hl7/v2/v2.7.1/V271_CH07_Observations.pdf

generación de documentos y de mensajes, pero también se puede basar en el formato de la notación de objetos basada en JavaScript, mejor conocido en el idioma inglés como *JavaScript Object Notation* (JSON) [26].

El tipo de mensaje seleccionado del estándar HL7 V3 es el tipo de mensaje de *evento de resultado*, denominado POLB_HD004000UV01 para la interacción *resultado completo*, denominado POLB_IN224202UV01 del dominio de laboratorio (HL7 V3 LAB, R1), esto debido a que se puede utilizar para comunicar las **observaciones** de laboratorio.

Siguiendo la estructura XML, a continuación, se presenta un fragmento de un mensaje HL7 V3 conteniendo la lectura de presión arterial.

Donde la lectura de la presión arterial sistólica (medición 1) se presenta entre las líneas 1 y 12, quedando la lectura de la presión arteria diastólica (medición 2) entre las líneas 13 y 24.

```
1 <hl7:component1 typeCode="COMP" contextControlCode="AP" contextConductionInd=  
2 "true">  
3 <hl7:sequenceNumber value="2"/>  
4 <hl7:observationEvent classCode="OBS" moodCode="EVN">  
5 <hl7:code code="271649006" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.5" codeSystemName=  
6 "SNOMED-CT" displayName="Systolic blood pressure"/>  
7 <hl7:statusCode code="complete"/>  
8 <hl7:effectiveTime value="20100511220525"/>  
9 <hl7:value xsi:type="hl7:PQ" value="132" unit="mm[Hg]"/>  
10 <hl7:interpretationCode code="H"/>  
11 </hl7:observationEvent>  
12 </hl7:component1>  
13 <hl7:component1 typeCode="COMP" contextControlCode="AP" contextConductionInd=  
14 "true">  
15 <hl7:sequenceNumber value="3"/>  
16 <hl7:observationEvent classCode="OBS" moodCode="EVN">  
17 <hl7:code code="271650006" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.5" codeSystemName=  
18 "SNOMED-CT" displayName="Diastolic blood pressure"/>  
19 <hl7:statusCode code="complete"/>  
20 <hl7:effectiveTime value="20100511220525"/>  
21 <hl7:value xsi:type="hl7:PQ" value="86" unit="mm[Hg]"/>  
22 <hl7:interpretationCode code="H"/>  
23 </hl7:observationEvent>  
24 </hl7:component1>
```

El comportamiento de la estructura del estándar HL7 V3 se da de la siguiente manera:

1. ...

2. Definición de tipo de terminología y/o codificación médica utilizada y declaración del tipo de lectura (Lectura de presión arterial sistólica o diastólica) en las líneas 5 y 6, así como en las líneas 17 y 18.
3. Fecha con o sin hora de la toma de la lectura en las líneas 8 y 20.
4. Valor de lectura y unidad de medida de la lectura en las líneas 9 y 21.
5. ...

HL7 FHIR

HL7 FHIR se publicó en el año 2015, y fue desarrollado con base a las características principales de HL7 V2 y HL7 V3. El estándar HL7 FHIR se basa en un modelo de estándares basados en arquetipos [43]. Por su parte, HL7 FHIR denomina como *recursos* a los mensajes y documentos que utiliza el estándar de mensajería HL7 V3.

Este estándar utiliza principalmente el formato XML, pero también puede seguir el formato JSON.

Dentro del resumen de los niveles que comprende HL7 FHIR este el nivel cuatro, que abarca el mantenimiento de registros e intercambio de datos para el proceso de cuidado de la salud, en donde dentro de la sección de *Diagnostico* esta la *observación*, informe, espécimen, estudio de imágenes, genómica ⁴, entre otros dominios.

Debido a que el dominio de *observación* incluye ⁵:

- Signos vitales como peso corporal, presión arterial y temperatura.
- Datos de laboratorio como la glucosa en sangre.
- Resultados de imágenes como densidad ósea o mediciones fetales.
- Mediciones de dispositivos como datos de electrocardiograma o datos de oximetría.

Fue seleccionada la *observación* como el dominio de HL7 FHIR.

Al igual que el estándar de interoperabilidad anterior que sigue la estructura XML, se presenta a continuación un mensaje HL7 FHIR, el cual contiene la lectura de presión arterial con su respectiva unidad de medida.

Donde la lectura de la presión arterial sistólica (medición 1) se presenta entre las líneas 1 y 23, quedando la lectura de la presión arteria diastólica (medición 2) entre las

⁴<http://hl7.org/fhir/index.html>

⁵<https://www.hl7.org/fhir/observation-definitions.html#Observation>

líneas 24 y 36.

```
1 <component>
2 <code>
3 <coding>
4 <system value="http://loinc.org" />
5 <code value="8480-6" />
6 <display value="Systolic blood pressure" />
7 </coding>
8 <coding>
9 <system value="http://snomed.info/sct" />
10 <code value="271649006" />
11 <display value="Systolic blood pressure" />
12 </coding>
13 <coding>
14 <system value="http://acme.org/devices/clinical-codes" />
15 <code value="bp-s" />
16 <display value="Systolic Blood pressure" />
17 </coding>
18 </code>
19 <valueQuantity>
20 <value value="107" />
21 <unit value="mm[Hg]" />
22 </valueQuantity>
23 </component>
24 <component>
25 <code>
26 <coding>
27 <system value="http://loinc.org" />
28 <code value="8462-4" />
29 <display value="Diastolic blood pressure" />
30 </coding>
31 </code>
32 <valueQuantity>
33 <value value="60" />
34 <unit value="mm[Hg]" />
35 </valueQuantity>
36 </component>
```

Siguiendo con la descripción, el comportamiento de la estructura del estándar HL7 FHIR se da de la siguiente manera:

1. ...
2. Definición de tipo de terminología y/o codificación medica utilizada en las líneas 4, 5, 9, 10 y 27, 28.

3. Declaración del tipo de lectura (Lectura de presión arterial sistólica o diastólica) en las líneas 6, 11, 16 y 29.
4. Fecha con o sin hora de la toma de la lectura en línea 10.
5. Valor de lectura en las líneas 20 y 33.
6. Unidad de medida de la lectura en las líneas 21 y 34.
7. ...

3.6.2. openEHR

La fundación openEHR publica sus especificaciones basadas en la notación de lenguaje unificado de modelado, mejor conocido en el idioma inglés como *Unified Modeling Language* (UML).

Las diferentes *versiones* de openEHR utilizan las denominadas *composiciones* (registros clínicos), denominadas a partir de ahora en el presente trabajo como mensajes. El objetivo de las composiciones es lograr el intercambio de datos clínicos e interoperabilidad entre SIs [23, 15]. Los mensajes se basan en un modelo de referencia, un modelo de servicios y en un modelo de arquetipos, los cuales consisten en arquetipos y plantillas propias del estándar [23].

openEHR al igual que los estándares de interoperabilidad de la familia HL7 V3 y HL7 FHIR, puede utilizar el formato XML o JSON en sus mensajes.

Siendo uno de los principales objetivos de los mensajes openEHR el registrar los datos del evento de atención médica, a través de la denominada OBSERVACIÓN (dentro de openEHR), por medio del registro de la observación de cualquier fenómeno o estado de interés relacionado con el paciente, incluidos los resultados de la patología, las lecturas de la presión arterial, los antecedentes familiares y las circunstancias sociales comunicadas por el paciente al médico ⁶, el evento de *observación* ha sido seleccionado de lado el openEHR.

El siguiente fragmento de mensaje openEHR contiene, al igual que los ejemplos de mensajes de los estándares de interoperabilidad anteriores, la presión arterial de un paciente, todo con el objetivo de mostrar un mismo parámetro representado por los estándares de la familia HL7 V2, V3 y FHIR, así como por parte de openEHR.

Donde la lectura de la presión arterial sistólica (medición 1) se presenta entre las líneas 5 y 13, quedando la lectura de la presión arteria diastólica (medición 2) entre las

⁶<http://www.openehr.org/releases/RM/latest/docs/ehr/ehr.html>

líneas 14 y 22.

```
1 <data archetype_node_id="at0003" xsi:type="ITEM_TREE">
2 <name>
3 <value>Tree</value>
4 </name>
5 <items archetype_node_id="at0004" xsi:type="ELEMENT">
6 <name>
7 <value>Sistólica</value>
8 </name>
9 <value xsi:type="DV_QUANTITY">
10 <magnitude>114</magnitude>
11 <units>mm[Hg]</units>
12 </value>
13 </items>
14 <items archetype_node_id="at0005" xsi:type="ELEMENT">
15 <name>
16 <value>Diastólica</value>
17 </name>
18 <value xsi:type="DV_QUANTITY">
19 <magnitude>64</magnitude>
20 <units>mm[Hg]</units>
21 </value>
22 </items>
```

Dentro de la estructura de este estándar la declaración (Lectura de presión arterial sistólica o diastólica) y definición del tipo de terminología y/o codificación médica utilizada, así como la fecha con o sin hora de la toma de la lectura se definen en nodos previos del cuerpo del documento XML, quedando el comportamiento de la estructura del este estándar de la siguiente manera:

1. ...
2. Valor de lectura en las líneas 10 y 19.
3. Unidad de medida de la lectura en las líneas 11 y 20.
4. ...

3.7. Terminologías y codificaciones médicas

Para lograr entender los datos intercambiados entre sistemas ECE de la misma manera no basta con utilizar estándares de interoperabilidad, sino que también es necesario

utilizar herramientas semánticas tales como terminologías y codificaciones médicas.

De lado de la familia HL7 las herramientas semánticas más utilizadas son SNOMED-CT y LOINC [42, 26].

3.7.1. Nomenclatura sistematizada de medicina - términos clínicos

La Nomenclatura Sistematizada de Medicina-Términos Clínicos (SNOMED-CT), es la terminología de salud clínica más completa [16], la cual es propiedad de la Organización Internacional de Desarrollo de Normas de Terminología de Salud IHTSDO [9]. La terminología SNOMED-CT maneja una amplia gama de dominios biomédicos que permiten una integración adecuada con el sistema ECE [44].

3.7.2. Identificadores de observación lógica nombres y códigos

Identificadores de Observación Lógica nombres y Códigos (LOINC) fue lanzado en 1994 por el investigador *Clem McDonald del Regenstrief Institute*. LOINC es un lenguaje común para las observaciones clínicas y de laboratorio que permite el intercambio de resultados clínicos, gestión de resultados e investigación [17].

3.8. Problemática en torno al uso de los estándares de interoperabilidad

Dentro de las propuestas que presentan cada uno de los estándares de interoperabilidad, se encuentra la de coleccionar sistemáticamente la información de salud electrónica de los pacientes en un ECE, para lo cual, cada estándar de interoperabilidad propone estructurar el ECE de cada paciente, acorde a sus propios modelos de información de referencia. Por lo tanto, la granularidad y explicitud semántica de esas estructuras difieren de un estándar a otro, provocando que la heterogeneidad se siga manteniendo.

Por otro lado, los estándares de interoperabilidad no especifican cómo debe ser la interacción entre dos o más sistemas ECE, debido a que, generalmente, el proceso de la interoperabilidad se lleva a cabo por una comunicación punto a punto entre los sistemas. Por tanto, en el proceso de interacción o, mejor dicho, en el proceso de interoperabilidad que se da entre sistemas ECE que utilicen diferentes estándares de interoperabilidad, causará que los datos que se compartan entre los diferentes sistemas ECE sigan diferente estructura de datos, provocando que los datos sean entendidos de diferente manera, con lo que se alejan cada vez más de lograr la interoperabilidad semántica entre sistemas ECE.

Capítulo 4

Propuesta: Modelo de interoperabilidad semántica para SIHs

Cumpliendo con el *objetivo específico 1.4.2* se determinaron los elementos que son necesarios para la interacción entre Sistemas de Información Hospitalarios y el *objetivo específico 1.4.3* se diseñó y describió la propuesta del modelo de interoperabilidad semántica para Sistemas de Información Hospitalarios, el cual tienen como objetivo proveer conciencia al *SIH - destino* de la herramienta de interoperabilidad que está utilizando el *SIH - fuente*.

4.1. Pasos previos para el desarrollo de la propuesta

Los pasos previos para el desarrollo de la propuesta se dividieron en tres etapas, para lo cual fue necesario analizar los elementos que siguen las estructuras de los estándares de interoperabilidad seleccionados, es decir, aquellos que caracterizan más a cada uno de ellos y en específico elementos que más se repiten, para seguir una secuencia en común dentro de los cuatro estándares seleccionados.

El primer elemento es el **encabezado**, donde regularmente se define el nombre de la estructura del estándar de interoperabilidad que sigue el mensaje. El **tipo de información** es el segundo elemento, el cual define que tipo de variable que el mensaje maneja, en este caso variables fisiológicas, el tercer elemento es el **identificador del paciente**, el cual sirve tanto a los SIHs como a médicos acerca de la o las variables fisiológicas que se están compartiendo de determinado paciente. El cuarto elemento es la **fecha y hora** de la toma de la lectura de la variable fisiológica, la cual sirve al médico para saber con exactitud acerca de la fecha en la que al paciente se le tomó la lectura, así como la hora, tomando en cuenta que se necesita comparar la última lectura con la lectura que el médico tratante realice en el momento de la consulta. El quinto y sexto elemento corres-

ponden al valor de la lectura de la **variable** fisiológica y a la **unidad** de lectura de esta.

A continuación, se define como se distribuyeron las tres etapas:

- El primer paso para desarrollar la presente propuesta de modelo de interoperabilidad semántica, fue definir qué tipo de información clínica debían intercambiar los SIHs, para lo cual se seleccionaron variables fisiológicas correspondientes a los signos vitales de pacientes contenidos en los ECEs.
- El segundo paso fue analizar qué elementos eran necesarios contemplar para realizar la *clasificación* de un mensaje (medio utilizado para el intercambio de variables fisiológicas), acorde a la estructura que siga de alguno de los siguientes estándares de interoperabilidad: HL7 V2, V3 FHIR u openEHR.
- El tercer paso fue, seleccionar los elementos para realizar la *validación* de la sintaxis y semántica de los mensajes intercambiados del *SIH - fuente* hacia el *SIH - destino*, acorde a la estructura del estándar de interoperabilidad que sigue, así como de la terminología/codificación médica de SNOMED-CT y/o LOINC que utilicen.

4.1.1. Clasificación y validación

Como parte del desarrollo de la propuesta del modelo de interoperabilidad semántica, se definieron seis elementos principales como base para la clasificación de mensajes, y para la validación sintáctica y semántica de los mismos, al considerar que estos elementos son los mínimos necesarios para poder obtener de manera inequívoca la o las lecturas de variables fisiológicas contenidas en los mensajes, una vez que cada uno de ellos haya pasado los filtros de clasificación y validación.

Seis elementos para clasificar y validar

Los seis elementos seleccionados para realizar la clasificación y validación son: el *encabezado* del mensaje en donde acorde al formato que siga (ya sea extensión .txt o .xml), así como a los atributos que maneje, se podrá clasificar como HL7 V2, V3, FHIR u openEHR.

El segundo elemento es el tipo de información a intercambiar, tal como se describió en el capítulo 2, constara de mensajes del dominio de laboratorio, resultados y observaciones, conteniendo la lectura de una o más variables fisiológicas correspondiente a signos vitales, es decir, los tipos de información: ORU, POLB_IN224202UV01, observación o versión, correspondiente a los estándares de interoperabilidad HL7 V2, V3, FHIR u openEHR de manera respectiva, al cual se le refiere como *tipo de información*.

ELEMENTOS	HL7 V2	HL7 V3	HL7 FHIR	openEHR
ENCABEZADO	MSH (TXT)	hl7...v3 (XML)	hl7...fhir (XML)	openEHR...v1 (XML)
TIPO DE INFORMACIÓN	ORU	Abrir y cerrar etiqueta de: POLB_IN224202UV01	Abrir y cerrar etiqueta de: Observation	Abrir y cerrar etiqueta de: version
IDENTIFICACIÓN DEL PACIENTE	ALFANUMERICO	ALFANUMERICO	ALFANUMERICO	ALFANUMERICO
FECHA Y HORA	AAAAMMDDHHMMSS	AAAAMMDDHHMMSS	AAAAMMDDHHMMSS	AAAAMMDDHHMMSS
VARIABLE/LECTURA DIASTÓLICA	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
VARIABLE/LECTURA SISTÓLICA	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
UNIDAD DE DIASTÓLICA	mm[Hg]	mm[Hg]	mm[Hg]	mm[Hg]
UNIDAD DE SISTÓLICA	mm[Hg]	mm[Hg]	mm[Hg]	mm[Hg]

Figura 4.1: Seis elementos para la clasificación y validación

El tercer elemento corresponde al número de *identificación del paciente*, donde el número lo asigna la institución clínica a la que pertenezca del paciente.

El siguiente elemento es la *fecha y hora* de la toma de la muestra de la lectura de la variable fisiológica.

Teniendo como quinto y sexto elemento la lectura de la *variable* fisiológica y la *unidad* que maneja.

Para visualizar estos seis elementos se plasmó en la Figura 4.1 un ejemplo que gira en torno a la variable fisiológica correspondiente a la presión arterial, la cual es una sola variable, que se compone de dos elementos, es decir presión arterial sistólica y presión arterial diastólica.

4.1.2. Clasificación de mensajes

Para clasificar un mensaje, los elementos a considerar son el tipo de formato que siga el mensaje, ya sea que el archivo es extensión .txt o .xml, es decir:

- En el caso específico de un mensaje HL7 V2, el formato a verificar será extensión .txt. Otro de los elementos a considerar para la clasificación de un mensaje son el conjunto de atributos del *encabezado* del mensaje, cuyo definición en inglés

es: *Message Header* (MSH) el cual será descrito en la sub-sección de validación, tomando en cuenta también el *tipo de información* que maneje el mensaje.

- Para los casos de los estándares de interoperabilidad HL7 V3, FHIR o de openEHR, los elementos a verificar, serán el tipo de formato con extensión .xml, atributos del *encabezado* donde en la mayoría de los casos se especifica si se trata de un estándar en específico, así como del *tipo de información* que maneja el mensaje.

En resumen, un mensaje podrá ser clasificado correctamente si cumple con los elementos anteriormente descritos, los cuales son considerados como los mínimos necesarios para definir si pertenecen o no a determinado estándar de interoperabilidad, en caso contrario serán catalogados como no clasificado.

Resultados en una clasificación

En la Figura 4.2 se presenta un ejemplo de los resultados de la clasificación de mensajes que contienen la lectura de presión arterial (sistólica/diastólica), donde dentro de los posibles resultados en la clasificación se dan los siguientes casos, dado un mensaje que tenga la extensión .txt o .xml este pueda ser clasificado o no clasificado, esto dependiendo si cumple con los elementos correspondientes a la estructura del estándar de interoperabilidad que siga.

Si el mensaje es catalogado como clasificado acorde al estándar de interoperabilidad HL7 V2, V3, FHIR u openEHR, existen dos opciones, que el mensaje contenga el *tipo de información* correspondiente a signos vitales o que se trate de otro tipo de variables.

Si el mensaje es del *tipo de información* correspondiente signos vitales, hay a su vez otras dos opciones, que se trate del signo vital de presión arterial, o que se trate de otro tipo de signo vital.

Si el mensaje pudo ser clasificado acorde a alguno de los estándares de interoperabilidad seleccionados, maneja el tipo de información relacionada con signos vitales y el signo vital corresponde a presión arterial, entonces los elementos de clasificación han sido usados de manera correcta previo a iniciar la validación sintáctica y semántica del mensaje.

Por otro lado, si el signo vital principal fuera diferente al de presión arterial, el resultado de la clasificación se tendría que adaptar a este parámetro en específico, sustituyendo en el resultado al nodo-hijo *Signo vital presión arterial* del árbol que se presenta en la Figura 4.2.



Figura 4.2: Proceso de clasificación

4.1.3. Validación sintáctica y semántica

Para lograr la validación de un mensaje, es necesario validar sintácticamente la estructura de un mensaje primero, para posteriormente validar su semántica [40], para lo cual fue necesario seleccionar elementos muy específicos de cada uno de los estándares de interoperabilidad, los cuales se muestran a continuación en forma de tablas. Donde las Tablas 4.2, 4.3 y 4.4 corresponden a HL7 V2, las Tablas 4.5 y 4.6 a HL7 V3, las Tablas 4.7 y 4.8 a HL7 FHIR y finalmente las Tablas 4.9, 4.10 y 4.11 a openEHR.

Definición de tabla de análisis sintáctico

A continuación, se presentan un conjunto de tablas correspondientes a los estándares de interoperabilidad seleccionados. Las tablas contienen los elementos de validación: *tipo de información*, *identificación del paciente*, *fecha y hora* de la toma de la muestras, así como la lectura de la *variable* fisiológica y las *unidades* correspondientes, tal y como los maneja cada uno de los estándares de interoperabilidad.

Las primeras tablas presentan elementos correspondientes al estándar de interoperabilidad HL7 V2, cuyos elementos fueron tomados del portal [26], pero para poder mostrar de manera más específica la ubicación de donde fueron tomadas, se incluirá en forma de subíndices la ubicación específica de las diferentes tablas en el sitio web.

Tablas de elementos de HL7 V2

De la referencia ¹ se tomaron los primeros nueve elementos del encabezado **MSH**, dando como resultado la Tabla 4.2, para poder obtener el *tipo de información* que maneja el mensaje, donde el segmento *MSH-9* especificara si se trata o no de un mensaje de resultado de observación, en este caso un ORU.

Previo a presentar las tablas, se presentan las abreviaturas que se utilizaron junto al significado de estas en la Tabla 4.1.

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
SEQ	SECUENCIA
LEN	LONGITUD
DT	TIPO DE DATO
ST	Cadena
HD	Designador jerárquico
TS	Marca de tiempo
CM	Compuesto
SI	ID de secuencia
CX	Compuesto Extendido
ID	Identificador
CWE	Codificado con excepciones
NM	Numérico
DTM	Fecha y hora
OPT	OPCIONAL
R	Requerido
O	Opcional
RE	Requerido, pero puede estar vacío.
X	No soportado
C	Condicional
RP	Elementos repetidos
Y	Ya sea que se repita
TBL	TABLA DE REFERENCIA
ITEM	NÚMERO DE ELEMENTO
C.LEN	Longitud de conformidad

Tabla 4.1: HL7 V2 (Resumen de abreviaturas)

De la referencia ² se presentan los elementos del *Identificador del paciente* **PID**, de donde se tomaron los primeros cuatro elementos, los cuales se reflejan en la Tabla 4.3, para poder obtener el *Identificador del paciente* se cuenta con el segmento *PID-2* y en caso de no aparecer, está el *PID-4*.

¹https://www.hl7.org/documentcenter/public_temp_8024B812-1C23-BA17-0C115F0F868420B2/wg/conf/HL7MSH.htm

²https://www.hl7.org/documentcenter/.../HL7_Profile_V2r2_final.doc

SEQ	LEN	DT	OPT	RP	TBL	ITEM	NOMBRE DEL ELEMENTO
1	1	ST	R			00001	Separador de campo
2	4	ST	R			00002	Codificación de caracteres
3	180	HD	0			00003	Solicitud de envío
4	180	HD	0			00004	Facilidad de envío
5	180	HD	0			00005	Solicitud de recepción
6	180	HD	0			00006	Recepción de Facilidad
7	26	TS	0			00007	Fecha / Hora del mensaje
8	40	ST	0			00008	Seguridad
9	7	CM	R			00009	Tipo de mensaje

Tabla 4.2: HL7 V2

SEQ	LEN	DT	OPT	RP	TBL	ITEM	NOMBRE DEL ELEMENTO
1	4	SI	X			00104	Establecer ID - PID
2	20	CX	RE			00105	ID del paciente
3	20	CX	R	Y		00106	Lista de identificación del paciente
4	20	CX	X	Y		00107	ID de paciente alternativo - PID

Tabla 4.3: HL7 V2 (continuación parte uno)

De la referencia ³ se presenta la versión HL7 2.7.1 de donde se tomaron los primeros catorce elementos de la *Observación OBX*, obteniendo la Tabla 4.4.

Donde para obtener:

- La fecha y hora de la toma de la lectura (observación), se tomó el segmento *OBX-14*.
- La lectura de la variable contenida en el mensaje se tomó *OBX-5*.
- La unidad que maneja la lectura se tomó de *OBX-6*.

Que para el caso de presión arterial estos últimos elementos del **OBX** aparece en un renglón la presión arterial sistólica y en otro la presión arterial diastólica .

Tablas de elementos de HL7 V3

Los elementos de la Tabla 4.5 y su continuación la Tabla 4.6, se obtuvieron del documento de Excel POLB_HD004000UV.xls que es resultado del refinamiento del tipo de mensaje evento de resultado obtenido, de los dominios de HL7 V3 edición 2014 del portal [26], en la tabla se despliega uno a uno los elementos que se debe contemplar para lograr la validación de los mensajes.

³http://docs.medisys.com.my/standard/hl7/v2/v2.7.1/V271_CH07_Observations.pdf

SEQ	LEN	C.LEN	DT	OPT	RP	TBL	ITEM	ELEMENT NAME
1	1..4		SI	0			00569	Establecer ID - OBX
2	2..3		ID	C		0125	00570	Tipo de valor
3			CWE	R		9999	00571	Identificador de observación
4		20=	ST	C			00572	Sub-ID de observación
5			varies	C	Y		00573	Valor de observación
6			CWE	0		9999	00574	Unidades
7		60=	ST	0			00575	Rango de referencias
8			CWE	0	Y		00576	Códigos de interpretación
9		5	NM	0			00577	Probabilidad
10	1..2		ID	0	Y	0080	00578	Naturaleza de la prueba anormal
11	1..1		ID	R		0085	00579	Estado del resultado de la observación
12			DTM	0			00580	Fecha de vigencia del rango de referencia
13		20=	ST	0			00581	Verificaciones de acceso definidas por el usuario
14			DTM	0			00582	Fecha / Hora de la Observación

Tabla 4.4: HL7 V2 (continuación parte dos)

Tablas de elementos de HL7 FHIR

Las siguientes Tablas 4.7 y 4.8 se obtuvieron del portal [26] en la sección FHIR de las referencias ^{4 5 6 7 8 9 10}, donde se pueden apreciar los elementos de validación desde *tipo de información*, hasta las *unidades* que maneja la lectura de la variable fisiológica, para lograr validar si los mensajes siguen la estructura del estándar.

⁴<https://www.hl7.org/fhir/observation-definitions.html#Observation>

⁵<http://hl7.org/fhir/vitalsigns-definitions.html>

⁶<https://www.hl7.org/fhir/datatypes.html#Identifier>

⁷<http://hl7.org/fhir/codesystem-observation-category.html#4.2.12.393.2>

⁸<https://www.hl7.org/fhir/datatypes.html#Coding>

⁹<http://hl7.org/fhir/2016sep/references-definitions.html#Reference.display>

¹⁰<https://www.hl7.org/fhir/body-site-definitions.html#BodySite.code>

Tablas de elementos de openEHR

Las tablas 4.9, 4.10 y 4.11 de openEHR se basaron en sus modelos de referencia y de arquetipos ^{11 12 13 14 15 16}, los cuales se encuentran en el portal [23], así como elementos que fueron tomados del autor, el Ing. Pablo Pazos de su aportación en el portal ¹⁷, con lo cual, siguiendo estas tablas se podrá validar los mensajes que sigan la estructura de este estándar de interoperabilidad.

Análisis semántico

Como parte del análisis semántico es necesario verificar que los valores de los campos de los atributos correspondientes a las tablas de los estándares de interoperabilidad estén escritos correctamente, con el objetivo de que los SHs estén hablando el mismo idioma de manera semántica. Otro de los requisitos es, que los códigos de las terminologías y codificaciones correspondan a la o las variables fisiológicas a intercambiar entre SHs, así como que las unidades que manejen dichas variables correspondan a la lectura, como en el siguiente ejemplo que corresponde a la presión arterial.

Donde el código SNOMED (cuyas siglas pueden aparecer como SMI o SCT):

- 271649006 corresponde a: presión arterial sistólica.
- 271650006 corresponde a: presión arterial diastólica.

Donde el código LOINC (cuya sigla puede aparecer como LN):

- 28562-7 corresponde a: signos vitales.
- 29274-8 corresponde a: signos vitales.
- 8479-8 corresponde a: presión arterial sistólica.
- 8462-4 corresponde a: presión arterial diastólica.
- 8357-6 corresponde a: presión arterial sistólica.
- 35094-2 corresponde a: presión arterial diastólica.

¹¹<http://www.openehr.org/releases/RM/latest/docs/ehr/ehr.html>

¹²http://www.openehr.org/releases/1.0.2/architecture/rm/common_im.pdf

¹³<http://www.openehr.org/releases/AM/latest/docs/Identification/Identification.html>

¹⁴http://www.openehr.org/releases/BASE/Release-1.0.3/docs/architecture_overview/architecture_overview.html#_data_structures_information_model

¹⁵http://www.openehr.org/releases/RM/latest/docs/data_structures/data_structures.html#_item_tree

¹⁶http://www.openehr.org/releases/RM/latest/docs/data_types/data_types.html#_dv_date_time_class

¹⁷https://github.com/ppazos/openEHR-OPT/blob/master/resources/terminology/openehr_terminology_es.xml

Finalmente es necesario tomar como referencia la tabla de rangos que maneja la lectura de la variable fisiológica, para verificar si la lectura se sale, o no corresponde a un rango en específico y poder así validar y desplegar si una lectura corresponde o no a un rango normal, alto o bajo. En el caso de que la lectura no corresponda a un rango específico es necesario que el SIH notifique esto, ya que entonces los datos no se están entendiendo de la misma manera.

Un ejemplo de tabla de referencias de rangos, es la tabla de la Asociación Americana del Corazón, cuyo significado en inglés es *American Heart Association* (AHA) correspondiente al año 2017 [45], donde se manejan los rangos de presión arterial como normal, cuando la presión arterial sistólica es menor a 120 mm Hg, y cuando la presión arterial diastólica es menor a 80 mm Hg. Por otro lado, maneja el rango de presión arterial elevada, cuando la presión sistólica se encuentra en el rango de 120-129 mm Hg, y cuando la presión arterial diastólica se encuentra menor a 80 mm Hg.

4.1.4. Nivel de complejidad de interpretación de un mensaje

Para determinar los niveles de complejidad en la interpretación de un mensaje se decidió que, dependiendo del formato del mensaje, ya sea .txt o .xml, el nivel de complejidad de interpretación será *bajo*, como se puede ver en la Figura 4.3, cuando se cuente con los siguientes elementos:

- La clasificación del mensaje.
- La lectura de la variable fisiológica.
- Las unidades de la lectura de la variable fisiológica.
- La fecha y hora de la toma de la muestra (variable fisiológica).
- La identificación del paciente.

Ya que son contemplados los seis elementos tanto para la clasificación de un mensaje, como para la validación del mismo, con lo cual nos aseguramos que vamos a obtener la o las lecturas de las variables fisiológicas intercambiadas entre SIHs.

Por otro lado, el nivel complejidad de interpretación del mensaje será *medio* cuando se cuente solo con:

- La clasificación del mensaje.
- La lectura de la variable fisiológica.
- Las unidades de la lectura de la variable fisiológica.
- La fecha y hora de la toma de la muestra (variable fisiológica).

En el nivel *medio* se considera que si se ha establecido comunicación entre SIHs de manera exitosa, bien pueden tomarse esta interpretación como válida por parte del médico de lado del *SIH - destino* esto debido a que al entablarse la comunicación entre SIHs se realizó una petición en la cual se contaba con el identificador del paciente en la solicitud, motivo por el cual, en el caso de que el mensaje como respuesta a la petición no contenga este elemento, bien puede tomarse como válido, por lo ya expuesto.

Caso contrario en los dos últimos niveles de complejidad donde quedara a criterio tanto de las instituciones clínicas como médicos el tomar como válidas las lecturas de variables siguientes, donde el nivel complejidad de interpretación del mensaje será *medio-alto* cuando cuente solo con:

- La clasificación del mensaje.
- La lectura de la variable fisiológica.
- Las unidades de la lectura de la variable fisiológica.

Y finalmente el nivel complejidad de interpretación del mensaje será *alto* al contar únicamente con:

- La clasificación del mensaje.
- La lectura de la variable fisiológica.

4.2. Descripción del modelo de interoperabilidad semántica para SIH

A partir de la descripción de los elementos de clasificación y validación y de sus tablas, se obtuvo la propuesta del modelo de interoperabilidad semántica para SIH que se puede apreciar en la Figura 4.4. Donde el método de establecimiento de comunicación y seguridad entre SIHs queda fuera del alcance de la propuesta del modelo de interoperabilidad semántica, así como queda fuera del alcance el método de extracción de la o las lecturas de variables fisiológicas de la Base de datos del *SIH - fuente*, así como la creación (empaquetamiento de la lectura de variable fisiológica) de un mensaje que siga algún estándar de interoperabilidad por parte del *SIH - fuente*.

A continuación, la descripción de la propuesta. El modelo de interoperabilidad semántica consiste en:

- Establecer comunicación entre el *SIH - destino* y el *SIH - fuente*.
- Realizar la solicitud de la lectura de variable fisiológica por parte del *SIH - destino* al *SIH - fuente*, enviando el *identificar del paciente* del cual se solicita la muestra.

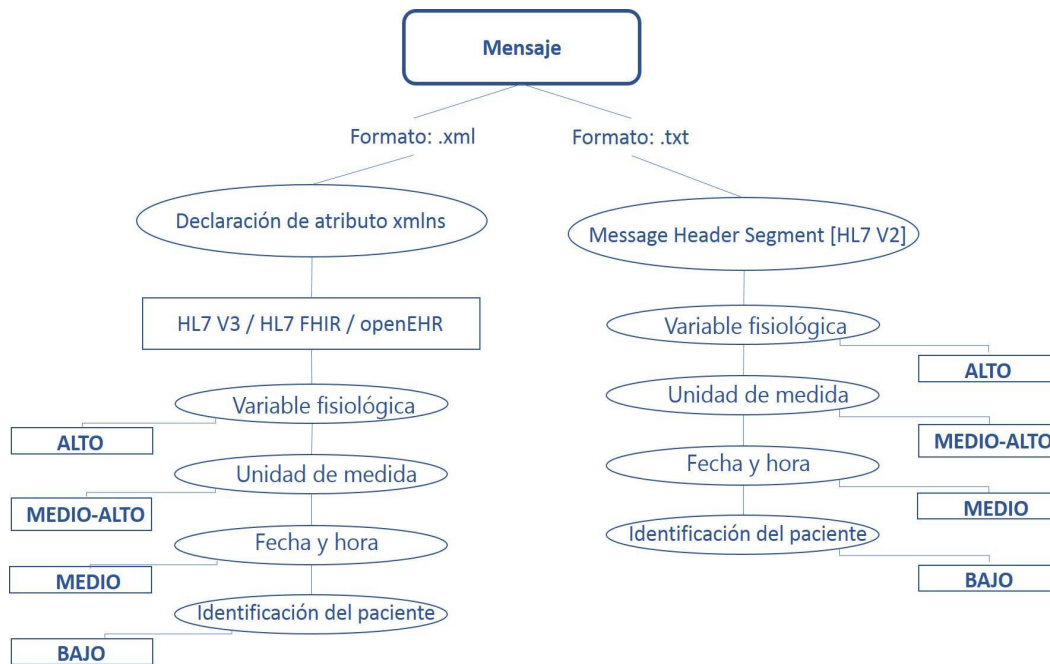


Figura 4.3: Niveles de complejidad de interpretación de un mensaje

- Por parte del *SIH - fuente*, se procederá a hacer uso de su método de extracción propietario, para obtener de su Base de datos la lectura de la variable fisiológica correspondiente al *identificar de paciente* solicitado, para posteriormente empaquetar el resultado dentro de un mensaje que siga la estructura de un estándar de interoperabilidad, para posteriormente ser enviado al *SIH - destino*.
- El *SIH - destino* recibirá el mensaje, el cual procederá a realizar una solicitud de clasificación del mismo.
- Al ser el mensaje clasificado de manera satisfactoria, el *SIH - destino* solicitará la validación sintáctica y semántica del mismo.
- Si la validación se realiza de manera exitosa, el *SIH - destino* solicitará se obtenga la lectura de la variable fisiológica, para posteriormente ser desplegada por parte del *SIH - destino*.

4.3. Metodología a seguir para validar la propuesta del modelo de interoperabilidad semántica

El uso de modelos ha servido para responder muchas interrogantes, sin embargo, haciendo uso de la computadora es posible trabajar desde modelos muy sencillos, hasta

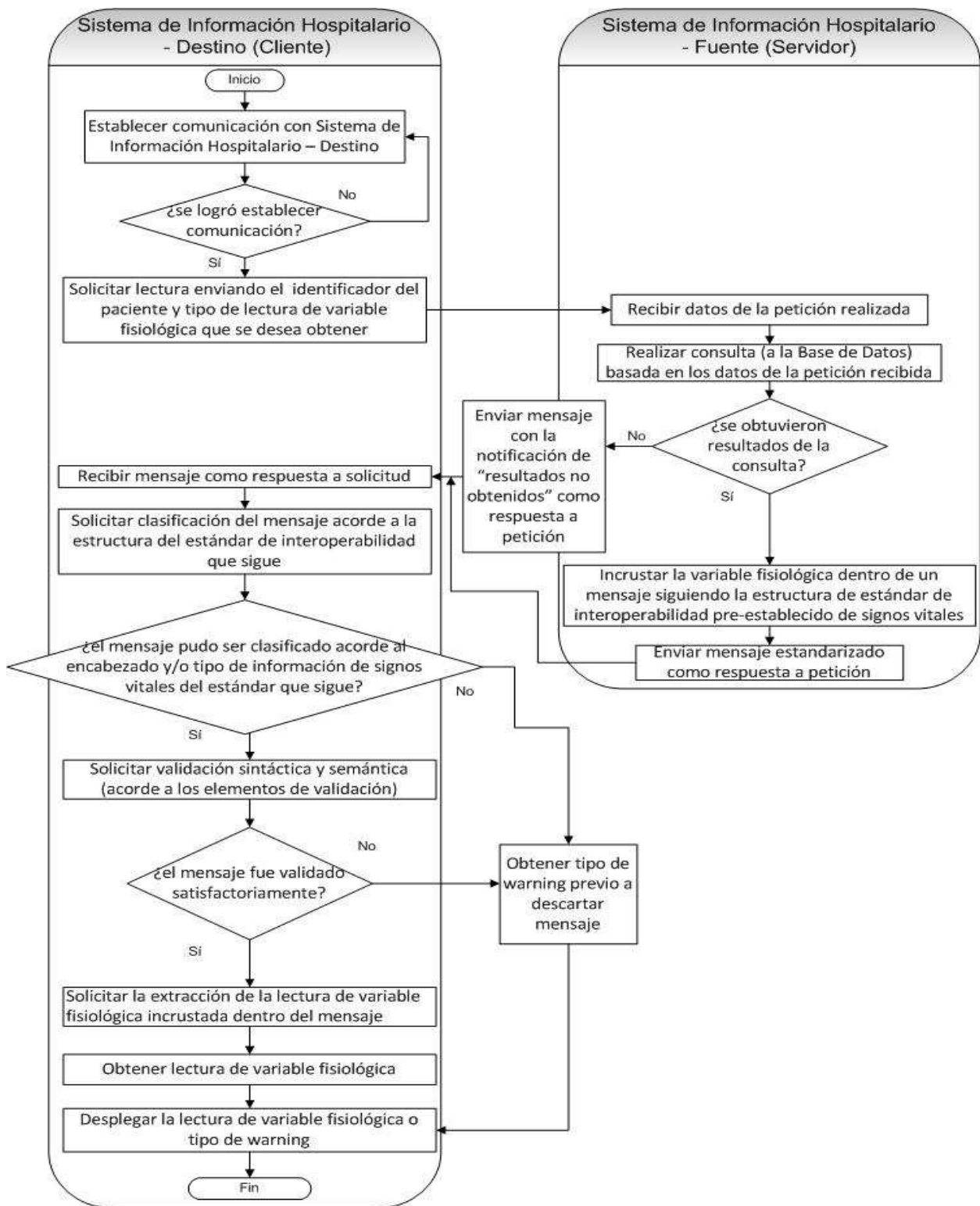


Figura 4.4: Modelo de interoperabilidad semántica

modelos complejos, generando así el campo de sistemas complejos, en [46] introducen este tema, así como el modelado basado en agentes para trabajar en este campo, dado que por definición los SIHs se definen como sistemas complejos, [8], se tomó la decisión de hacer el uso de agentes para el proceso de validación del modelo de interoperabilidad semántica, esto debido a que los agentes se pueden implementar computacionalmente a través de la simulación por computadora [33], donde de acuerdo a la definición presentada en [33] de los autores Dahl y Nygaard, la simulación *es una herramienta ampliamente utilizada para el análisis de una variedad de fenómenos: redes nerviosas, comunicación sistemas, flujo de tráfico, sistemas de producción, sistemas administrativos, sistemas sociales, entre otros.*

Rand William [46], describe una metodología que define el uso de agentes para la validación de una simulación, metodología que se decidió utilizar para realizar la simulación del modelo y previo a la validación del mismo, se decidió realizar los siguientes pasos:

- El diseño de un sistema multi-agente de mensajería, descrito en el capítulo 5.
- El diseño de la simulación, que se presenta en el capítulo 6.
- La implementación de la simulación, que se presenta en el capítulo 7.

CAMPO	DESCRIPCIÓN
POLB_IN224202UV01	Elemento raíz del mensaje
xsi:schemaLocation	URL del esquema HL7 que se va a emplear. Valor por defecto: "urn:h17-org:v3".
xmlns:xsi	URL de la definición de elementos de la estructura del esquema. Valor por defecto: "http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance".
ITSVersion	Versión de XML a emplear. Valor por defecto: "XML\1.0".
. controlActProcess	Set de datos del acto de control del mensaje
classCode	Código del subtipo de clase. Valor por defecto= "CACT".
moodCode	Código Mood del acto. Valor por defecto= "EVN".
. . code	Código del evento disparador
code	Valor del código. Valor por defecto= "POLB_TE004202UV01" Resultados completos (POLB-TE004202UV01).
codeSystem	Identificador OID del sistema de codificación. Valor por defecto="2.16.840.1.113883.1.18".
codeSystemName	Nombre del sistema de codificación. Valor por defecto="TriggerEventID".
displayName	Nombres de los códigos. Valor por defecto=Result Complete (Resultados completos).
. . subject	Objeto del acto de control (capa de contenido)
typeCode	Código del tipo de participación. Valor por defecto="SUBJ".
contextConductionInd	Indicador de control del contexto de la relación entre actos. Valor por defecto="false".
. . . observationBattery	El ObservationBattery representa un conjunto de observaciones. El ObservationBattery puede tener ObservationEvents como componentes. Un ObservationBattery puede heredar la muestra de un ObservationReport.
classCode	Código del subtipo de clase. Valor por defecto= "BATTERY".
moodCode	Código Mood del acto. Valor por defecto="EVN".
. . . . code	El atributo ObservationBattery.code se utiliza para categorizar el tipo de batería de observación asociados con esta clase.
code	Valor del código. Valor por defecto= "35094-2".
codeSystem	Identificador OID del sistema de codificación. Valor Internacional="2.16.840.1.113883.6.1".
codeSystemName	"Nombre del sistema de codificación. Valor Internacional="LOINC".
displayName	Nombres de los códigos. Valor Internacional= (ej:"Panel de presión sanguínea").
. . . . statusCode	Código de estado de la orden.
code	Valor del código. Valor por defecto="completo".
. . . . recordTarget	Set de datos del registro del paciente.
typeCode	Código del tipo de participación. Valor por defecto="RCT".
contextControlCode	Código de contexto de la participación. Valor por defecto="OP".
. patient	Rol de paciente
classCode	Código de la clase de rol. Valor por defecto="PAT".
. id	Identificación del rol de paciente
extension	Valor de la identificación del paciente. Valor por defecto= (ej.:ÍMSS.PAT0001").

Tabla 4.5: HL7 V3

. . . . Component1	Componente del mensaje que contiene información sobre actos médicos.
typeCode	Código del tipo de relación entre actos. Valor por defecto="COMP".
contextControlCode	Código de contexto de la participación. Valor por defecto="AP".
contextConductionInd	Indicador de control del contexto de la relación entre actos. Valor por defecto="true".
. observationEvent	El ObservationEvent representa un grupo relacionado de observaciones.
classCode	El classCode para ObservationEvent se ve obligado a "OBS".
moodCode	Código Mood del acto. Valor por defecto = "EVN".
. code	Código de la prueba diagnóstica de laboratorio solicitada.
code	Valor del código. Valor por defecto="8462-4".
codeSystem	Identificador OID del sistema de codificación. Valor Internacional="2.16.840.1.113883.6.1".
codeSystemName	Nombre del sistema de codificación. Valor Internacional="LOINC".
displayName	Nombres de los códigos. Valor por defecto= (ej.: "Sistólica intravascular").
. statusCode	Código de estado de la orden.
code	Valor del código. Valor por defecto="completo".
. effectiveTime	Fecha y hora de vigencia de la orden.
value	Valor de la fecha y hora. Formato: valor="AAAAMDDhhmmss".
. value	Conjuntos de valores de datos
xsi:type	Tipo de dato. Valor por defecto="hl7:PQ".
value	Cantidad de muestra. [ej.:Lectura de presión arterial].
unit	Unidades de la muestra. Valor por defecto=(ej."mm[HG]":milímetros de mercurio)].

Tabla 4.6: HL7 V3 (continuación)

CAMPO	DESCRIPCIÓN
. Observation	Elemento raíz del recurso (mensaje). Mediciones y afirmaciones simples sobre un paciente, dispositivo u otro tema.
xmlns:xsi	URL de la definición de elementos de la estructura del esquema. Valor por defecto: "http://hl7.org/fhir"
. . code	Un código que clasifica el tipo general de observación que se realiza.
. . . coding	Una codificación es una representación de un concepto definido que utiliza un símbolo de un "codesystem" definido.
. . . . system	La identificación del sistema de código que define el significado del símbolo en el código. Valor por defecto: "http://hl7.org/fhir/observation-category"
. . . . code	Un símbolo en sintaxis definido por el sistema. El símbolo puede ser un código predefinido o una expresión en una sintaxis definida por el sistema de codificación. Las observaciones clínicas miden las funciones básicas del cuerpo, como la presión arterial, la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria, la altura, el peso, el índice de masa corporal, la circunferencia de la cabeza, la oximetría de pulso, la temperatura y el área de la superficie corporal. Valor por defecto: "vital-signs"
. . . . display	Una representación del significado del código en el sistema, siguiendo las reglas del sistema. Valor por defecto: "vital-signs"
. . subject	El paciente o grupo de pacientes, ubicación o dispositivo cuyas características (directas o indirectas) se describen mediante la observación y en cuyo registro se coloca la observación. Comentarios: las características indirectas pueden ser las de una muestra, el feto, el donante, otro observador (por ejemplo, un pariente o EMT), o cualquier observación realizada sobre el tema.
. . . reference	Una referencia de un recurso a otro. Valor por defecto: ej.: "IMSS_PAT0001"
. . effectiveDateTime	El tiempo o período de tiempo se afirma que el valor observado es verdadero. Para sujetos biológicos, p. pacientes humanos: esto generalmente se llama "tiempo fisiológicamente relevante". Por lo general, este es el momento del procedimiento o de la recolección de muestras, pero muy a menudo no se conoce el origen de la fecha / hora, solo la fecha / hora misma. Formato: Valor= ".^AAAMMDDhhmmss".
. . Component	Se usa cuando se informa: ej.: "Sistólica intravascular"
. . . Code (LOINC)	Describe lo que se observó algunas veces esto se llama el "cdigo" de observación.
. . . . coding	Una codificación es una representación de un concepto definido que utiliza un símbolo de un "code system" definido.
. system	La identificación del sistema de código que define el significado del símbolo en el código. Valor por defecto: "http://loinc.org"
. code	Un símbolo en sintaxis definido por el sistema. El símbolo puede ser un código predefinido o una expresión en una sintaxis definida por el sistema de codificación. Valor por defecto: 8480-6
. display	Texto simple que identifica el recurso además de la referencia del recurso. Valor por defecto: ej.: "Presión arterial Sistólica intravascular"

Tabla 4.7: HL7 FHIR

. . . valueQuantity	Valor de signo vital registrado con el Sistema de Codificación de Unidades de Medida [Units of Measure Coding System (UCUM)].
. . . . value	El valor de la cantidad medida. El valor incluye una precisión implícita en la presentación del valor. Valor por defecto; valor correspondiente
. . . . unit	Unidad legible por humanos. (ej."mm[HG]" :milímetros de mercurio).

Tabla 4.8: HL7 FHIR (continuación)

CAMPO	DESCRIPCIÓN
version	Elemento raíz del mensaje
xsi:schemaLocation	URL del esquema openEHR que se va a emplear. Valor por defecto: http://schemas.openehr.org/v1
xmlns:xsi	URL de la definición de elementos de la estructura del esquema. Valor por defecto: "http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:type	Construcción XML que identifica el tipo de dato del elemento de una instancia. Valor por defecto: ".°RIGINA0L_VERSION"
. contribution	Los registros del conjunto de cambios para cada cambio realizado en el registro de salud; cada contribución hace referencia a un conjunto de una o más versiones de cualquiera de los elementos versionados en el registro que un usuario haya confirmado o atestiguado en un sistema EHR.
. . id	Número de identificación de la contribución.
xsi:type	Tipo de identificador de objeto, ya sea Composición o PARTY. Valor por defecto: "HIER_OBJECT_ID"
. . value	Valor correspondiente al identificador de la contribución. <value> [Numero-Identificador] </value>
. . namespace	Espacio utilizado para distinguir (separar) los identificadores. <namespace> EHR::COMMON </namespace>
. . type	Tipo de atributo. <type> CONTRIBUTION </type>
. uid	Identificador único relacionado con la versión (VERSIONED_OBJECT).
. . value	Valor (cadena) correspondiente al identificador único relacionado con la versión. <value> [Valor-Identificador] </value>
. data	Datos estructurados de una observación.
xmlns:xsi	URL de la definición de elementos de la estructura del esquema. Valor por defecto: "http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:type	Tipo de dato. Valor por defecto: "COMPOSICIN"
archetype_node_id	Código semántico estandarizado para un nodo identificador del arquetipo. Valor por defecto: "openEHR-EHR-COMPOSITION.signos.v1"
. . name	Nombre del nodo identificador del arquetipo.
. . . value	Valor correspondiente al nodo identificador del arquetipo. <value> Signos vitales </value>
. . uid	Identificador único relacionado con el nodo identificador del arquetipo.
xsi:type	Tipo de identificador de objeto, ya sea Composición o PARTY. Valor por defecto: "HIER_OBJECT_ID"
. . . value	Valor (cadena) correspondiente al identificador del nodo identificador del arquetipo. <value> [Valor-Identificador] </value>
. . archetype_details	Detalles de arquetipos utilizados en el nodo.
. . . archetype_id	Identificador único global de arquetipo.
. . . . value	Código semántico estandarizado para un identificador del arquetipo. <value> openEHR-EHR-COMPOSITION.signos.v1 </value>

Tabla 4.9: openEHR

. . . template_id	Identificador único global de plantilla.
. . . . value	Valor correspondiente al identificador de plantilla. <value> Signos </value>
. . . rm_version	Versión del modelo de referencia openEHR utilizado para crear este objeto. <rm_version> 1.0.2 </rm_version>
. . category	Indica a qué categoría general pertenece esta Composición.
. . . value	Valor correspondiente a la categoría de la Composición. Valores: event — persistent. <value> event </value>
. . . defining_code	Códigos de definición de tipo de cambio.
. . . . terminology_id	Identificador de terminologías legibles por el ser humano.
. value	Valor correspondiente a la terminología. <value> openehr </value>
. code	Código correspondiente al significado de la categoría de la Composición URL"event". <code_string> 433 </code_string>
. . context	Contexto de la sesión clínica de la Composición.
. . . start_time	Hora de inicio de la sesión clínica u otro tipo de evento durante el cual un proveedor realiza un servicio de cualquier tipo para el paciente.
. . . . value	Valor correspondiente a la hora de inicio de sesión. <value> [Hora-Inicio] </value>
. . content	Contenido de esta composición.
xsi:type	Tipo de dato. Valor por defecto: "OBSERVATION"
archetype_node_id	Código semántico estandarizado para un nodo identificador del arquetipo. Valor por defecto: (ej.: "openEHR-EHR-OBSERVATION.blood_pressure.v1")
. . . . encoding	Nombre del juego de caracteres en el que los valores de texto en esta Entrada están codificados.
. terminology_id	Identificador de terminologías legibles por el ser humano.
. value	Valor correspondiente al estándar de codificación Unicode para el manejo de texto. <value> Unicode </value>
. code_string	Código que corresponde al formato de codificación de caracteres del estándar Unicode. <code_string> UTF-8 </code_string>
. . . . subject	Identificación del sujeto humano (paciente).
xsi:type	Tipo de dato. Valor por defecto: "PARTY_SELF"
. external_ref	Referencia opcional a información demográfica o de identificación más detallada para esta parte, en un sistema externo o paciente.
. id	Número de identificación del sujeto en el sistema externo.
xsi:type	Tipo de identificador de objeto, ya sea Composición o PARTY. Valor por defecto: "HIER_OBJECT_ID"
. value	Valor correspondiente al identificador. URL<value> [ej.: "IMSS_PAT0001"] URL</value>
. namespace	Espacio utilizado para distinguir (separar) los identificadores. <namespace> DEMOGRAPHIC </namespace>
. type	Tipo de atributo. <type> PERSON </type>

Tabla 4.10: openEHR (continuación parte uno)

..... data	Datos estructurados del ITEM_TREE
xsi:type	Tipo de dato de árbol lógico. Valor por defecto: "ITEM_TREE"
archetype_node_id	Código de un nodo identificador del arquetipo generador, el cual inicia con las letras "at" seguido por el código que lo conforma, generando así un nombre estandarizado. Valor por defecto: "at0003"
..... name	Nombre del nodo identificador del arquetipo generador.
..... value	Valor correspondiente al nodo identificador del arquetipo generador. <value> ej.: "Presión arterial" </value>
..... items	Estructura de datos de árbol lógico.
xsi:type	Tipo de dato Valor por defecto: "ELEMENT"
archetype_node_id	Tipo de dato Valor por defecto: "at0004"
..... name	Nombre del nodo identificador del arquetipo generador.
..... value	Valor correspondiente al nodo identificador del arquetipo generador. <value> ej.: "Sistólica intravascular" </value>
..... value	Valor correspondiente a cantidades expresadas en magnitudes y unidades.
xsi:type	Tipo de dato correspondiente a cantidades expresadas en magnitudes y cantidades. Valor por defecto: "DV_QUANTITY"
..... magnitude	Magnitud numérica de la cantidad. <magnitude> [valor] </magnitude>
..... units	Unidades expresadas acorde a la sintaxis de unidad UCUM (Unified Code for Units of Measure). <units> (ej.: "mm[HG]": milímetros de mercurio). </units>

Tabla 4.11: openEHR (continuación parte dos)

Capítulo 5

Diseño del Sistema Multi-Agente de Mensajería

Para poder realizar la simulación basada en agentes y cumplir con el *objetivo específico 1.4.4* del capítulo 1, se diseñó un sistema multi-agente para, el intercambio de variables fisiológicas entre sistemas que implementan diferentes estándares de interoperabilidad semántica. Para lo cual se seleccionó del SIH al sub-dominio ECE, el cual es administrado por su correspondiente sistema ECE, para el intercambio de variables fisiológica entre un *sistema ECE - fuente* a un *sistema ECE - destino* a través de mensajes.

5.1. Mensajería de variable fisiológica

Debido a que un mensaje generado por un *sistema ECE - fuente* para intercambiar una variable fisiológica sigue la estructura de un estándar de interoperabilidad, acorde a su respectivo modelo de referencia, la estructura de dicho mensaje puede componerse desde elementos muy básicos, hasta elementos muy complejos, con lo cual se generan múltiples combinaciones. Donde un mensaje básico se compone de elementos correspondientes a la identificación del mensaje y del tipo de estándar de interoperabilidad que sigue, así como nombre del paciente y/o su identificador único, la lectura de la variable fisiológica, la unidad en la que se mide dicha variable, fecha y hora de la toma de lectura de la variable, entre otros datos. Pero un mensaje también puede contener elementos que identifican al dispositivo con el cual se realizaron las lecturas de las variables, nombre del médico, nombre de la institución clínica que esté a cargo y/o identificador de este, datos demográficos más completos del paciente, entre muchos más elementos.

Es decir, que no siempre un mensaje va a contener los mismos elementos, ni la misma estructura, ni el mismo orden, lo cual genera que a nivel computacional sea complejo el poder obtener de manera inequívoca la variable fisiológica contenida dentro de un mensaje. Para lo cual es necesario que el *sistema ECE - destino* esté preparado para

este tipo de comportamiento y aprenda de ello.

Es también conveniente que el *sistema ECE - destino* este consciente de la herramienta de interoperabilidad semántica que está usando el *sistema ECE - fuente*, es decir, si el mensaje intercambiado sigue la estructura del estándar de interoperabilidad HL7 V2, V3, FHIR u openEHR, así como es necesario saber qué tipo de terminología y/o codificación clínica utiliza (SNOMED-CT/LOINC).

Para lo descrito anteriormente se ha seleccionado hacer uso de *agentes*, debido a la capacidad que poseen estas entidades de aprender de sus experiencias [47].

Donde un *agente* se puede definir como un sistema (programa) computacional con propiedades y acciones particulares, es capaz de actuar de manera autónoma para lograr sus objetivos [46, 47], al con conjunto de agentes se le conoce a su vez como Sistema Multi-Agente (SMA), el cual se define como un sistema en el cual un conjunto de agentes interactúan entre sí para lograr un objetivo en común [48].

Nota aclaratoria, un *SMA* también se conoce como Sistemas Basados en Agentes (SBA), mejor conocido en el idioma inglés como *Agent-Based Systems* (ABS), en la literatura cuando se trabaja con el modelado de agentes y su simulación, ambos términos se pueden generalizar como Modelado Basado en Agentes (MBA), que en inglés se define como *Agent-Based Modeling* (ABM) [33] término que a su vez se usa indistintamente como Simulación basada en agentes (SBA) o *Agent-Based Simulation* (ABS) [34], así que en el capítulo 6 se usara solo el término de *MBA* para evitar confusiones.

5.2. Sistema Multi-Agente de Mensajería de Variable Fisiológica (SMA-MVF)

Para la parte de diseño se seleccionó la metodología INGENIAS, la cual fue desarrollada por el grupo de trabajo GRASIA [49, 50]. Esto debido a que a través de INGENIAS [51] se pueden generar SMAs, ya que contempla el análisis, diseño e implementación de las etapas de desarrollo de software [49], sin embargo, de esta metodología será utilizada únicamente de la parte del análisis y diseño, ya que la implementación se llevara a cabo a partir de la simulación del SMA.

El análisis y diseño del SMA trata de un *Sistema Multi-Agente de Mensajería de Variable Fisiológica* (SMA-MVF), cuyo objetivo va a ser el intercambio de variables fisiológicas entre un *sistema ECE - destino* y un *sistema ECE - fuente* basado en agentes, donde los sistemas serán denominados a partir de ahora como *Agente ECE - Sistema Destino* (AESD) y *Agente ECE - Sistema Fuente* (AESF) respectivamente.

El objetivo general del AESD es el de desarrollar la conciencia para saber qué tipo

de herramienta de interoperabilidad está usando el AESF, para entonces poder obtener la lectura de la o las variables fisiológicas que se encuentran incrustadas dentro de un mensaje.

5.2.1. Definición de agentes

El SMA-MVF consta de ocho agentes como se puede ver en la Fig. 5.1 donde aparecen las imágenes que representan a cada uno de ellos, cuyos nombres son los siguientes:

1. Agente Interfaz (AI).
2. Agente ECE Sistema - Destino (AESD).
3. Agente ECE Sistema - Fuente (AESF).
4. Agente de Sistema de Información de Laboratorio (ASIL).
5. Agente de Clasificación de Mensajes (ACM).
6. Agente de Validación Sintáctica Semántica (AVSS).
7. Agente de Eliminación de Mensaje (AEM).
8. Agente Variable Fisiológica (AVF).

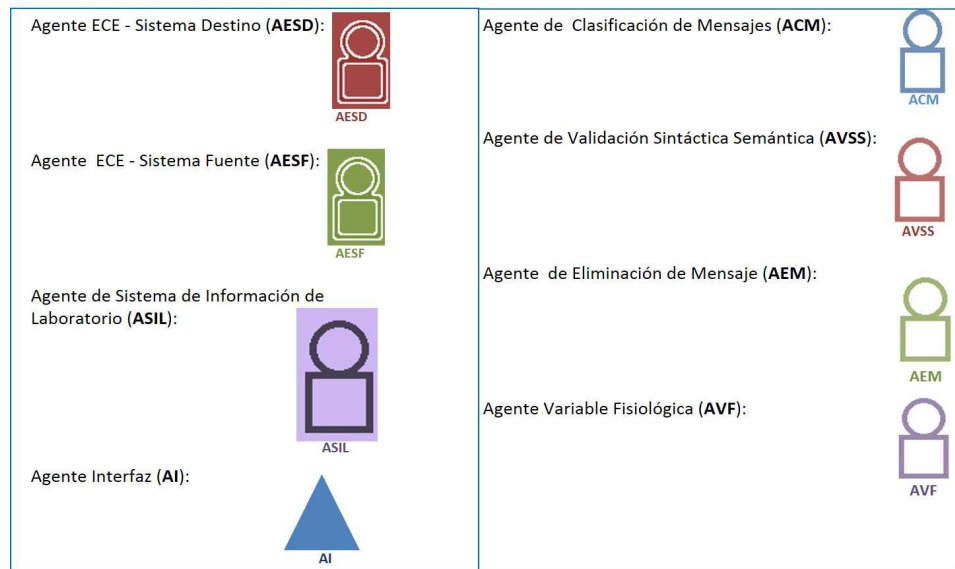


Figura 5.1: Nombre y siglas de agentes

En la Fig. 5.2 se presenta el diagrama general del SMA-MVF donde se ve cómo interactúan los agentes. En la siguiente sección se va a describir las características principales de cada agente, así como sus objetivos específicos, roles y actividades que realizan.

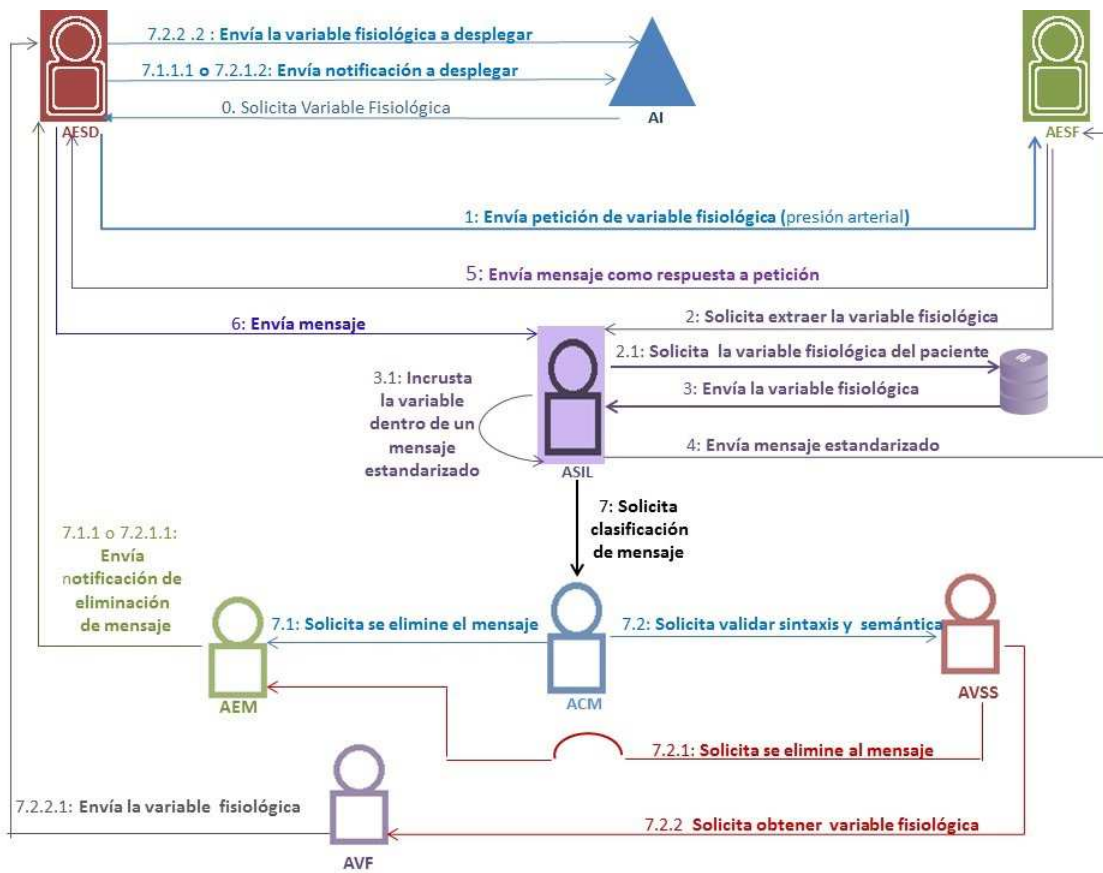


Figura 5.2: Diagrama general del SMA-MVF

5.3. Agente Interfaz (AI) del SMA-MVF

El *AI* tiene como *objetivo general* el solicitar la variable fisiológica y desplegar en pantalla las notificaciones de *warnings* para la posterior eliminación de un mensaje o desplegar la variable fisiológica de un paciente. Y como *rol* es el *Notificador*.

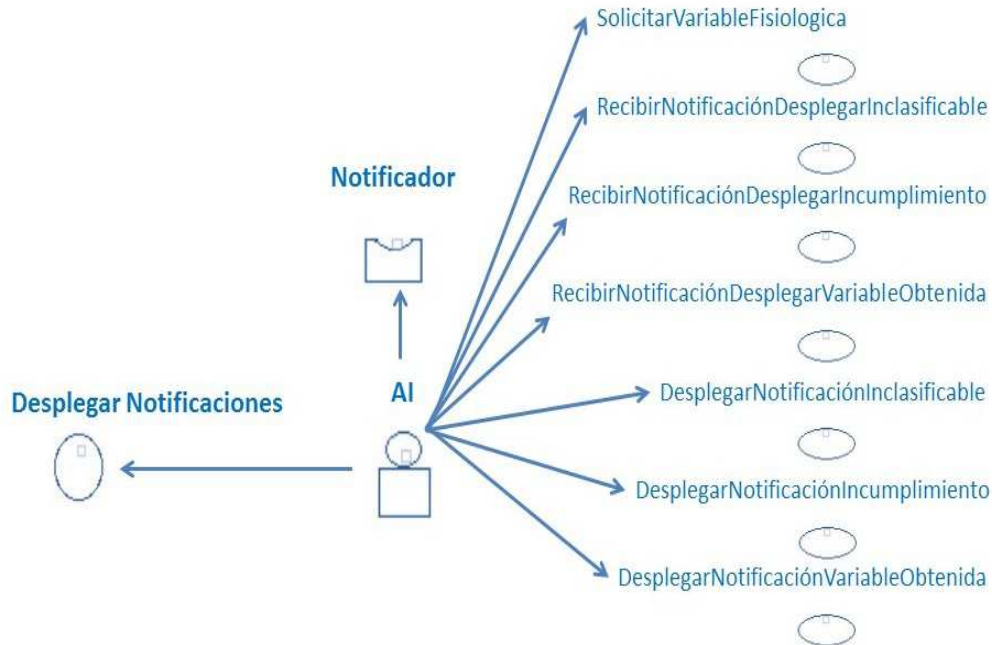


Figura 5.3: Agente Interfaz

5.3.1. Actividades del AI

En la Fig. 5.3 se despliegan las actividades del *AI*, las cuales se van a definir a continuación:

- SolicitarVariableFisiologica.
- RecibirNotificaciónDesplegarInclasificable.
- RecibirNotificaciónDesplegarIncumplimiento.
- RecibirNotificaciónDesplegarVariableObtenida.
- DesplegarNotificaciónInclasificable.
- DesplegarNotificaciónIncumplimiento.
- DesplegarNotificaciónVariableObtenida.

Descripción de actividades

La descripción de cada una de las actividades son las siguientes:

- SolicitarVariableFisiologica: Solicitar al AESD la variable fisiológica.
- RecibirNotificaciónDesplegarInclasificable: Recibir del AEM la notificación de desplegar en pantalla que un mensaje es inclasificable, motivo por el cual se eliminara.
- RecibirNotificaciónDesplegarIncumplimiento: Recibir del AEM la notificación de desplegar en pantalla que un mensaje ha incumplido en cuanto a su estructura sintáctica y/o semántica, motivo por el cual se eliminara.
- RecibirNotificaciónDesplegarVariableObtenida: Recibir del AVF la notificación de desplegar en pantalla la variable fisiológica del paciente objetivo.
- DesplegarNotificaciónInclasificable: Se encargará de desplegar el *warning* del porque un mensaje se descartará, ya que no sigue ningún estándar de interoperabilidad.
- DesplegarNotificaciónIncumplimiento: Se encargará de desplegar el *warning* del porque un mensaje se descartará, ya que no sigue las reglas sintácticas y/o semánticas del estándar en el cual fue clasificado.
- DesplegarNotificaciónVariableObtenida: Se encargará de desplegar la variable fisiológica del paciente objetivo.

5.4. Agente ECE Sistema - Destino (AESD) del SMA-MVF

El *AESD* tiene como *objetivo general* el administrar datos de entrada y salida al *Sistema ECE - Destino*. Y como *rol* es el *Administrador Destino*.

5.4.1. Actividades del AESD

En la Fig. 5.4 se despliegan las actividades del *AESD*, las cuales se van a definir a continuación:

- RecibirSolicitudVariableFisiologica.
- EnviarPetición.
- RecibirMensajeEstandarizadoRespuesta.
- EnviarMensajeRecibido.

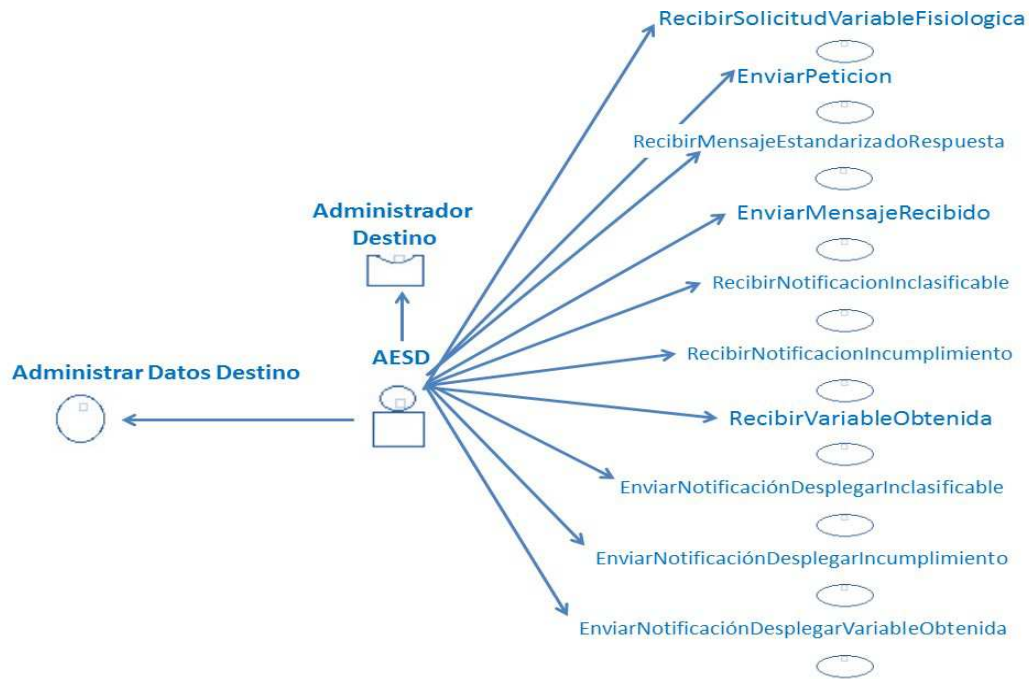


Figura 5.4: Agente ECE Sistema - Destino

- RecibirNotificaciónInclasificable.
- RecibirNotificaciónIncumplimiento.
- RecibirVariableObtenida.
- EnviarNotificaciónDesplegarInclasificable.
- EnviarNotificaciónDesplegarIncumplimiento.
- EnviarNotificaciónDesplegarVariableObtenida.

Descripción de actividades

La descripción de cada una de las actividades son las siguientes:

- RecibirSolicitudVariableFisiologica: Recibir del AI la solicitud de variable fisiológica.
- EnviarPetición: Enviar al AESF la petición de obtener la variable fisiológica de un paciente objetivo.
- RecibirMensajeEstandarizadoRespuesta: Recibir del AESF el mensaje estandarizado en respuesta a la petición de obtener la variable fisiológica de un paciente.

- **EnviarMensajeRecibido:** Enviar al ASIL el mensaje recibido como respuesta a la petición.
- **RecibirNotificacionInclasificable:** Recibir del AEM la notificación de mensaje inclasificable acorde a algún estándar de interoperabilidad.
- **RecibirNotificacionIncumplimiento:** Recibir del AEM la notificación de incumplimiento sintáctico y/o semántico acorde a algún estándar de interoperabilidad en el mensaje.
- **RecibirVariableObtenida:** Recibir del AVF la variable fisiológica obtenida de dentro del mensaje.
- **EnviarNotificaciónDesplegarInclasificable:** Enviar al AI la notificación de desplegar mensaje inclasificable.
- **EnviarNotificaciónDesplegarIncumplimiento:** Enviar al AI la notificación de desplegar mensaje que incumple sintáctica y/o semánticamente con estándar de interoperabilidad.
- **EnviarNotificaciónDesplegarVariableObtenida:** Enviar al AI la notificación de desplegar la variable fisiológica obtenida.

5.5. Agente de Sistema de Información de Laboratorio (ASIL) del SMA-MVF

El *ASIL* tiene como *objetivo general* el administrar los mensajes estandarizados (que siguen la estructura de un estándar de interoperabilidad) que se intercambian entre los agentes AESD y AESF. Y como *rol* es el *Administrador de mensajes*.

5.5.1. Actividades del ASIL

En la Fig. 5.5 se despliegan las actividades del *ASIL*, las cuales se van a definir a continuación:

- **RecibirMensajeR.**
- **SolicitarClasificacion.**
- **RecibirSolicitudExtraccionBD.**
- **RealizarSolicitudBD.**
- **RecibirVariableBD.**
- **IncrustarVariableEnMensaje.**
- **EnviarMensajeEstandarizado.**

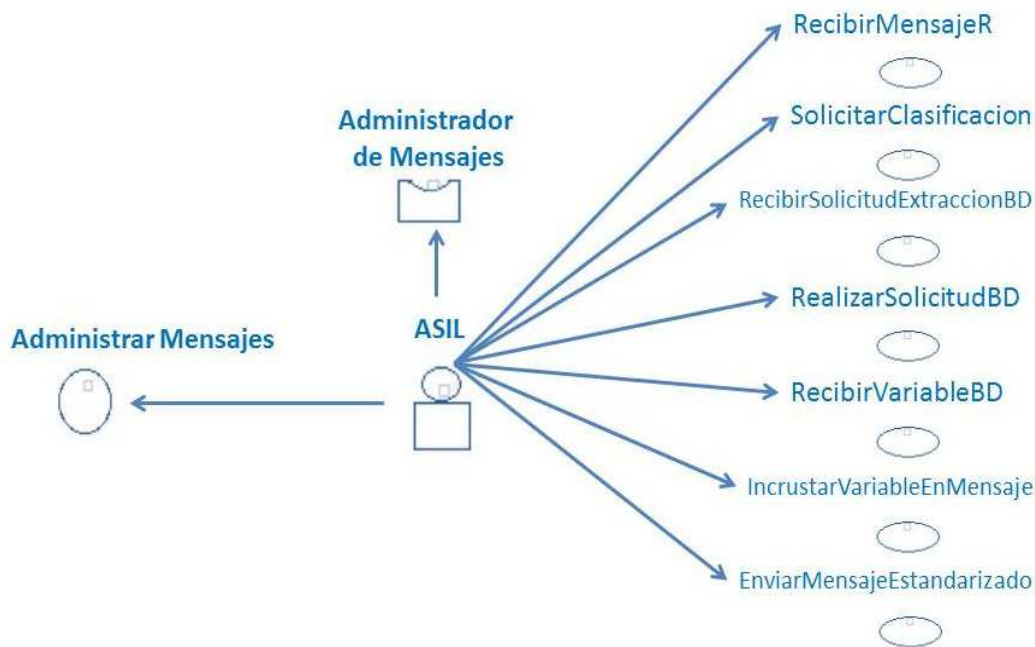


Figura 5.5: Agente de Sistema de Información de Laboratorio

Descripción de actividades

Un *ASIL* puede trabajar de lado del cliente (*AESD*) o de lado del servidor (*AESF*). Es decir, si recibe una solicitud para extraer una lectura de variable fisiológica, significa que está trabajando de lado del *AESF*, pero si recibe un mensaje que siga la estructura de algún estándar de interoperabilidad, está trabajando de lado del *AESD*.

Cuando trabaja de lado del *AESD* realiza las siguientes actividades:

- **RecibirMensajeR:** Recibir los mensajes provenientes del *AESD*.
- **SolicitarClasificacion:** Solicitar al ACM que clasifique el mensaje acorde a la estructura del estándar de interoperabilidad que sigue.

Por otro lado, cuando el *ASIL* trabaja de lado del *AESF* realiza las siguientes actividades:

- **RecibirSolicitudExtraccionBD:** Recibir del *AESF* la solicitud de extraer la variable fisiológica que se encuentra en la Base de Datos (BDs).
- **RealizarSolicitudBD:** Realiza la solicitud (consulta/query) de variable fisiológica a la BDs.
- **RecibirVariableBD:** Recibe la variable fisiológica obtenida de la BDs.

- **IncrustarVariableEnMensaje:** Incrusta la variable fisiológica dentro de un mensaje estandarizado.
- **EnviarMensajeEstandarizado:** Enviar el mensaje estandarizado al AESF.

5.6. Agente de Clasificación de Mensajes (ACM) del SMA-MVF

El *ACM* tiene como *objetivo general* el clasificar los mensajes que le lleguen acorde a la estructura del estándar de interoperabilidad que utilice, ya sea HL7 V2, HL7 V3, HL7 FHIR u openEHR. Y como *rol* es el *Clasificador*.

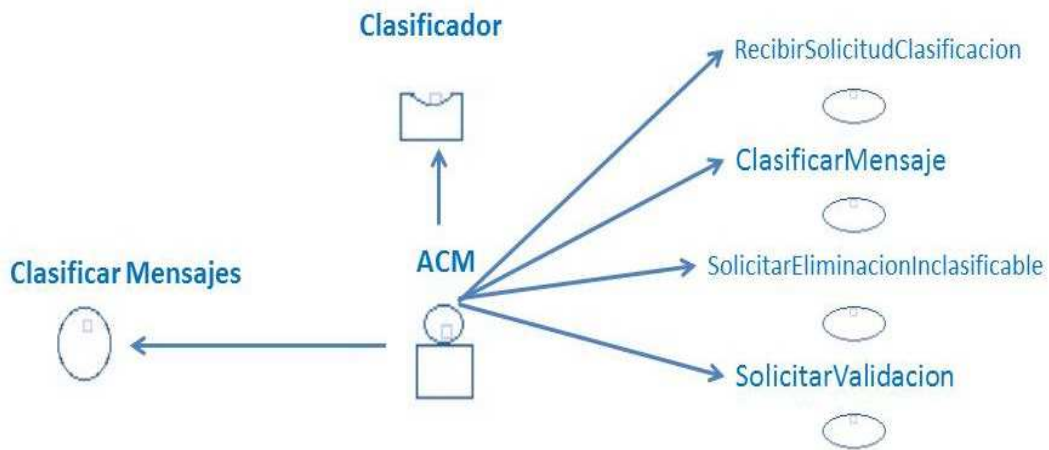


Figura 5.6: Agente de Clasificación de Mensajes

5.6.1. Actividades del ACM

En la Fig. 5.6 se despliegan las actividades del *ACM*, las cuales se van a definir a continuación:

- **RecibirSolicitudClasificacion.**
- **ClasificarMensaje.**
- **SolicitarEliminacionInclasificable.**
- **SolicitarValidacion.**

Descripción de actividades

La descripción de cada una de las actividades son las siguientes:

- **RecibirSolicitudClasificacion:** Recibir la solicitud de ASIL de realizar la clasificación del mensaje acorde a la estructura del estándar que siga.
- **ClasificarMensaje:** Realizar la clasificación del mensaje acorde a la estructura del estándar de interoperabilidad que siga.
- **SolicitarEliminacionInclasificable:** Solicitar al AEM la eliminación del mensaje que no siga la estructura de un estándar de interoperabilidad.
- **SolicitarValidacion:** Solicitar al AVSS se valide la sintaxis y semántica del estándar de interoperabilidad que sigue el mensaje.

5.7. Agente de Validación Sintáctica Semántica (AVSS) del SMA-MVF

El AVSS tiene como *objetivo general* el validar la sintaxis y semántica del estándar de interoperabilidad que siga el mensaje. Y como *rol* es el *Validador*.

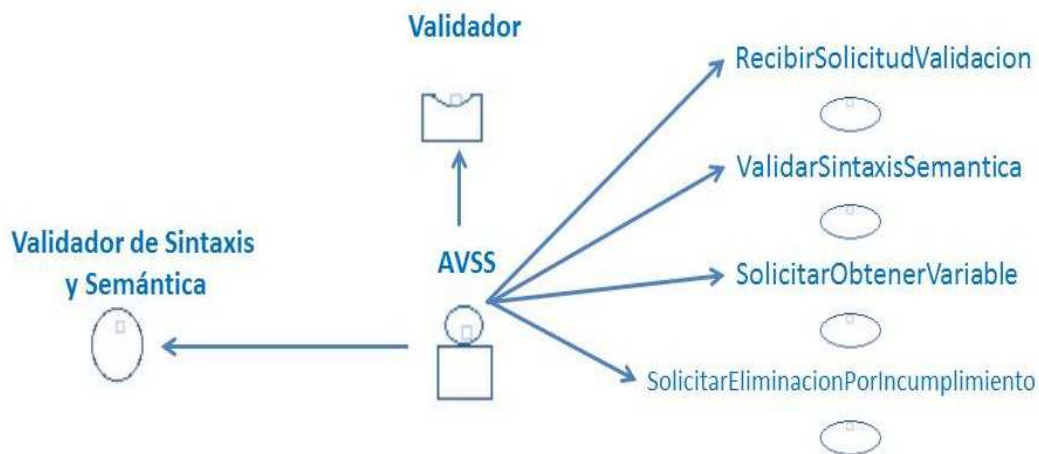


Figura 5.7: Agente de Validación Sintáctica Semántica

5.7.1. Actividades de AVSS

En la Fig. 5.7 se despliegan las actividades del AVSS, las cuales se van a definir a continuación:

- **RecibirSolicitudValidacion.**

- ValidarSintaxisSemantica.
- SolicitarObtenerVariable.
- SolicitarEliminacionPorIncumplimiento.

Descripción de actividades

La descripción de cada una de las actividades son las siguientes:

- RecibirSolicitudValidacion: Recibir la solicitud del ACM para validar la sintaxis y semántica del mensaje.
- ValidarSintaxisSemantica: Validar la sintaxis y semántica del estándar de interoperabilidad que siga el mensaje.
- SolicitarObtenerVariable: Solicitar al AVF obtener la variable fisiológica contenida dentro del mensaje.
- SolicitarEliminacionPorIncumplimiento: Solicitar al AEM elimine el mensaje.

5.8. Agente ECE - Sistema Fuente (AESF) del SMA-MVF

El *AESF* tiene como *objetivo general* el administrar los datos de entrada y salida al *Sistema ECE - Fuente*. Y como *rol* es el *Administrador Fuente*.

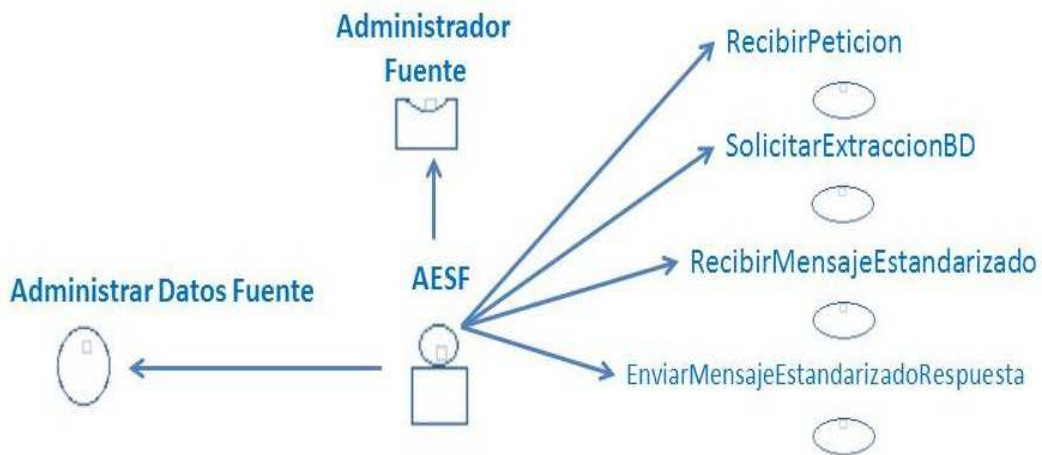


Figura 5.8: Agente ECE Sistema - Fuente

5.8.1. Actividades del AESF

En la Fig. 5.8 se despliegan las actividades del *AESF*, las cuales se van a definir a continuación:

- RecibirPetición.
- SolicitarExtracciónBD.
- RecibirMensajeEstandarizado.
- EnviarMensajeEstandarizadoRespuesta.

Descripción de actividades

La descripción de cada una de las actividades son las siguientes:

- RecibirPetición: Recibir la petición del AESD de la variable fisiológica de un paciente objetivo.
- SolicitarExtracciónBD: Solicitar al ASIL realice la extracción (consulta/query) de la variable fisiológica del paciente de la BD en donde se almacenan los datos básicos de su ECE.
- RecibirMensajeEstandarizado: Recibir del ASIL el mensaje estandarizado que contiene la variable fisiológica del paciente.
- EnviarMensajeEstandarizadoRespuesta: Enviar al AESD un mensaje estandarizado, como respuesta a su petición de la variable fisiológica del paciente objetivo.

5.9. Agente de Eliminación de Mensaje (AEM) del SMA-MVF

El *AEM* tiene como objetivo general el eliminar mensajes que no sigan la estructura de un estándar de interoperabilidad, o que no sigan de manera correcta la estructura que dicta un estándar de interoperabilidad. Y como *rol* es el *Eliminador*.

5.9.1. Actividades del AEM

En la Figura 5.9 se despliegan las actividades del *AEM*, las cuales se van a definir a continuación:

- RecibirSolicitudEliminaciónInclasificable.
- RecibirSolicitudEliminaciónIncumplimiento.
- EnviarNotificaciónInclasificable.
- EnviarNotificaciónIncumplimiento.

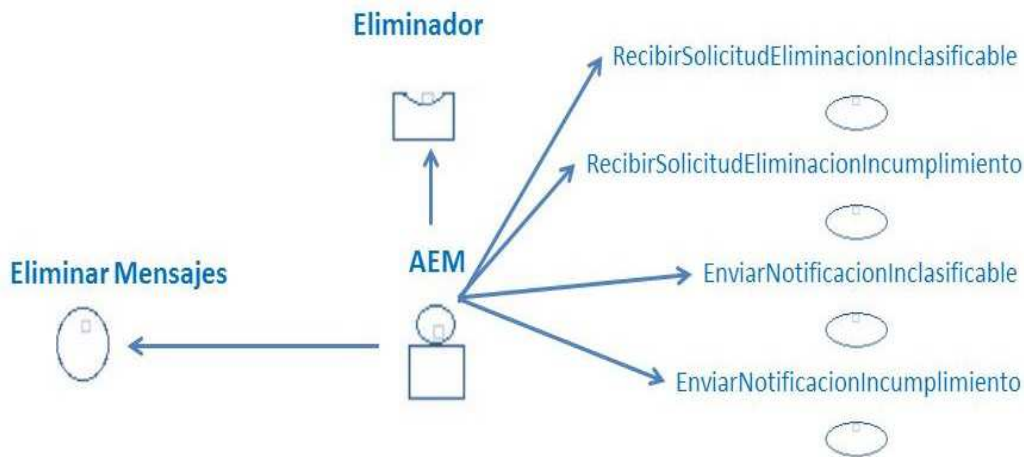


Figura 5.9: Agente de Eliminación de Mensaje

Descripción de actividades

La descripción de cada una de las actividades son las siguientes:

- **RecibirSolicitudEliminacionInclasificable:** Recibir la solicitud del ACM de eliminación por no poder clasificar el mensaje ya que no sigue la estructura de alguno de los estándares HL7 V2, HL7 V3, HL7 FHIR u openEHR.
- **RecibirSolicitudEliminacionIncumplimiento:** Recibir la solicitud del AVSS de eliminación por que el mensaje no cumple con las reglas sintácticas y/o semánticas de un estándar de interoperabilidad.
- **EnviarNotificacionInclasificable:** Enviar al AESD la notificación de eliminación del mensaje por ser inclasificable.
- **EnviarNotificacionIncumplimiento:** Enviar al AESD la notificación de eliminación del mensaje por no cumplir con la estructura de algún estándar de interoperabilidad.

5.10. Agente Variable Fisiológica (AVF) del SMA-MVF

El *AVF* tiene como *objetivo general* el extraer del mensaje la variable fisiológica. Y como *rol* es el *Extractor*.

5.10.1. Actividades del AVF

En la Figura 5.10 se despliegan las actividades del *AVF*, las cuales se van a definir a continuación:

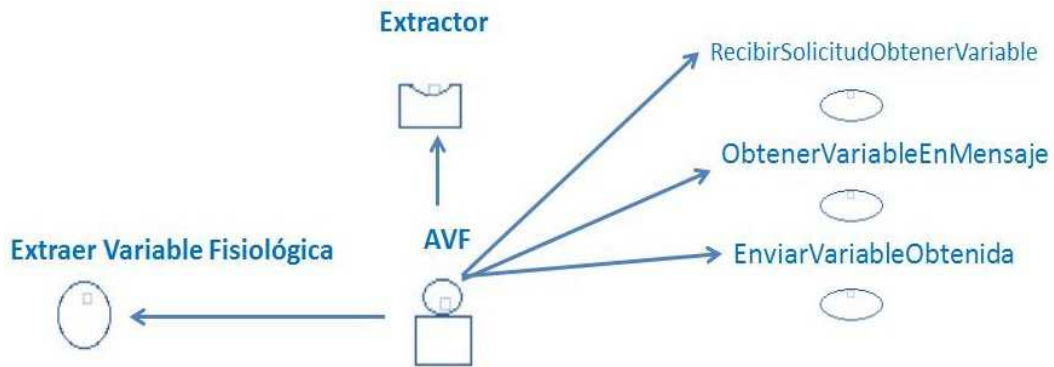


Figura 5.10: Agente Variable Fisiológica

- RecibirSolicitudObtenerVariable.
- ObtenerVariableEnMensaje.
- EnviarVariableObtenida.

Descripción de actividades

La descripción de cada una de las actividades son las siguientes:

- RecibirSolicitudObtenerVariable: Recibir del AVSS la solicitud de obtener la variable fisiológica que se encuentra incrustada dentro del mensaje.
- ObtenerVariableEnMensaje: Obtener la variable fisiológica que se encuentra incrustada dentro del mensaje.
- EnviarVariableObtenida: Enviar al AESD la variable fisiológica.

5.11. Participación de los Agentes del SMA-MVF en el modelo de interoperabilidad semántica

Con los 8 agentes definidos en este capítulo se podrá diseñar e implementar la simulación del modelo de interoperabilidad semántica mostrado en la Figura 4.4 mostrado en la página 34.

Y entonces, trasladando los agentes al algoritmo de la Figura 4.4, se presenta la nueva Figura 5.11 en donde se puede apreciar donde participará cada agente en el modelo de interoperabilidad semántica.

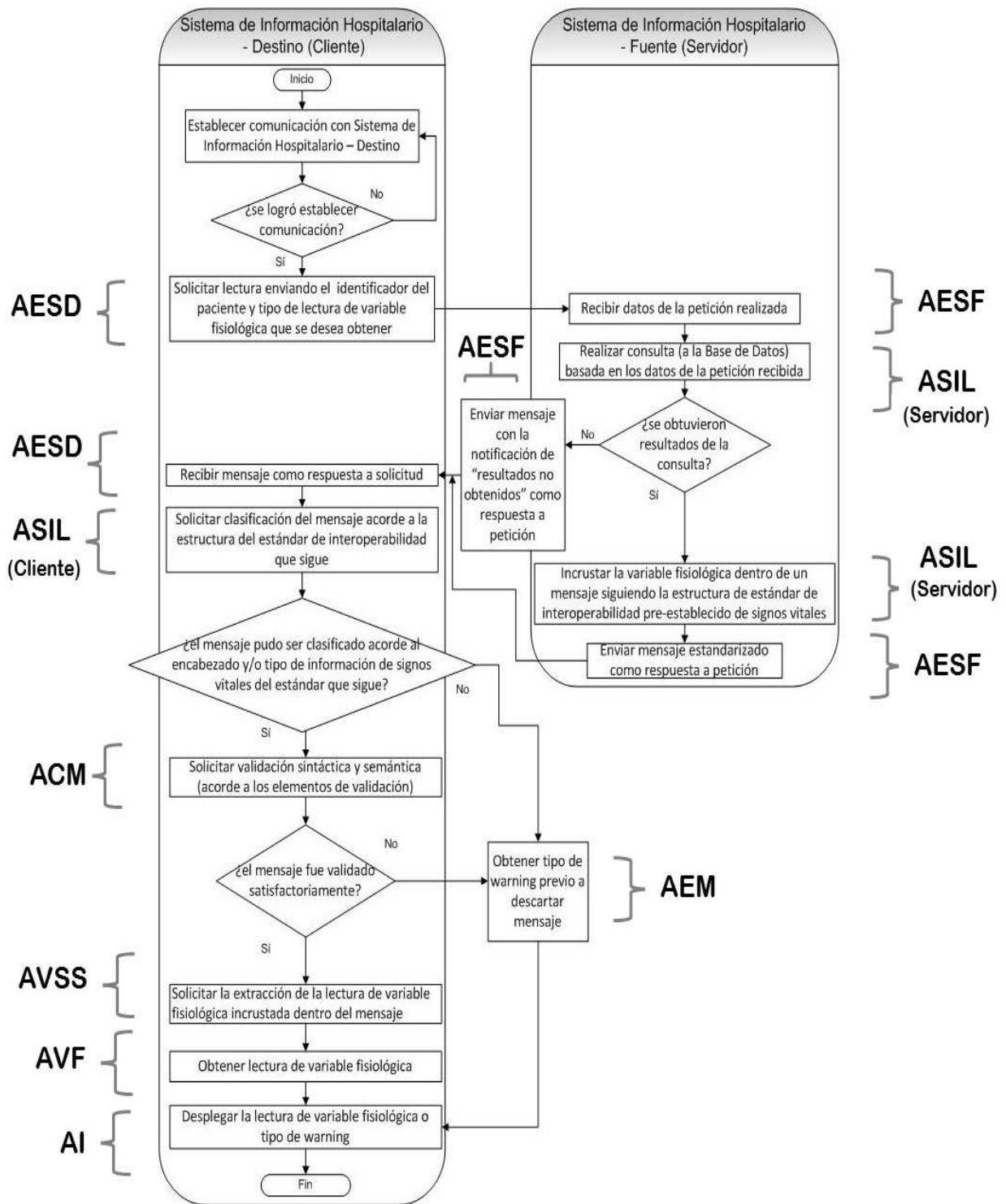


Figura 5.11: Agentes en el Modelo de interoperabilidad semántica

Capítulo 6

Diseño de la simulación

Para realizar el diseño de la simulación y previo a cumplir con *objetivo específico 1.4.5* se implemento la simulación del diseño del sistema multi-agente, para lo cual fue necesario desarrollar un caso de uso donde un *sistema ECE - destino* solicite la lectura de presión arterial más reciente de un paciente a un *sistema ECE - fuente* donde se encuentra resguardado su ECE.

A continuación se describe el caso de uso a desarrollar, quedando la simulación de lado del *sistema ECE - destino*.

6.1. Descripción del caso de uso: Paciente hipertenso

El Sr. Domínguez decide viajar en autobús desde la ciudad de Ensenada B.C. a la ciudad de Hermosillo, Sonora. A medio camino empieza a escuchar un zumbido en el oído izquierdo. Al llegar a su destino, decide acudir a la clínica *CIMA* (Centro Internacional de Medicina) en la ciudad de Hermosillo. Pide consultar a un otorrinolaringólogo y espera su turno para entrar a consulta.

Cuando es el turno del Sr. Domínguez, es atendido por un otorrinolaringólogo e inicia la consulta. Dado que el motivo de la consulta es el zumbido del oído izquierdo, cuyo término médico es *tinnitus* [52] y debido a que el *tinnitus* es un síntoma común de varias enfermedades entre ellas la presión arterial alta, conocida también como *hipertensión* [53], es necesario que el médico tenga acceso a la última toma de la presión arterial del paciente, para compararla con la toma de presión arterial actual. Esto debido a que, si el paciente no lleva tratamiento, es posible que tarde de entre tres a seis meses para que se normalice su presión arterial [54] y en caso de que siga un tratamiento y la presión arterial no ceda, será necesario tomar las decisiones medicas correspondientes.

Para que el médico tenga acceso al parámetro fisiológico, es necesario entablar comu-

nicación con la clínica en la que es atendido con regularidad el Sr. Domínguez (*sistema ECE - fuente*), para lo cual el médico a través del sistema propietario de su clínica *sistema ECE - destino* logra entablar la comunicación, para después proceder a pedir la lectura de presión arterial más actual de su paciente, junto con el identificador de su *ECE* a través de una solicitud que se realiza al *sistema ECE - fuente*.

6.2. Descripción del diagrama cliente/servidor en el caso de uso

Partiendo del diagrama general del SMA-MVF del capítulo 5, donde se describió que el *ASIL* puede trabajar de lado del cliente, es decir de lado del *sistema ECE - destino*, representado a través del denominado agente *AESD*, pero que también el *ASIL* puede trabajar de lado del servidor, es decir del *sistema ECE - fuente* el *AESF*. Se describirá a través del diagrama cliente/servidor de la Figura 6.1 los momentos de activación de cada agente, previo al diseño de la simulación de lado del *AESD* para solicitar la lectura de presión arterial.

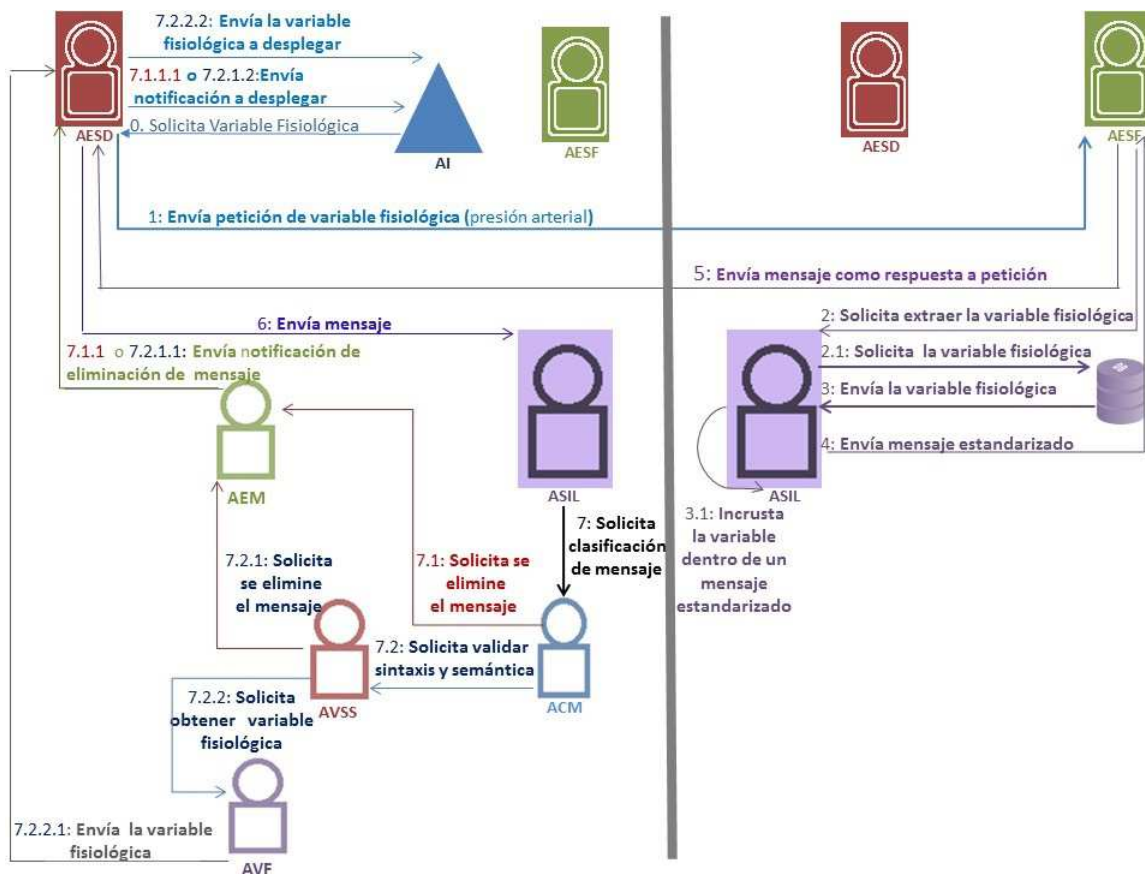


Figura 6.1: Diagrama Cliente / servidor

6.2.1. Diagrama cliente/servidor

A continuación, se va a describir el cliente/servidor de la Figura 6.1, donde quedaran más claros los momentos de activación de cada agente *AESD* y *AESF*, iniciando cuando:

- El AI envía al AESD una solicitud de la lectura de variable fisiológica (presión arterial).
- El AESD envía a su vez una petición al AESF para obtener la variable.
- El AESF Solicita al ASIL extraer la variable de la BD.
- El ASIL solicita la variable a la BD a través de una consulta.
- Como resultado de la consulta, la BD devuelve la lectura de la variable fisiológica.
- El ASIL incrusta la variable fisiológica dentro de un mensaje siguiendo la estructura de un estandar de interoperabilidad.
- El ASIL envía el mensaje estandarizado al AESF.
- El AESF envía el mensaje al AESD como respuesta a su petición inicial.
- El AESD envía el mensaje recibido al ASIL.
- El ASIL recibe el mensaje y pide a su vez al ACM que clasifique el mensaje acorde a la estructura del estándar de interoperabilidad que siga.
- El ACM procede a realizar la clasificación del mensaje, cuyo resultado pueden ser una de las dos siguientes opciones:
 - 1) Si el mensaje no puede ser clasificado, se solicita al AEM que lo elimine, debido a que el mensaje no sigue la estructura de ningún estándar que soporte el agente. En la Figura 6.2 es posible ver cómo termina este proceso de interacción.
 - 2) Si el mensaje se pudo clasificar, se solicita al AVSS valide la sintaxis y semántica del mensaje acorde al estándar en el cual fue clasificado.
- El AVSS procede a validar el mensaje, contando con dos opciones como resultado de la validación:
 - 1) solicitar al AEM se elimine el mensaje si no sigue la sintaxis y semántica del estándar de interoperabilidad en el cual fue clasificado. En la Figura 6.3 es posible ver cómo termina este proceso de interacción.
 - 2) solicitar al AVF extraiga la lectura de la variable fisiológica incrustada dentro del mensaje.

- El AVF envía la variable al AESD.
- El AESD envía la variable fisiológica al AI para desplegar la presión arterial del paciente que se solicitó inicialmente.

6.3. Herramientas de simulación basada en agentes

Los diseños de modelos basados en agentes se pueden implementar computacionalmente a través de una simulación por computadora haciendo uso de lenguajes de programación informática [33].

Existen cuatro kits de herramientas de *MBA* ampliamente utilizados: NetLogo, Repast, Mason y Swarm [55], sin embargo, para el desarrollo del presente trabajo se ha optado por hacer uso de NetLogo debido a que es uno de los lenguajes de modelado basados en agentes dedicados [33].

NetLogo es un entorno programable de modelado basado en agentes, utilizado en todo el mundo [56], por sus características facilita la simulación de eventos reales al contar con un su entorno grafico para crear programas que controla los agentes, mejor conocidos en el entorno de NetLogo como *tortugas* gráficas, las cuales interactúan en un mundo denominado *parches* dentro de una ubicación gráfica y donde son monitoreados por un *observador*, el cual tiene una vista de un modelo completo que puede pedir se realicen determinadas acciones entre tortugas y el cual colecta resultados de la simulación. Hay un observador en cada Modelo de NetLogo. [33].

Siguiendo el ejemplo ilustrativo que se presenta en [55] donde se hace uso de NetLogo para generar un archivo que posteriormente es utilizado de lado del lenguaje declarativo *R*, se decidió seguir este ejemplo haciendo uso de estas dos herramientas. Debido a la naturaleza del presente trabajo de investigación, se optó por hacer uso primero del lenguaje declarativo *R*, generar un archivo y posteriormente utilizar el archivo de lado de NetLogo como se describe en las siguientes secciones.

Dentro de los principales motivos por los que se eligió *R* y Netlogo para la simulación, en vez de la implementación en C, C Sharp u otro lenguaje o plataforma de programación, fue debido a que *R* ofrece una serie de librerías que facilitan el análisis de documentos en formato XML, permitiendo enfocarnos en la parte de los objetivos a cumplir por los agentes, tales como la clasificación de mensajes, así como la validación sintáctica y semántica de estos, acorde a los elementos seleccionados como los mínimos necesarios para realizar estas tareas, en conjunto con el uso de las tablas seleccionadas de cada uno de los estándares de interoperabilidad para complementar estas tareas y de donde los agentes adquieren conocimiento y desarrollan su inteligencia.

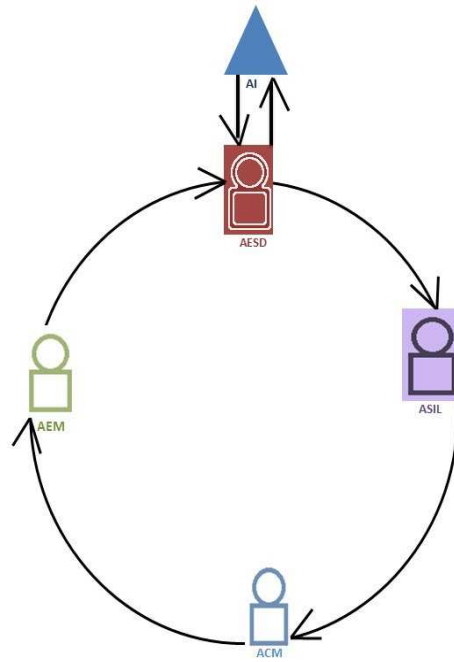


Figura 6.2: Notificación de *warning* en la clasificación lado del cliente

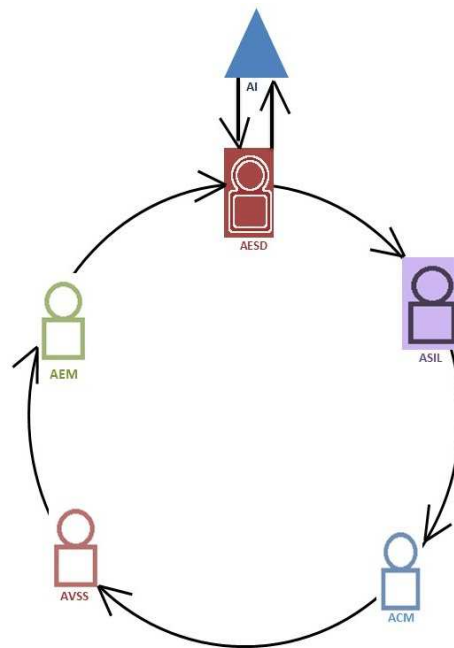


Figura 6.3: Notificación de *warning* en la validación

En conjunto, *R* y NetLogo hacen un complemento ideal para que los agentes puedan lograr sus objetivos específicos y por ende lograr el objetivo general del agente AESD en el caso de uso a desarrollar para obtener la lectura de presión arterial contenida en los mensajes.

6.4. Lenguaje declarativo *R*

R es un lenguaje y entorno para computación y gráficos estadísticos [57]. Dentro de el entorno de *R* se manejan diferentes paqueterías para para manipular archivos a través de funciones propietarias, tales como archivos con extensión .txt y .xml, que son formatos seleccionados a utilizar en este trabajo de investigación.

6.4.1. Uso de *R* para la clasificación y validación

Los objetivos de los agentes *ACM* y *AVSS* del SMA-MVF para clasificar y validar un mensaje estandarizado, serán implementados a través del lenguaje declarativo *R*, como se describe a continuación, para obtener la lectura de la variable fisiológica de presión arterial (sistólica/diastólica) contenida en el mensaje.

ACM y *AVSS* del SMA-MVF en *R*

A través del diagrama de flujo de la Figura 6.4 se va a describir como se diseño en *R* la primera parte de la simulación, siguiendo el diseño del *ACM* y *AVSS* del SMA-MVF (del capítulo 5), para la clasificación y validación de mensajes estandarizados.

La descripción es la siguiente:

- Se inicia por leer un archivo con extensión .txt o .xml.
- Se inicializan variables globales.
- Se obtiene el *encabezado* de cada mensaje y se almacena en un arreglo (*ACM*).
- Se obtiene el *tipo de información* que maneja el mensaje y se almacena (*ACM*).
- Se obtiene el *identificador del paciente* y se almacena.
- Se obtiene tipo de código y/o terminología médica que maneja el mensaje (*AVSS*).
- Se obtiene la *fecha y hora* de la toma de lectura de presión arterial y se almacena.
- Se obtiene la lectura de la variable sistólica y se almacena (*AVSS*).
- Se obtiene la unidad de lectura de la variable sistólica y se almacena (*AVSS*).
- Se obtiene la lectura de la variable diastólica y se almacena (*AVSS*).

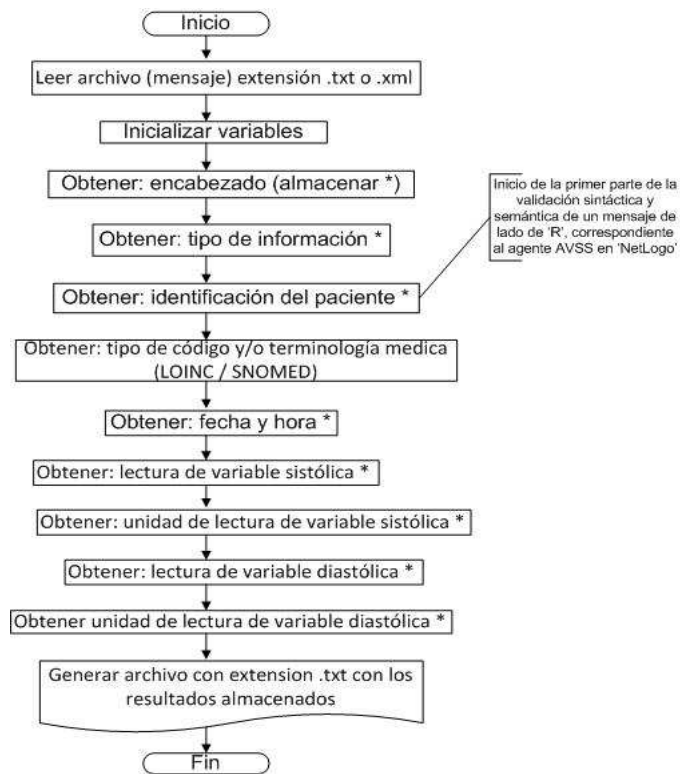


Figura 6.4: Diagrama de flujo de lado de *R*

- Se obtiene la unidad de lectura de la variable diastólica y se almacena (*AVSS*).
- Se genera un archivo con extensión *.txt* conteniendo todos los datos almacenados.

Para lograr la clasificación de los mensajes, tal como se describió en el capítulo 4, era necesario que el mensaje cumpliera con elementos relacionados con el encabezado y/o con la descripción del tipo de información que maneja.

Por otro lado, para la primera fase de la validación sintáctica y semántica (la segunda fase queda de lado de NetLogo en la segunda parte de la simulación) del mensaje fue necesario seguir las tablas de validación descritas en el capítulo 4, donde se siguieron detenidamente y haciendo uso de los métodos propietarios de las paqueterías del lenguaje declarativo *R*, se aseguró de que se cumpliera sintáctica y semánticamente con los elementos que describen de las tablas.

La fracción de código que se presenta a continuación gira en torno al recorrido por los nodos de un mensaje HL7 V3 que sigue la estructura XML, en donde se valida sintácticamente si el mensaje contiene los campos correspondientes a las tablas 4.5 y 4.6, donde el primer nodo del mensaje a validar de un mensaje HL7 V3, trata del proceso del control del acto del mensaje donde siguiendo las tablas correspondientes a la validación sintáctica de un mensaje HL7 V3 se debe de contar como mínimos con las etiquetas correspondientes al:

- El proceso de control del acto (*controlActProcess* en las líneas 2 y 12).
- El objeto del acto de control (*subject* en las líneas 3 y 14).
- El conjunto de observaciones (*observationBattery* en las líneas 4 y 16).
- El componente del mensaje (*Component1* en las líneas 5 y 18).
- El grupo de observaciones (*observationEvent* en las líneas 6 y 20).
- El código de la prueba diagnóstica de laboratorio (*code* en las líneas 7, 22 y 24-26).
- La fecha y hora de vigencia de la toma de lectura (*effectiveDateTime* en las líneas 8, 31 y 33-35).
- Conjuntos de valores de datos correspondientes al valor de la lectura y las unidades de esta (*valueQuantity* en las líneas 9 y 38-42 y 10 y 44-46).

```

1 ###INICIA "controlActProcess"
2 contCODE <- xmlName(r[[cont]])#"controlActProcess"
3 iCODE <- xmlName(r[[cont]][[i]])#"subject"
4 jCODE <- xmlName(r[[cont]][[i]][[j]])#"observationBattery/Event/Report"
5 kCODE <- xmlName(r[[cont]][[i]][[j]][[k]])#"component1"
6 lCODE <- xmlName(r[[cont]][[i]][[j]][[k]][[l]])#"observationBattery/Event/Report"

```

```

7 mCODE <- xmlName(r[[cont]][[i]][[j]][[k]][[l]][[m]]) # "code"
8 mFechaHORA <- xmlName(r[[cont]][[i]][[j]][[k]][[l]][[m]]) # "effectiveTime"
9 mVarLECTURA <- xmlName(r[[cont]][[i]][[j]][[k]][[l]][[m]]) # "value"
10 mUNIDAD <- xmlName(r[[cont]][[i]][[j]][[k]][[l]][[m]]) # "value"
11
12 if(contCODE=="controlActProcess")
13 { # abre if del controlActProcess
14   if(iCODE=="subject")
15   {
16     if(jCODE=="observationBattery")
17     {
18       if(kCODE=="component1")
19       {
20         if(lCODE=="observationEvent")
21         {
22           if(mCODE=="code")
23           {
24             ATRICODE <- xmlGetAttr(r[[cont]][[i]][[j]][[k]][[l]][[m]], "code")
25             codeSnomed_Loinc <- noquote(ATRICODE) # codigo ya sea snomed o LOINC
26             Code <- codeSnomed_Loinc
27
28             contadorLISTA=contadorLISTA+1
29           }
30
31           if(mFechaHORA=="effectiveTime")
32           {
33             ATRIFechaHORA <- xmlGetAttr(r[[cont]][[i]][[j]][[k]][[l]][[m]], "value")
34             Fecha_y_hora <- noquote(ATRIFechaHORA) # imprimo la fecha sin comillas
35             FeHr <- Fecha_y_hora
36           }
37
38           if(mVarLECTURA=="value")
39           {
40             ATRIVarLECTURA <- xmlGetAttr(r[[cont]][[i]][[j]][[k]][[l]][[m]], "value")
41             Variable_lectura <- noquote(ATRIVarLECTURA)
42             Lec <- Variable_lectura
43
44             mUNIDAD <- xmlGetAttr(r[[cont]][[i]][[j]][[k]][[l]][[m]], "unit")
45             Unidad_de_medida <- noquote(mUNIDAD)
46             Unidad <- Unidad_de_medida
47           }
48         }
49       }
50     }
51   }
52 } # cierra el if del controlActProcess

```

En resumen, el fragmento del código presentado, plasma como un archivo con extensión .xml es recorrido, en este caso para ubicar si dentro de un *componente* de un mensaje HL7 V3 se encuentra la fecha y hora, así como la lectura de la variable fisiológica y la unidad que maneja la variable, lo que ayuda a validar si trata de un mensaje

que maneja signos vitales y acorde a la terminología o codificación que maneje, si se trata o no de la presión arterial de un paciente.

6.5. Diseño de la simulación en NetLogo

La segunda parte del diseño de la simulación se da de lado de NetLogo, la cual se inicia a partir de contar como entrada de datos con el archivo generado de lado de *R*.

AVSS del SMA-MVF en NetLogo

A través del diagrama de flujo dividido en la Figura 6.5 y en la Figura 6.6 se va a describir como se diseño la implementación de lado de NetLogo la segunda parte de la simulación y la segunda fase de la validación correspondiente al AVSS.

Para iniciar la segunda parte del diseño de la simulación, fue necesario hacer uso de un interruptor (dentro de NetLogo), donde el AI (tortuga 0, línea 3) pregunta si se va a leer un mensaje teniendo el interruptor como resultado por default un verdadero (TRUE), en caso contrario, un falso (FALSE, línea 9). Si se procede a leer un mensaje el AI envía una petición al AESD (tortuga 1, línea 5) previo a proseguir con la simulación. Al estar el interruptor activado (verdadero) se procede dentro de la simulación a tomar el nombre del archivo con extensión .txt generado en *R* que se requiere como entrada de datos de lado de NetLogo.

```
1 ask turtle 0 [  
2 show "Se solicita variable fisiológica (AI->AESD)"  
3 if [ mensaje ] of turtle 0 = TRUE [  
4 ask turtle 1 [  
5 set sino 1  
6 set abrirArchivo [sino] of turtle 0  
7 ]  
8 if [ mensaje ] of turtle 0 = FALSE [  
9 ask turtle 1 [  
10 show "No hay solicitud (AI->AESD)"  
11 set sino 0  
12 set abrirArchivo [sino] of turtle 0  
13 ]  
14 ]
```

La descripción del algoritmo del diagrama de flujo que se presenta en la primera Figura 6.5 es la siguiente:

- Se inicia con la declaración de las variables pertenecientes a las tortugas (agentes) y variables globales.
 - Se definen los enlaces entre tortugas.

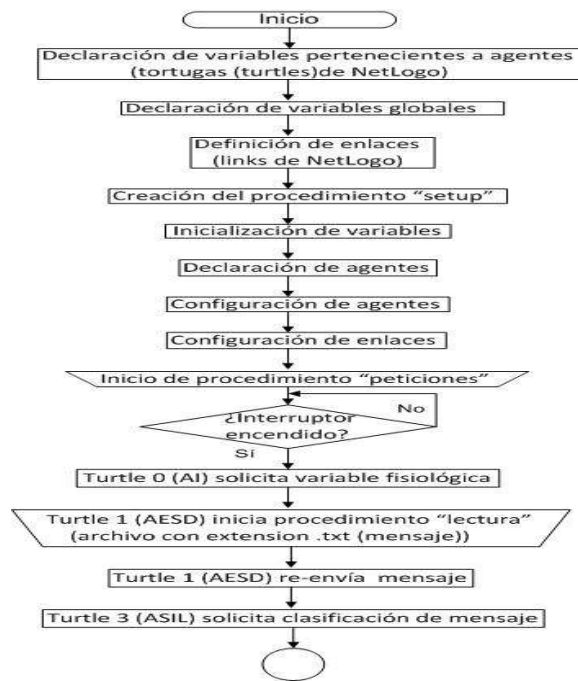


Figura 6.5: Diagrama de flujo de lado de NetLogo parte uno

- Se crea el procedimiento "set-up".
 - Se inicializan todas las variables.
 - Se declaran los agentes a interactuar en la simulación.
 - Se configuran las características de los agentes.
 - Se configuran los enlaces de comunicación entre los agentes.
- Se inicia el procedimiento de "peticiones" para iniciar la simulación.
 - Se pregunta si la herramienta de interruptor esta encendido.
 - Si el interruptor esta encendido significa que se va a leer un archivo con estension .txt una vez que llegue el turno del AI.
 - Si el interruptor está apagado se quedará en espera a que lo encienda el observador.
 - El AI (tortuga 0) hace la solicitud de lectura de la variable fisiológica.
 - El AESD (tortuga 1) inicia el procedimiento de la lectura del archivo con extensión .txt (mensaje) que se generó de lado del *R*.
 - El AESD re-envía el mensaje al ASIL
 - El ASIL (tortuga 3) solicita al ACM (tortuga 5) la clasificación del mensaje acorde al estándar de interoperabilidad que siga.

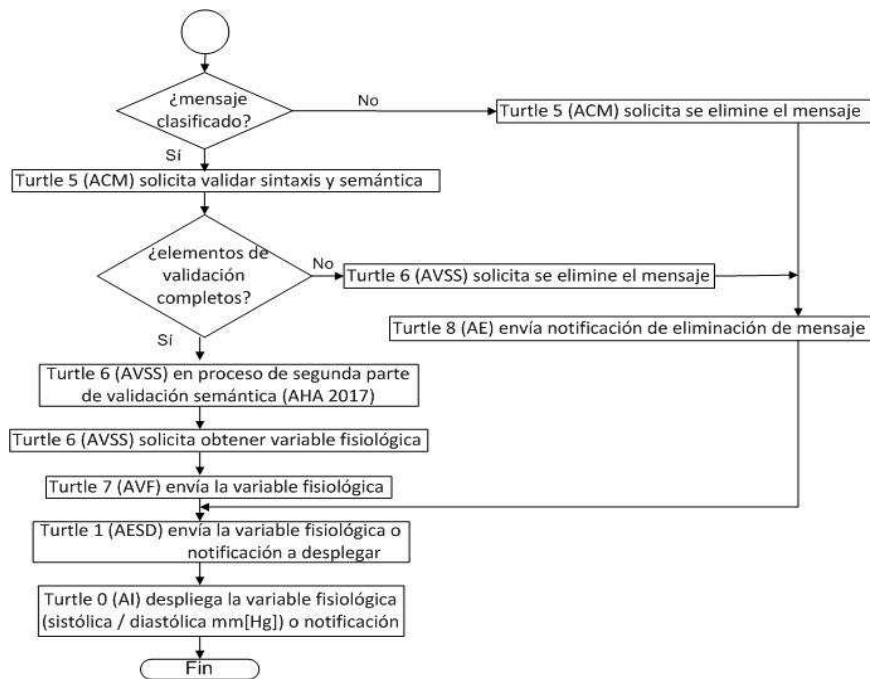


Figura 6.6: Diagrama de flujo de lado de NetLogo parte dos

La descripción del algoritmo del diagrama de flujo que se presenta en la segunda Figura 6.6 es la siguiente:

- Se pregunta si el mensaje ha podido ser clasificado.
 - Si el mensaje se pudo clasificar acorde a uno de los estándares de interoperabilidad se espera a seguir el proceso de validación.
 - Si el mensaje no se pudo clasificar, el ACM solicita al AE (tortuga 8) se elimine el mensaje.
 - El AE envía la notificación de eliminación al AESD.
- Se inicia el proceso de validación: el ACM solicita al AVSS (tortuga 6) se valide la sintaxis y semántica del mensaje.
- Se pregunta si el mensaje cuenta con los elementos de validación completos.
 - Si se cuenta con los elementos de validación completos se espera a seguir el proceso de validación semántica segunda parte, recordando que el primer parte se llevó a acabo de lado de *R*.
 - Si no se cuenta con los elementos de validación completos el AVSS solicita al AE se elimine el mensaje.
 - El AE envía una notificación de eliminación al AESD.

- Se continua con la segunda parte de la validación semántica del mensaje: el AVSS valida la semantica acorde a la tabla de rangos de presión arterial de [45].
- El AVSS solicita al AVF (tortuga 7) obtener la variable fisiológica.
- El AVSS envía la variable fisiológica obtenida a AESD.
- El AESD envía la variable fisiológica obtenida al AI o en caso de que le haya llegado una notificacion por parte del AE, envía esta notificación al AI.
- El AI despliega la variable fisiológica obtenida o en su defecto, despliega la notificación correspondiente.

Capítulo 7

Implementación de la simulación

Una vez desarrollado el diseño de la simulación utilizando la herramienta de NetLogo complementado con el lenguaje declarativo *R*, y para complementar la segunda parte del *objetivo específico 1.4.5* se procedió a realizar la implementación de la simulación siguiendo el ejemplo ilustrativo que se presenta en [55]. Se optó por realizar treinta ejecuciones, donde cada ejecución correspondía a un mensaje que se necesitaba interpretar para obtener la lectura de la variable fisiológica. Utilizando de inicio el lenguaje de declarativo *R* como parte complementaria a la simulación basada en NetLogo. Y para el *objetivo específico 1.4.6* se procedió y la validación de la simulación del diseño del sistema multi-agente.

7.1. Colección de mensajes para implementar la simulación

Para realizar esta etapa fue necesario realizar la colección de treinta mensajes provenientes de diferentes fuentes, desde sitios de internet de manejo de mensajes, hasta mensajes colectados por desarrolladores de plantillas de estándar de interoperabilidad, teniendo como característica en común el contener la lectura de variables fisiológicas correspondientes a signo vitales.

A continuación, se describe el nombre de cada estándar de interoperabilidad, la cantidad de mensajes colectados y de donde fueron colectados:

- Del estándar HL7 V2 fueron colectados siete mensajes en total, de los cuales:
 - Dos fueron colectados del sitio web: <http://wiki.patesco.ca/doku.php?id=hl7:mirth:tutorial:sampleinput>.
 - Cinco fueron colectados del sitio web: <https://github.com/jeffcouch/HL7-ML-Classifier/find/master>.
- Del estándar HL7 V3 fueron colectados nueve mensajes en total, de los cuales:

- Tres fueron colectados del sitio web: https://github.com/hareeshhkpc/Eternity/tree/master/v_1.0.2/source/message-configuration/src/test/java/com/hin/hl7messaging/sample.
 - Dos fueron colectados del sitio web: <http://wiki.patesco.ca/doku.php?id=hl7:mirth:tutorial:samplev3template>.
 - Dos fueron obtenidos de manera directa del Ing. Mario Enrique Cortés (Colombia) Datasalud, fundador de HL7 Colombia.
 - Dos fueron obtenidos como parte complementaria al desarrollo de este trabajo de tesis.
- Del estándar HL7 FHIR fueron colectados ocho mensajes en total, de los cuales:
 - Uno fue colectado del sitio web: <https://www.hl7.org/fhir/observation-example-bloodpressure.xml.html>.
 - Uno fue colectado del sitio web: <https://www.hl7.org/fhir/observation-example-mbp.xml.html>.
 - Uno fue colectado del sitio web: <https://hl7.org/fhir/DSTU2/observation-example-bloodpressure.xml.html>.
 - Cinco fueron obtenidos del del Ing. Mario Enrique Cortés (Colombia) Datasalud.
 - Del estándar openEHR fueron colectados seis mensajes en total:
 - Obtenidos a través del acceso que se nos concedió el Ing. Pablo Pazos, director de CaboLabs Informática en Salud (Montevideo, Uruguay) a su plataforma abierta para gestionar información clínica acorde al estándar openEHR, denominada EHRServer.

7.2. Implementación de la simulación

Por protocolo, la implementación de la simulación en su primera y segunda parte se probó 50 veces, teniendo como entrada a los mensajes colectados para dar inicio a la implementación de la simulación de lado de R , teniendo un tiempo promedio de respuesta de *00:12.21* segundos por mensaje, tomando en cuenta que el proceso no es automático, sino que es manual, en donde cada mensaje era probado uno a uno y en donde el objetivo principal de esta parte de la simulación fue la clasificación y la validación sintáctica de un mensaje, así como la primera parte de la validación semántica del mismo correspondiente al agente *AVSS* del SMA-VF. Teniendo como salida los resultados correspondientes a la clasificación y a la validación, dentro de un archivo de

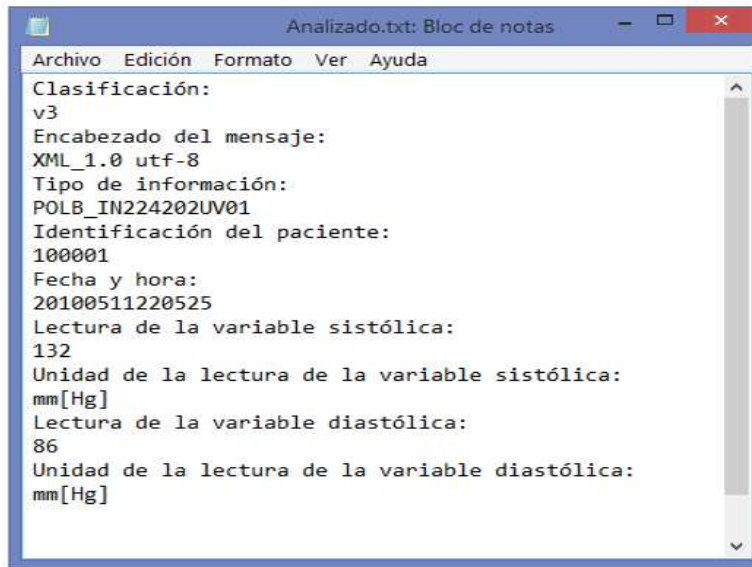


Figura 7.1: Salida de lado de *R*

texto con extensión .txt, como se puede ver en la Figura 7.1.

Los resultados contenidos dentro del archivo con extensión .txt fueron a su vez la entrada de datos de lado de NetLogo, iniciando así la segunda etapa de la simulación, es decir, la ejecución del SMA-VF para completar la tarea descrita por parte de los agentes *ACM*, *AVSS* y *AVF*, quedando de lado del *AVSS* la segunda parte de la validación semántica, para finalmente obtener la lectura de la variable fisiológica de un paciente para que fuera desplegada por parte del agente *AI*.

El tiempo promedio de respuesta por parte del conjunto de agentes fue de *00:11.64* segundos, tomando en cuenta que el proceso no es automático y que se debía pegar en un campo de texto el nombre del mensaje con extensión .txt para iniciar la simulación en NetLogo.

La imagen de la Figura 7.2 es un ejemplo de la salida de la implementación de la simulación de lado de NetLogo, la cual gráficamente muestra la interacción de cada una de los agentes (llamados también tortugas), para finalmente desplegar la lectura de la variable fisiológica de la presión arterial de un paciente.

7.3. Validación de la implementación de la simulación

De las 50 veces que se probó la simulación en su primera y segunda etapa de simulación, 50 veces se comportó de la misma manera, teniendo como resultado de la

implementación que del total de la muestra, 24 mensajes pudieron ser clasificados acorde a un estándar de interoperabilidad, como se puede ver en la Figura 7.3, de los cuales 18 mensajes correspondían a signos vitales variados, de los cuales solo 8 eran de presión arterial, variable objetivo en el caso de uso de este trabajo de investigación.

De los 6 mensajes que no pudieron ser clasificados acorde a un estándar de interoperabilidad, queda pendiente como trabajo futuro se les provea de conocimiento a los agentes acerca de más elementos de clasificación para que sigan aprendiendo y definir si esos 6 mensajes pueden o no ser re-clasificados a partir de este nuevo conocimiento.

De los otros 6 mensajes que no manejan el tipo de información relacionada a signos vitales fueron descartados por no trabajar con parámetros fisiológicos, motivo por el que se sabía de antemano que no contendrían la lectura de presión arterial. Por otro lado, de los 10 mensajes que sí manejan signos vitales, estos no entraban dentro del parámetro fisiológico de interés, por eso no fueron tomados en cuenta al diferir de mensajes que contenían la lectura de presión arterial.

7.3.1. Tablas de resultados de la validación de la implementación

En las tablas 7.1 y 7.2 se presentan los resultados generales, donde aparte de ver en forma de tabla los resultados, se puede ver si un mensaje pudo ser clasificado y correspondía al manejo de la lectura de la presión arterial (sistólica/diastólica), así como las unidades que maneja. También se puede ver la notificación a través de un *warning* cuando un mensaje no pudo ser clasificado o si un mensaje sí pudo ser clasificado pero que por no tratarse del *tipo de información* que se requiere no fue posible obtener la lectura de la variable fisiológica.

Como análisis de resultados generales tenemos en la 7.3 que del total de 30 mensajes el 80 % pudo ser clasificado acorde a alguno de los estándares de interoperabilidad en un promedio de 00:11.64 segundos, dentro de este tiempo se incluye la primera parte del análisis sintáctico y semántico del mensaje. Del 80 % de los mensajes clasificados el 75 % correspondía a signos vitales, y dentro de ese porcentaje el 44.44 % de los mensajes correspondían al signo vital correspondiente a la presión arterial, variable objetivo de este proyecto de tesis.

De la segunda parte del análisis sintáctico y semántico de los mensajes correspondientes a la presión arterial se realizó en un promedio de 00:12.21 segundos, dando como resultado que en un promedio de 00:11.92 segundos cada mensaje del total de 30 mensajes en espera de ser clasificados y analizados sintáctica y semánticamente.

7.4. Discusión

Hasta este punto, en capítulos anteriores, se han presentado elementos para clasificar y validar la sintaxis, así como la semántica de mensajes que contienen la lectura de la variable fisiológica de presión arterial a intercambiar entre Sistemas ECEs, en donde siguiendo la propuesta del modelo de interoperabilidad semántica se diseñó el SMA-MVF como complemento al diseño de la simulación para implementar y validar el modelo de interoperabilidad semántica de lado del cliente, finalizando con los resultados presentados en las secciones de este capítulo, sin embargo quedan puntos por discutir.

Una de las incógnitas que quedan por resolver son las siguientes:

- ¿Cómo aprenden los agentes?

Los agentes aprenden a partir de la recopilación de información que se les da referente al tipo de información clínica que van a intercambiar, como en este caso variables fisiológicas, también aprende de la información que aporta los elementos considerados como mínimos necesarios para la clasificación de mensajes, así como de los elementos necesarios para realizar la validación de la sintaxis y semántica de los mensajes.

- ¿Cómo saber si la simulación se realizó correctamente?

Se considera que la simulación se realizó de manera correcta primeramente cuando se logra clasificar un mensaje acorde al tipo de información clínica que maneja, en este caso respecto a resultados u observaciones de laboratorio correspondiente a signos vitales, específicamente hablando de presión arterial. Como segunda consideración esta que se cumplan con los elementos de validación correspondientes a tablas a los estándares de interoperabilidad y su sintaxis, así como los valores correspondientes a las terminologías y codificaciones médicas pertinentes. Con estas dos consideraciones y obteniendo como salida la lectura de la variable fisiológica de presión arterial o en su defecto, obteniendo un warning que explique en que punto no se cumplió con la clasificación o con la validación, se considera que la simulación se realizó de manera correcta.

- ¿Cómo se puede medir el desempeño de la simulación?

El desempeño de la simulación en esta etapa se mide si se realizó de manera correcta la simulación y si se obtuvo la lectura de la variable fisiológica o el warning que expone el punto en que no se cumplió con la clasificación o con la validación, esto debido a que como se explicó en la sección 7.2 la simulación se da en dos etapas de manera manual y no automática.

- ¿La simulación se puede interpolar para otras variables?

Sí se puede, siempre y cuando se trate de variables fisiológicas, y que la parte de validación semántica se complemente con las terminologías y codificaciones médicas correspondientes a las nuevas variables fisiológicas. En caso de tratarse de otro tipo de variables correspondientes a otros sub-dominios del SIHs tales como SIR, SPE, entre otros sub-dominios, sería necesario adaptar los elementos de clasificación y validación acorde a cada SI.

- ¿Los mensajes menos válidos los logran clasificar los agentes debido al aprendizaje?

En un futuro, cuando la recopilación de información de aprendizaje que se les dé a los agentes incrementa, es muy probable que se logre clasificar los mensajes que actualmente no se lograron clasificar en la simulación actual, esto debido a que los agentes aprenden constantemente y al contar con nuevos elementos a los elementos considerados como mínimos necesarios para lograr la clasificación, se lograra aumentar la probabilidad de clasificación, siempre y cuando se cumpla con las estructuras que dictan cada uno de los estándares de interoperabilidad.

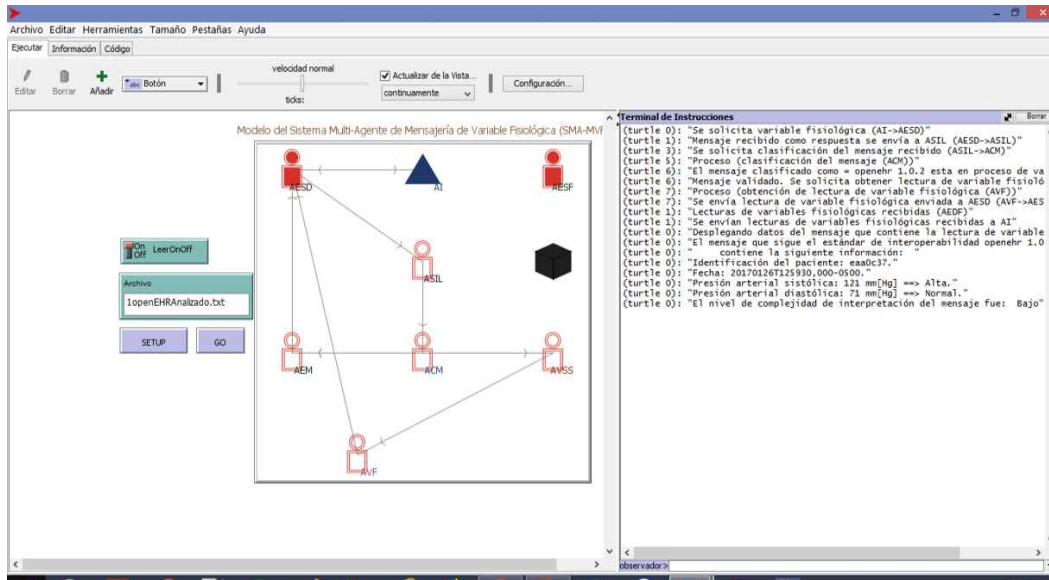


Figura 7.2: Impresión de pantalla de salida de lado de NetLogo

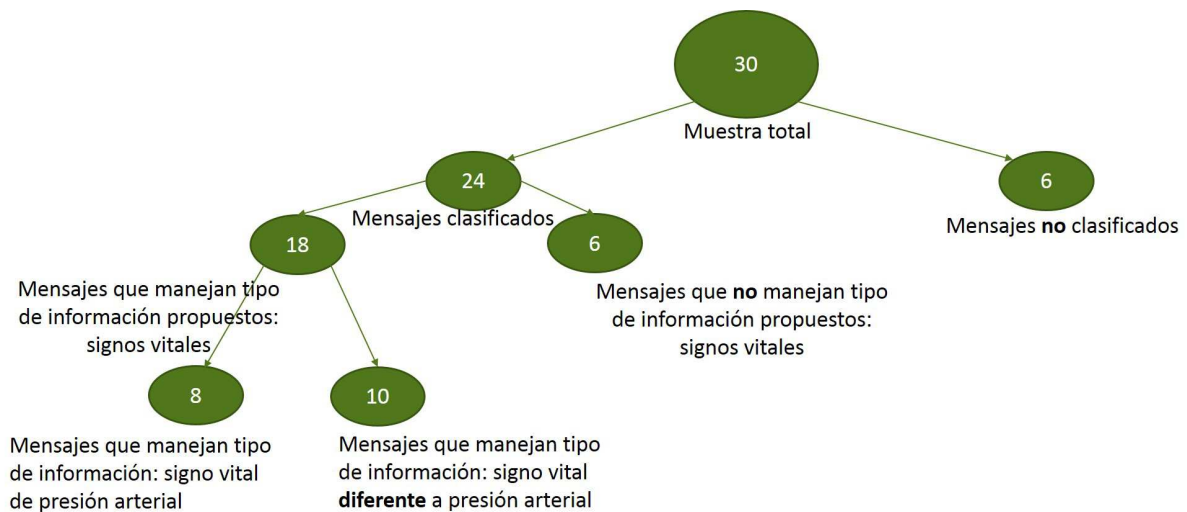


Figura 7.3: Resultados de la clasificación de mensajes

Nombre del mensaje analizado	Clasificación S/N	Despliegue (Lectura/Variable fisiológica o tipo de Warning)	Unidades de Lectura /Variable o Significado del warning
1hl7v2Analizado.txt	sí	132 / 86	mm[Hg]
2hl7v2Analizado.txt	sí	95 / 70	mm[Hg]
3hl7v2Analizado.txt	sí	Warning 8	El mensaje fue clasificado como: HL7 V2. Basado en interacción 'ORU'. No maneja presión arterial
4hl7v2Analizado.txt	sí	Warning 8	El mensaje fue clasificado como: HL7 V2. Basado en interacción 'ORU'. No maneja presión arterial
5hl7v2Analizado.txt	sí	Warning 8	El mensaje fue clasificado como: HL7 V2. Basado en interacción 'ORU'. No maneja presión arterial
6hl7v2Analizado.txt	sí	Warning 9	El mensaje fue clasificado como: HL7 V2. No basado en interacción 'ORU'. No maneja presión arterial
7hl7v2Analizado.txt	sí	Warning 8	El mensaje fue clasificado como: HL7 V2. Basado en interacción 'ORU'. No maneja presión arterial
1hl7v3Analizado.txt	sí	132 / 86	mm[Hg]
2hl7v3Analizado.txt	sí	133 / 86	mm[Hg]
3hl7v3Analizado.txt	sí	Warning 4	El mensaje fue clasificado como: HL7 V3. Basado en interacción 'POLB_IN224202UV01'. No maneja presión arterial
4hl7v3Analizado.txt	sí	Warning 4	El mensaje fue clasificado como: HL7 V3. Basado en interacción 'POLB_IN224202UV01'. No maneja presión arterial
5hl7v3Analizado.txt	sí	Warning 4	El mensaje fue clasificado como: HL7 V3. Basado en interacción 'POLB_IN224202UV01'. No maneja presión arterial
6hl7v3Analizado.txt	no	Warning 1	El mensaje NO puede ser clasificado
7hl7v3Analizado.txt	no	Warning 3	El mensaje NO puede ser clasificado como: HL7 V3. No basado en interacción 'POLB_IN224202UV01'.
8hl7v3Analizado.txt	no	Warning 3	El mensaje NO puede ser clasificado como: HL7 V3. No basado en interacción 'POLB_IN224202UV01'.
9hl7v3Analizado.txt	no	Warning 3	El mensaje NO puede ser clasificado como: HL7 V3. No basado en interacción 'POLB_IN224202UV01'.
1hl7fhirAnalizado.txt	sí	107 / 60	mm[Hg]
2hl7fhirAnalizado.txt	sí	Warning 6	El mensaje fue clasificado como: HL7 FHIR . Basado en interacción 'Observation'. No maneja presión arterial
3hl7fhirAnalizado.txt	sí	107 / 60	mm[Hg]

Tabla 7.1: Resultados generales

4hl7fhirAnalizado.txt	sí	Warning 7	El mensaje fue clasificado como: HL7 FHIR. No basado en interacción 'Observation'. No maneja presión arterial
5hl7fhirAnalizado.txt	sí	Warning 7	El mensaje fue clasificado como: HL7 FHIR. No basado en interacción 'Observation'. No maneja presión arterial
6hl7fhirAnalizado.txt	sí	Warning 7	El mensaje fue clasificado como: HL7 FHIR. No basado en interacción 'Observation'. No maneja presión arterial
7hl7fhirAnalizado.txt	sí	Warning 7	El mensaje fue clasificado como: HL7 FHIR. No basado en interacción 'Observation'. No maneja presión arterial
8hl7fhirAnalizado.txt	sí	Warning 7	El mensaje fue clasificado como: HL7 FHIR. No basado en interacción 'Observation'. No maneja presión arterial
1openEHRAnalizado.txt	sí	121 / 71	mm[Hg]
2openEHRAnalizado.txt	sí	138 / 91	mm[Hg]
3openEHRAnalizado.txt	no	Warning 1	El mensaje NO puede ser clasificado
4openEHRAnalizado.txt	sí	Warning 5	El mensaje fue clasificado como: openEHR. Basado en interacción 'version'. No maneja presión arterial
5openEHRAnalizado.txt	no	Warning 1	El mensaje NO puede ser clasificado
6openEHRAnalizado.txt	sí	Warning 5	El mensaje fue clasificado como: openEHR. Basado en interacción 'version'. No maneja presión arterial

Tabla 7.2: Resultados generales (continuación)

Total de mensajes por clasificar y analizar	30
Número de mensajes clasificados	24
Número de mensajes no clasificados	6
Porcentaje de mensajes clasificados	80 %
Porcentaje de mensajes no clasificados	20 %
Tiempo de respuesta de clasificación y análisis sintáctico/semántico parte 1	00:11.64 segundos
Número de mensajes clasificados correspondientes a signos vitales	18
Número de mensajes clasificados no correspondientes a signos vitales	6
Porcentaje de mensajes correspondientes a signos vitales	75 %
Porcentaje de mensajes no correspondientes a signos vitales	25 %
Número de mensajes correspondientes a presión arterial	8
Número de mensajes no correspondientes a presión arterial	10
Porcentaje de mensajes correspondientes a presión arterial	44.44 %
Porcentaje de mensajes no correspondientes a presión arterial	55.55 %
Tiempo de respuesta de análisis sintáctico y semántico parte 2	00:12.21 segundos
Tiempo total de respuesta de clasificación y análisis sintáctico/semántico	00:11.92 segundos

Tabla 7.3: Análisis de resultados generales

Capítulo 8

Conclusiones Generales

En el ámbito médico más que un objetivo es ya una necesidad lograr la interoperabilidad entre SIHs, y no solo es intercambiar datos entre instituciones, sino que es necesario entender los datos de la misma manera, enfocándose principalmente en que los médicos y especialistas en salud que manejen datos clínicos generados, utilicen los datos intercambiados para poder dar un mejor servicio a los pacientes, al contar con sus datos clínicos en tiempo y forma, logrando diagnósticos más rápidos y efectivos.

Para poder lograr la interoperabilidad semántica es de vital importancia utilizar adecuadamente las herramientas de interoperabilidad. Motivo por el cual, para el desarrollo del presente trabajo de investigación se seleccionaron y describieron las herramientas de interoperabilidad de tres miembros de la familia HL7 (HL7 V2, V3 y FHIR), openEHR y a la terminología de SNOMED-CT. Así como la codificación LOINC, que son de las herramientas semánticas más utilizadas como complemento a los estándares de interoperabilidad. Esta selección tan específica se debió a que: *entre más abierta quede la opción del uso de estándares de interoperabilidad, se cierra más la posibilidad de lograr la interoperabilidad entre SIHs* y como el objetivo es lograr la interoperabilidad entre SIHs es necesario apegarse a los estándares de interoperabilidad, terminologías y codificaciones más reconocidas y utilizadas en el entorno médico.

Con la selección de herramientas de interoperabilidad realizada, la descripción de los elementos requeridos para lograr la clasificación y validación de un mensaje estandarizado, así como con la definición de la interacción entre SIHs necesaria para proveer de conciencia al Sistema de Información Hospitalario-destino, de la herramienta de interoperabilidad semántica que está usando el Sistema de Información Hospitalario-fuente, se propuso un modelo de interoperabilidad semántica, con el cual se está aportando una herramienta que les sirva tanto a Ingenieros en sistemas, como para especialistas en informática como base para el desarrollo de nuevos SIs y/o actualización de los ya existentes, teniendo siempre como objetivo principal el aportar beneficios tanto para médicos, como pacientes, ya que, al tener el médico acceso a información clínica relevante, podrá realizar un diagnóstico más efectivo proporcionado mejor servicio al paciente.

Derivado de modelo, se obtuvo una solución relacionada con el sub-dominio del SIL del SIH, para lo cual se seleccionaron dominios relacionados al SIL de los estándares de la familia HL7 V2, V3, FHIR, así como de openEHR. Para poder trabajar con esta solución en torno a algún otro parámetro fisiológico tal como temperatura corporal, nivel de glucosa, entre otra variable fisiológica, solo es necesario buscar la terminología SNOMED que describe el parámetro y/o la codificación LOINC que corresponda.

8.1. Trabajo a futuro

Para complementar el presente trabajo de investigación queda el implementar un sistema ECE basado en el modelo de interoperabilidad semántica para SIHs Heterogéneos, con el objetivo de proveer al *sistema ECE - destino* la capacidad de clasificar y validar los mensajes provenientes de un *sistema ECE - fuente*, con la finalidad de obtener no solo variables fisiológicas incrustadas dentro del mensaje, sino de intercambiar otro tipo de información clínica que se requiera intercambiar y que se pueda ajustar el modelo de interoperabilidad semántica propuesto, para lo cual será necesario generar más elementos para la correcta clasificación y validación de mensajes, así como incrementar la información contenidas en las tablas pertenecientes a cada estándar de interoperabilidad.

Como parte complementaria a la implementación del sistema ECE basado en el modelo interoperabilidad semántica, quedaría pendiente el desarrollo de un método para tratar los *warnings* generados por el modelo, con el objetivo de que los antes agentes, llamados a partir de la implementación programas o sistemas, puedan tratar los *warnings* para no solo desplegar notificaciones, sino para hacer uso de la información que aportan los motivos de no poder clasificar o validar un mensaje para aplicar el conocimiento al campo y generar así una gama de opciones como posibles soluciones.

Capítulo 9

Productividad académica

En el año 2014 se participó en el Encuentro Nacional de Ciencias de la Computación (ENC) con el artículo de *Diseño e implementación de un puente entre las redes inalámbricas de sensores y HL7* donde en un entorno relacionado con las redes inalámbricas de sensores inalámbricos, se proponen dos plantillas que siguen la estructura de estándares de la familia HL7. Una plantilla es para generar mensajes que contengan variables fisiológicas, la otra plantilla es para generar un documento HL7 que contenga las lecturas de las variables fisiológicas contenidas en los mensajes de la primera plantilla, junto con datos relacionados con el paciente del cual se tomaron las lecturas, así como información de la institución clínica que resguarda esta información, junto con datos tales como observaciones del médico que atiende a paciente [58].

Título = Diseño e implementación de un puente entre las redes inalámbricas de sensores y HL7.

Autores = D. Ojeda-Carreño, J. I. Nieto-Hipólito, M. de los Ángeles Cosío-León, Mabel Vázquez-Briseño, J. D. D. Sánchez-López.

Año = 2014.

ISBN = 978-0-9908236-0-5 90000.

En el año 2017 se trabajó en el artículo *Relevant Tools for Tackling Interoperability Problems on Heterogeneous Electronic Health Record Systems: An Exploratory Research*, donde se provee a los profesionales de salud e investigadores de e-salud de información relevante relacionada con las herramientas con las que se cuenta en la actualidad para lograr la interoperabilidad semántica entre sistemas ECE heterogéneos. Herramientas tales como los estándares de interoperabilidad de la familia HL7 y openEHR, así como la terminología SNOMED-CT, la codificación LOINC, la herramienta de imagenología de DICOM, entre otros elementos [40]. También en el año 2017 se participó en el artículo *The use of standards in embedded devices to achieve end to end semantic interoperability on health systems*, donde se diseñó e implementó una plantilla para lograr la interoperabilidad semántica en un sistema embebido. La plantilla se basó en el estándar de interoperabilidad HL7 V3 que contiene variables fisiológicas y

datos relacionados con el sensor fisiológico que realiza la toma de las lecturas basado en el estándar IEEE1451 y sus hojas de datos electrónicas de transductores [59].

Título = Relevant Tools for Tackling Interoperability Problems on Heterogeneous Electronic Health Record Systems: An Exploratory Research.
Autores = D. Ojeda-Carreño, M. Cosío-León, J. I. Nieto-Hipólito.
Año = 2017.
DOI = dx.doi.org/10.17488/RMIB.38.1.2.

Título = The use of standards in embedded devices to achieve end to end semantic interoperability on health systems.
Autores = M.A. Cosío-León, D. Ojeda-Carreño, J.I. Nieto-Hipólito, J.A. Ibarra-Hernández.
Año = 2017.
DOI = <https://doi.org/10.1016/j.csi.2017.11.006>.

En el año 2015 se colaboró en el artículo *Designing a Gateway IEEE1451-HL7 for E-health Telemonitoring Services*. El artículo se desarrolló como una propuesta a lograr la interoperabilidad a través de la interconexión de dispositivos electrónicos, para lo cual se propuso el diseño del hardware de un *gateway* con conectividad IEEE802.15.4 e IEEE802.15.1 y basado en los estándares IEEE802.11 e IEEE802.3 para generar mensajes generados a partir de una plantilla que sigan la estructura del estándar de mensajería HL7 V3, para posteriormente poder enviar los datos fisiológicos colectados a la nube [60].

Título = Designing a Gateway IEEE1451-HL7 for E-health Telemonitoring Services.
Autores = R. Ramírez Ramírez, M. Cosío León, D. Ojeda Carreño, M. Vázquez Briseño, J. I. Nieto-Hipólito.
Año = 2015.
DOI = [10.1109/ICCSAT.2015.7362927](https://doi.org/10.1109/ICCSAT.2015.7362927).

Bibliografía

- [1] L. A. Winters-Miner, P. S. Bolding, J. M. Hilbe, M. Goldstein, T. Hill, R. Nisbet, N. Walton, and G. D. Miner, “Chapter 5 - electronic medical records: Analytics best hope,” 2015, pp. 74–86.
- [2] M. Gaynor, F. Yu, C. H. Andrus, S. Bradner, and J. Rawn, “A general framework for interoperability with applications to healthcare,” *Health Policy and Technology*, vol. 3, pp. 3–12, 2014.
- [3] R. LeBlond, D. Brown, M. Suneja, and J. Szot, *DeGowins Diagnostic Examination*. McGraw-Hill Medical, 2015.
- [4] A. A. Bui and R. K. Taira, Eds., *Medical Imaging Informatics*. Springer Science + Business Media, 2010. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-0385-3>
- [5] H. Cripps and C. Standing, “The implementation of electronic health records: A case study of bush computing the ngaanyatjarra lands,” *International Journal of Medical Informatics*, vol. 80, pp. 841–848, 2011.
- [6] T. S. D. Silva, D. MacDonald, G. Paterson, K. C. Sikdar, and B. Cochrane, “Systematized nomenclature of medicine clinical terms (snomed ct) to represent computed tomography procedures,” *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 101, pp. 324–329, 2011.
- [7] W. Hasselbring, “System design and architecture federated integration of replicated information within hospitals,” *International Journal on Digital Libraries*, vol. 1, pp. 192 – 208, 1997.
- [8] B. Kamsu-Foguem, “Systemic modeling in telemedicine,” *Elsevier Masson*, pp. 57–65, 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurtel.2014.04.002>
- [9] M. López-Nores, Y. Blanco-Fernández, J. J. Pazos-Arias, and J. García-Duque, “The icabinet system: Harnessing electronic health record standards from domestic and mobile devices to support better medication adherence,” *Computer Standards & Interfaces*, pp. 109 – 116, 2012.

- [10] S. Sachdeva and S. Bhalla, “Semantic interoperability in standardized electronic health record databases,” *J. Data and Information Quality*, vol. 3, pp. 1–37, 2012. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1145/2166788.2166789>
- [11] H. El-SappaghShaker and S. El-Masri, “A distributed clinical decision support system architecture,” *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, pp. 69 – 78, 2014.
- [12] “Ieee standard glossary of software engineering terminology,” *IEEE Std 610.12-1990*, pp. 1–84, 1990.
- [13] C. M. Costa, M. M. Tortosa, and J. T. F. Breis, “Clinical data interoperability based on archetype transformation,” *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 44, pp. 869–880, 2011.
- [14] N. Sabooniha, D. Toohy, and K. Lee, “An evaluation of hospital information systems integration approaches,” in *Proceedings of the International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics*. ACM, 2012, pp. 498–504. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1145/2345396.2345479>
- [15] M. Miranda, M. Salazar, FilipePortela, M. Santos, A. Abelha, J. Neves, and J. Machado, “Multi-agent systems for {HL7} interoperability services,” *Procedia Technology*, vol. 5, pp. 725–733, 2012.
- [16] SNOMED-CT, “Systematized nomenclature of medicine-clinical terms / international health terminology standards development organisation (ihtsdo),” *cited Feb 10, 2016*. [Online]. Available: <http://www.ihtsdo.org/>
- [17] LOINC, “Logical observation identifiers names and codes,” *cited Feb 10, 2016*. [Online]. Available: <http://loinc.org>
- [18] S. Yance, C. N. nez, J. Díaz, and J. Cardona, “Seguimiento de pacientes en estado postoperatorio de cirugías ambulatorias a través de la web,” 2013. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.14482/sun.30.1.4340>
- [19] H. Kabsu, J. Minwoo, and C. Jeonghun, “Implementation of the personal health-care services on automotive environments,” *Springer*, 2014.
- [20] I. KIRBAS and C. BAYILMIS, “Healthface: A web-based remote monitoring interface for medical healthcare systems based on a wireless body area sensor network,” *Turkish Journal of Electrical Engineering Computer Sciences*, 2012.
- [21] P. Arpaia, P. Cimmino, E. D. Matteis, G. Montenero, G. Manna, and S. Maugeri, “Integrated telemedicine systems: Patient monitoring, in-time prognostics, and diagnostics at domicile,” *Elservier*, pp. 273–328, 2012.

- [22] C. Cavero, C. Lagunar, J. M. Rodríguez, A. M. Quintero, I. Ramos, I. Martínez, M. Sanguino, and T. Pariente, “yourehrm: standard-based management of your personal healthcare information,” *IEEE*, pp. 89 – 92, 2014.
- [23] “openehr,” *cited Feb 10, 2016*. [Online]. Available: <http://www.openehr.org/>
- [24] B. Qureshi, “Towards a digital ecosystem for predictive healthcare analytics,” *ACM*, 2014.
- [25] S. S. Jelber, W. Szymon, M. Wojtek, and F. Ken, “Implementing an integrative multi-agent clinical decision support system with open source software,” *Springer Science+Business Media*, 2012.
- [26] HL7, “Health level seven,” *cited Feb 10, 2016*. [Online]. Available: <http://www.hl7.org/>
- [27] J. L. C. de Moraes, W. L. de Souza, L. F. Pires, and A. F. do Prado, “A methodology based on openehr archetypes and software agents for developing e-health applications reusing legacy systems,” *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 134, pp. 267 – 287, 2016.
- [28] P. V. Marques, J. P. Almeida, S. Frade, G. B. Silva, S. Robles, and R. C. Correia, “Openehr aware multi agent system for inter-institutional health data integration,” in *2014 9th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 2014, pp. 1–6.
- [29] V. Carchiolo, A. Longheu, M. Malgeri, and G. Mangioni, “Multisource agent-based healthcare data gathering,” *Proceedings of the 2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, vol. 5, pp. 1723–1729, 2015.
- [30] M. Miranda, G. Pontes, A. Abelha, J. Neves, and J. Machado, “Agent based interoperability in hospital information systems,” 2012, pp. 949–953.
- [31] J. J. Gómez-Sanz, C. R. Fernández, and J. Arroyo, “Model driven development and simulations with the {INGENIAS} agent framework,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 18, pp. 1468 – 1482, 2010.
- [32] J. Pavón, J. Gómez-Sanz, A. Fernández-Caballero, and J. J. Valencia-Jiménez, “Development of intelligent multisensor surveillance systems with agents,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 55, pp. 892 – 903, 2007.
- [33] M. J. North and C. M. Macal, *Agent Based Modeling and Computer Languages*. Springer New York, 2012, pp. 58–75. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1800-9_4

- [34] I. Cabral, A. Grilo, A. Goncalves-Coelho, and A. Mourao, “An agent based model for analyzing the impact of business interoperability on the performance of cooperative industrial networks,” *Data & Knowledge Engineering*, vol. 105, pp. 107 – 129, 2016.
- [35] Z. Liu, D. Rexachs, F. Epelde, and E. Luque, “An agent-based model for quantitatively analyzing and predicting the complex behavior of emergency departments,” *Journal of Computational Science*, vol. 21, pp. 11 – 23, 2017.
- [36] L. Cardoso, F. Marins, F. Portela, A. Abelha, and J. Machado, “Healthcare interoperability through intelligent agent technology,” *Procedia Technology*, vol. 16, pp. 1334–1341, 2014.
- [37] H. Randa, B. Hatem, and H. K. Ahmed, “Interoperability for medical information systems: an overview,” *Health and Technology*, vol. 4, pp. 261–272, 2014.
- [38] K. C. Nanji, J. M. Rothschild, J. J. Boehne, C. A. Keohane, J. S. Ash, and E. G. Poon, “Unrealized potential and residual consequences of electronic prescribing on pharmacy workflow in the outpatient pharmacy,” *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 21, pp. 481–486, 2014.
- [39] P. C. Tang, J. S. Ash, D. W. Bates, J. M. Overhage, and D. Z.Sands, “Personal health records: Definitions, benefits, and strategies for overcoming barriers to adoption,” *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 13, pp. 121–126, 2006.
- [40] D. Ojeda-Carreño, M. Cosío-León, and J. Nieto-Hipólito, “Relevant tools for tackling interoperability problems on heterogeneous electronic health record systems: An exploratory research,” *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, vol. 38, pp. 25–37, 2017.
- [41] R. Dolin and L. Alschuler, “Approaching semantic interoperability in health level seven,” *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA*, vol. 18, pp. 99–103, 2011. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1136/jamia.2010.007864>
- [42] T. Benson, “Principles of health interoperability hl7 and snomed,” *Health Information Technology Standards*, 2012.
- [43] D. Boscá, J. A. Maldonado, D. Moner, and M. Robles, “Automatic generation of computable implementation guides from clinical information models,” *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 55, pp. 143–152, 2015.
- [44] J. Allones, M.Taboada, D. Martinez, R. Lozano, and M. Sobrido, “{SNOMED} {CT} module-driven clinical archetype management,” *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 46, pp. 388–400, 2013.

- [45] P. K. Whelton, R. M. Carey, W. S. Aronow, D. E. Casey, K. J. Collins, C. D. Himmelfarb, M. D. Sondra, S. Gidding, A. J. Kenneth, D. W. Jones, E. J. MacLaughlin, P. Muntner, B. Ovbiagele, S. C. Smith, C. C. Spencer, R. S. Stafford, S. J. Taler, R. J. Thomas, K. A. Williams, J. D. Williamson, and T. W. Jackson, “2017 acc/aha/aapa/abc/acpm/ags/apha/ash/aspc/nma/pcna guideline for the prevention, detection, evaluation, and management of high blood pressure in adults,” *Hypertension*, 2017.
- [46] U. Wilensky and W. Rand, *An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. The MIT Press, 2015, vol. 68.
- [47] M. Wooldridge, *An Introduction tu MultiAgent Systems*. Wiley, 2009.
- [48] A. A. Hopgood, *Intelligent Systems for Engineers and Scientists*, 2001.
- [49] J. J. Gómez-Sanz and R. Fuentes, “Agent oriented software engineering with ingenias,” 2003.
- [50] “Grasia,” *cited Feb 10, 2016*. [Online]. Available: <http://grasia.fdi.ucm.es/>
- [51] “Ingenias,” *cited Feb 10, 2016*. [Online]. Available: <http://ingenias.sourceforge.net/>
- [52] B. Langguth, P. M. Kreuzer, T. Kleinjung, and D. D. Ridder, “Tinnitus: causes and clinical management,” *The Lancet Neurology*, vol. 12, pp. 920 – 930, 2013.
- [53] A. P. Islamian, G. Lutjens, and J. K. Krauss, “Microvascular decompression of the eighth cranial nerve for unilateral pulsatile tinnitus,” *Clinical Neurology and Neurosurgery*, vol. 117, pp. 102 – 106, 2013.
- [54] C. Farquhar, “Taking america’s blood pressure: a public health response to pandemic hypertension,” *Public Health*, vol. 129, pp. 1000 – 1002, 2015.
- [55] W. Rand and R. T. Rust, “Agent-based modeling in marketing: Guidelines for rigor,” vol. 28, 2011.
- [56] “Netlogo,” *cited Feb 10, 2016*. [Online]. Available: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- [57] “The r foundation,” *cited Feb 10, 2016*. [Online]. Available: <https://www.r-project.org/about.html>
- [58] D. Ojeda-Carreño, J. I. Nieto-Hipólito, M. de los Ángeles Cosío-León, and J. D. D. Sánchez-López, “Diseño e implementación de un puente entre las redes inalámbricas de sensores y hl7,” 2014.

- [59] M. A. Cosío-León, D. Ojeda-Carreño, J. Nieto-Hipólito, and J. Ibarra-Hernández, “The use of standards in embedded devices to achieve end to end semantic interoperability on health systems,” *Computer Standards & Interfaces*, 2017.
- [60] R. Ramírez-Ramírez, M. Cosío-León, D. Ojeda-Carreño, M. Vázquez-Briseño, and J. I. Nieto-Hipólito, “Designing a gateway iee1451-hl7 for e-health telemonitoring services.”