

Sistema Experto para el desarrollo de soluciones de interoperabilidad en Sistemas de Información para Laboratorios Clínicos basado en el Estándar Internacional HL7*

Expert System for the development of interoperability solutions in information Systems for Clinical Laboratory based on the HL7 International Standard

Système expert pour le développement des solutions d’interopérabilité en systèmes d’information pour laboratoires cliniques basé sur le standard international HL7

Mónica Yaneth Acosta Caicedo

Estudiante de pregrado de Ingeniería de Sistemas
Investigadora Grupos IDIS y GIT, Universidad del Cauca
Correo: myacosta@unicauca.edu.co

Iván Guillermo Arteaga Cabrera

Estudiante de pregrado de Ingeniería de Sistemas
Investigador Grupos IDIS y GIT, Universidad del Cauca
Correo: iarteaga@unicauca.edu.co

Carolina González Serrano

Doctora en Tecnologías de la Información, Universidad de Vigo, España
Investigadora Grupo Investigación y Desarrollo de Software (IDIS)
Profesora Asociada, Universidad del Cauca
Correo: cgonzals@unicauca.edu.co

* Artículo resultado del proyecto de investigación: “MD-HELFF: A Model-Driven Development Framework for Semantically Interoperable Health Information Systems”, en el que participó la Universidad del Cauca y el eHealth Competence Regensburg en Alemania. Financiado por la Universidad del Cauca, línea de investigación en eSalud. Fecha de inicio marzo de 2009, finalización marzo de 2010. Agradecemos la especial colaboración del Ing. Mario Enrique Cortés, por su disposición y valiosos aportes durante la realización de este trabajo.

Diego Mauricio López Gutiérrez

Doctor en Ciencias Biomédicas, Universidad de Regensburg, Alemania

Investigador Grupo de Ingeniería Telemática (GIT)

Profesor Asociado, Universidad del Cauca

Correos: dmlopez@unicauca.edu.co, dmlopezdmlopez@gmail.com

Tipo de artículo: Investigación científica y tecnológica

Recepción: 2010-10-15

Revisión: 2011-01-28

Aprobación: 2011-02-01

Contenido

1. Introducción
2. Contexto específico del problema y estado del arte
3. Métodos
4. Resultados del proceso de desarrollo
5. Proceso de evaluación
6. Resultados
7. Discusión
8. Conclusiones
9. Glosario
10. Lista de referencias

Resumen

Especialmente en el contexto de proyectos nacionales en países industrializados, se ha demostrado que la disponibilidad de sistemas de información integrados incrementa la eficiencia de los sistemas de salud y por lo tanto tiene una influencia positiva en la mejora de los servicios de atención a los ciudadanos. Este artículo presenta un Sistema Experto para el apoyo a la construcción de aplicaciones de interoperabilidad en el área de salud. La herramienta desarrollada: Laboratory System Mapping Software (LSMS) hace uso de la capacidad que tienen los sistemas expertos para gestionar conocimiento relativo a un dominio en concreto, y de los procesos de inferencia que permiten reproducir la respuesta que ofrecería un experto del dominio a un problema planteado. En concreto, el LSMS ofrece soporte a analistas de sistemas de información en salud, en

el proceso de mapeo de modelos *Entidad Relación* a modelos de información del estándar más utilizado internacionalmente para la interoperabilidad entre sistemas de información en salud: el estándar HL7. El sistema soporta el desarrollo de interfaces software para el caso de uso de órdenes de laboratorio definidos por la organización HL7 Colombia. En este trabajo, además del proceso de desarrollo del sistema, se presentan los resultados de la evaluación de la calidad los mapeos obtenidos con el LSMS, a partir de la evaluación de métricas de completitud y validez de los mapeos. Como resultado de la evaluación, se concluye que el mapeo generado por la herramienta es de mejor calidad semántica, en comparación con los mapeos realizados de forma manual.

Palabras clave

Health Level Seven, Interoperabilidad, Red semántica, Sistema experto, Sistemas de información para laboratorios.

Abstract

Especially in the context of national projects in industrialized countries, it has been demonstrated that the availability of integrated information systems increases the efficiency of health systems and therefore has a favorable impact on the improvement of health care services for the citizens. This paper presents an Expert System to support the development of interoperability solutions in the healthcare area. The developed tool: an LSMS (Laboratory System Mapping Software) use the capability of expert systems to manage knowledge related to a specific field and the inference processes which allows reproducing the response that a domain expert would provide to a specific problem. Specifically, the developed LSMS offers support to health information systems analysts in the mapping process of Entity Relationship models to information models, which are represented using the most used international standard for interoperability in healthcare: the HL7 standard. The system supports the development of software interfaces for the usage case of laboratory orders as defined by the HL7 organization in Colombia. In this work, in addition to the development process of the system, an evaluation of the quality of mappings obtained from the LSMS, based on completeness and validity metrics, is presented. As a result of the evaluation, we conclude that the mapping generated by the tool has a better semantic quality, compared to that of a manually performed mapping.

Keywords

Expert system, Health Level Seven, Interoperability, Laboratory information systems, Semantic network.

Résumé

Spécialement dans le contexte des projets nationaux dans pays industrialisés, a été démontré que la disponibilité des systèmes d'information intégrés augmente l'efficacité des systèmes de santé et par conséquent a une influence positive sur l'amélioration des services d'attention de santé pour les citoyens. Cet article présente un Système Expert pour le support à la construction d'applications d'interopérabilité dans le milieu de la santé. L'outil développé : le LSMS (*Laboratory System Mapping Software*, d'après ses sigles en anglais) utilise la capacité qu'ont les systèmes experts pour gérer connaissance relative à un domaine concret et des processus d'inférence qui nous permettent reproduire la réponse qui nous offrirait un expert du sujet par rapport à un problème posé. Le LSMS offre de support aux analystes de systèmes d'information de la santé, dans le procès de projection (*mapping*) des modèles Entité/Relation à modèles d'information du standard le plus utilisée internationalement pour l'interopérabilité entre systèmes d'information de la santé : le standard HL7. Le système support le développement des interfaces logicielles pour le cas d'usage d'ordres de laboratoire définis pour l'organisation HL7 Colombie. Dans ce travail en plus du procès de développement du system, on présente les résultats de l'évaluation de la qualité des *mappings* obtenus avec le LSMS, à partir de l'évaluation des métriques de complétude et validité des *mappings*. Comme résultat de l'évaluation, on conclut que le *mapping* est d'une meilleure qualité sémantique, par rapport aux *mappings* réalisés de manière manuel.

Mots-clés

Health Level Seven, Interopérabilité, Réseau sémantique, Système expert, Systèmes d'information pour laboratoires.

1. Introducción

Especialmente en países industrializados, se ha demostrado que la disponibilidad de sistemas integrados de información incrementa la eficiencia de los sistemas de salud, y por lo tanto tiene una influencia directa en la mejora de los servicios de atención en salud a los ciudadanos (OMS, 2008). Sin embargo, dada la complejidad de la información y procesos en salud, y especialmente a la variedad de sistemas de información existentes, esta integración no es técnica ni organizacionalmente simple. Desde el punto de

vista de la aplicación de las tecnologías de la información y las comunicaciones a la salud (eSalud), una solución actualmente en desarrollo, es el uso de sistemas de información que se comunican mediante "un mismo lenguaje", basados en modelos de referencia, vocabularios, terminologías y ontologías biomédicas comunes. De esta forma los sistemas son capaces de manera autónoma de interpretar y usar la información que reciben (ISO/DTR, 2005). A este mecanismo avanzado de comunicación se le denomina "interoperabilidad semántica".

La interoperabilidad es definida como la capacidad que tienen dos o más sistemas para intercambiar información y usarla efectivamente para diferentes propósitos (IEEE, 1990), (Rosic, 2004). Según esta definición, asegurar interoperabilidad implica no solo intercambio de información, sino también de uso, lo cual no puede ser garantizado sin entender previamente el significado de la información (interoperabilidad semántica). Sin embargo, lograr interoperabilidad semántica no es sencillo, se requiere que los sistemas involucrados sean capaces de interpretar el significado de la información que reciben, independiente de su estructura y representación.

La familia de estándares Health Level Seven (HL7) es uno de los estándares más usados a nivel mundial para soportar la interoperabilidad semántica entre aplicaciones en el dominio de salud, ya que provee una serie de mensajes de referencia para diferentes escenarios de integración (Health-Level 7, 2009). Estos mensajes están basados en un modelo de referencia común (RIM) (HL7 Reference Information Model, 2009) y en un vocabulario propio. Cuando se van a desarrollar soluciones de interoperabilidad, por ejemplo la integración de un sistema A y B, deben crearse interfaces HL7 (aplicaciones específicas a manera de traductores) para cada sistema por interconectar. Para crear esas interfaces, el analista de sistemas o arquitecto de software debe realizar un mapeo semántico de los modelos de información de cada sistema (comúnmente modelos Entidad Relación), a los modelos de información estándar definidos por HL7 (como son los modelos R-MIM, HMD) (Spahni & Mercille, 2007). Sin embargo, realizar este mapeo es complejo y propenso a errores, debido a que el analista necesita estar familiarizado con el dominio de aplicación en salud y conocer en profundidad los modelos de información HL7, su vocabulario, tipos de datos y sintaxis (López, 2009). A esto se suman las inconsistencias presentes en los modelos (por ejemplo, los conceptos representados con términos diferentes en los distintos modelos) y la pobre documentación con la que viene acompañado el estándar (Smith & Ceusters, 2006). Este problema de

complejidad en el mapeo semántico es particular para cada uno de los más de setecientos escenarios de integración cubiertos por HL7, pues cada uno de ellos define especializaciones del modelo de referencia RIM (denominadas D-MIMs), de acuerdo a las particularidades de cada escenario de integración (denominado caso de uso en el contexto de HL7) y a los vocabularios y terminologías definidos en cada dominio.

El objetivo de este proyecto de investigación es formular y evaluar un enfoque metodológico basado en las tecnologías de la información avanzadas como son los sistemas expertos, para soportar el mapeo semántico de modelos ER de sistemas de información para laboratorios clínicos, al estándar HL7 para laboratorios clínicos definido en Colombia. Este trabajo pretende contribuir a la adaptación e implantación del estándar internacional HL7 en Colombia impulsado por la fundación HL7 Colombia (HL7 Colombia, 2009). Hoy en día se tiene en el país un estándar localizado (adaptado a los requerimientos del sistema de salud colombiano) para laboratorios y se espera en los próximos dos años contar con un estándar para imágenes médicas, medicamentos e historias clínicas electrónicas. Además de la localización de estándares, hay una necesidad en Colombia de expertos en HL7 y herramientas informáticas para el desarrollo de soluciones de interoperabilidad basadas en HL7 como las que propone este trabajo.

2. Contexto específico del problema y estado del arte

El documento donde el médico registra un determinado número de pruebas de laboratorio que deben practicarse a un paciente es conocido como una orden de laboratorio. En la mayoría de los centros asistenciales, el intercambio de información de dichas órdenes se hace de forma manual, y otras veces digitando la información en un LIMS (Laboratory Information Management System) a partir de una orden en papel generada por un sistema de información de la entidad remitora (Cortes, 2009). Este procedimiento manual se convierte en un cuello de botella dentro del proceso asistencial, debido al tiempo que requiere y a la incidencia eventual de errores de transcripción, generando sobrecostos en tiempo de respuesta, uso de papel y corrección de errores humanos (Cortés, 2009).

Una unidad de laboratorio en un centro asistencial de segundo nivel procesa un promedio diario de 300 pruebas de laboratorio (Cortés, 2009), lo que demuestra que se trata de un flujo considerable de información y un

escenario importante para implementar una solución estándar de interoperabilidad basada en HL7, por lo que se hace necesario el desarrollo de soluciones que permitan mejorar la capacidad de generar interfaces para este dominio.

La generación de interfaces no es un procedimiento sencillo, ya que se deben realizar mapeos entre modelos no homogéneos; lo cual hace indispensable la presencia de un experto con conocimiento en los modelos de información HL7, en las especificaciones del estándar y en los modelos de información particulares a cada centro asistencial. Anteriormente se han desarrollado propuestas para apoyar mediante herramientas inteligentes el mapeo semántico de modelos, como la de T. Pedersen, en la que se establece la similitud semántica de conceptos, a partir de la relación que hay entre el contexto de una palabra y los conceptos asociados a ella, haciendo uso de diccionarios ontológicos de terminología médica tales como SNOMED-CT (Systematized Nomenclature of Medicine, Clinical Terms), MeSH (Medical Subject Headings) y de algoritmos para la estimación de costes en la búsqueda de caminos, en un árbol de jerarquía de conceptos (Pedersen & Serguei & Patwardhan & Chute, 2006). Otras propuestas incluyen la de Patwardhan (Patwardhan & Pedersen, 2006) y (Patwardhan, 2003), en la que se desarrollan medidas de relación semántica, que permiten representar un concepto como un vector de contenidos, en el que la medida se basa en la construcción de vectores de co-ocurrencia que representan el perfil conceptual de los conceptos; el coseno de los ángulos entre vectores correspondientes a dos conceptos dados determina la relación de esos conceptos.

Las aproximaciones anteriores, sin embargo, no siempre brindan el mejor soporte al mapeo semántico de modelos ER de sistemas de información para laboratorios clínicos al estándar internacional HL7, debido a que existen diferencias en las normativas que se usan en cada país. Colombia por ejemplo, hace uso de los códigos propios para los procedimientos en salud denominados CUPS, lo cual difiere del estándar internacional usado para procedimientos denominado LOINC. Otra dificultad es la interpretación y conceptualización de estos códigos, que depende del conocimiento y experiencia de personal especializado tanto en laboratorios clínicos, como en el estándar HL7. Por esta razón se consideró usar una solución basada en sistemas expertos; ya que es un experto en el dominio del problema, quien puede ayudar en la definición correcta de los elementos del modelo por mapear y de los modelos de información HL7.

3. Métodos

Los Sistemas Expertos son una rama de la Inteligencia Artificial que hacen uso de conocimiento especializado para resolver problemas como un especialista humano, emulando los patrones de razonamiento del experto en un área específica (Soto, 2002), con capacidad para almacenar conocimiento relativo a un campo en concreto y de los procesos de inferencia que permiten reproducir la respuesta que un experto del dominio ofrecería a un problema planteado. El sistema experto desarrollado se denominará en adelante LSMS (Laboratory System Mapping Software).

Para la construcción del sistema experto se adaptó el modelo lineal del ciclo de vida para el desarrollo sistemas expertos, adaptado por Bochsler (Giarratano & Riley 2002). En la siguiente figura se ilustran las diferentes etapas. La descripción de cada etapa se hace en la siguiente sección de resultados del proceso de desarrollo.

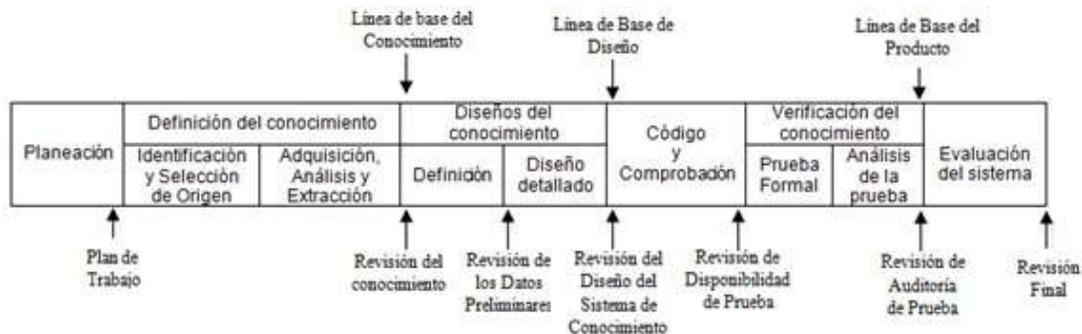


Figura 1. Modelo lineal del ciclo de vida para desarrollar SE adaptado de Bochsler (Giarratano & Riley 2002).

Para la última etapa de evaluación, se desarrolló un experimento piloto basado en métodos empíricos para experimentación en ingeniería de software (Wohlin & Runeson 2000). El experimento consistió en definir dos grupos de analistas de sistemas de información (estudiantes del programa de sistemas con conocimientos en UML y poco conocimiento del estándar HL7), los cuales tenían la tarea de diseñar cada uno una interfaz HL7 para una base de datos de laboratorios. El grupo A realizaría el mapeo semántico del modelo E-R de la base de datos al estándar HL7 para laboratorios usando la documentación incluida en el estándar. De forma paralela, el grupo B se encargaría de este mismo mapeo usando la solución propuesta

(herramienta y conjunto de reglas). La evaluación de la calidad del mapeo semántico la realizó un experto, quien analizó las interfaces resultantes de cada grupo, y determinó cuál de las dos tuvo mayor calidad, usando como métricas la completitud y validez de los modelos propuestos por Lindland (Lindland, 1994).

4. Resultados del proceso de desarrollo

En las siguientes secciones se describen los resultados obtenidos en cada una de las fases del proceso de desarrollo introducido en la sección anterior.

4.1 Definición del conocimiento

Para definir el conocimiento que sería empleado por el LSMS, se realizaron las siguientes tareas.

4.1.1 Identificación y selección del origen

El conocimiento utilizado por el sistema LSMS está basado en la documentación oficial del estándar HL7 para ordenes de laboratorio, concretamente la tabla de descripción jerárquica de la estructura de mensajes de ordenes de laboratorio, POOR_HD200901CO y las plantillas POOR_RM200901CO00 para orden simple y POOR_RM200902CO00 para orden de laboratorio con muestra asociada (HL7 Colombia, 2009). También se usó como documento de referencia para el conocimiento del dominio, la *Guía de Implementación de Mensajes para Casos de Uso de Órdenes de Laboratorio*, que es la adaptación colombiana para el dominio órdenes de laboratorio simples y órdenes con muestra asociada (Cortes, 2009), expedida por la Fundación HL7 Colombia. Esta guía de implementación es una propuesta desarrollada por el Comité Técnico de Caso de Uso de órdenes y resultados de laboratorio clínico de la Fundación HL7 Colombia, en respuesta a la necesidad del uso de interfaces estándar, que faciliten el intercambio electrónico de datos de solicitud de pruebas diagnósticas de laboratorio.

La guía comprende la descripción de estructuras de mensajes HL7 v3 en sintaxis XML para los casos de uso de órdenes de laboratorio (Cortes, 2009). Describe las estructuras que permiten la interacción de mensajes para el intercambio de información de solicitudes de pruebas diagnósticas de laboratorio entre un HIS (Hospital Information System) y un LIMS (Laboratory Information Management System), para los casos de órdenes

simples de pruebas diagnósticas de laboratorio y órdenes de pruebas diagnósticas de laboratorio con una muestra (espécimen) asociado.

Tanto la guía de implementación, como la tabla de descripción jerárquica, condensan casi en su totalidad el conocimiento del experto en el dominio del problema. Convirtiéndose así en la fuente principal de la cual se extrae el conocimiento del sistema experto. Para el conocimiento que no está consignado en estos documentos, se contó con la colaboración del autor principal de la guía y experto en el dominio del problema, quien proporcionó la información y conocimiento no contenido en los documentos mencionados anteriormente.

4.1.2 Adquisición, análisis y extracción del conocimiento

La adquisición, análisis y extracción del conocimiento se realizó por medio de las siguientes sub-tareas.

- **Definición de la estrategia de adquisición del conocimiento.** La estrategia de adquisición del conocimiento se definió en dos etapas. La primera correspondió a la participación en los ciclos de mesas de trabajo, citadas por el *Comité Técnico de Casos de Uso* de órdenes y resultados de laboratorio de la fundación HL7 Colombia, que permitió obtener un conocimiento referente a las relaciones y significado de términos empleados en la guía de implementación y las tablas de descripciones jerárquicas. La segunda etapa correspondió a la adquisición de conocimiento a través de la lectura y análisis de la información contenida en la *guía de implementación de mensajes para casos de uso de órdenes de laboratorio*, además del análisis detallado de la *tabla de descripciones jerárquica de la estructura de mensajes de órdenes de laboratorio*. La correcta interpretación de esta guía y tabla se logró con la colaboración del experto del dominio.

La segunda etapa se llevó a cabo durante todo el ciclo de vida del sistema experto, con el objetivo de depurar incrementalmente la memoria global de datos y la base de conocimiento, hasta obtener una versión estable y definitiva.

- **Clasificación del conocimiento.** El conocimiento se clasificó en dos grupos principales, conceptos y relaciones.

Conceptos. Contiene los elementos o conceptos que son relevantes para la guía de implementación, como para la tabla de descripción jerárquica. Los conceptos se clasificaron de forma jerárquica, para que guardaran conformidad con las plantillas de mensajes POOR_RM200901CO00 y POOR_RM200902CO00. Un ejemplo de conceptos son: documento, laboratorio, médico, transcriptor, entidad prestadora de salud, orden de laboratorio, espécimen, etc.

Relaciones. Contiene los flujos que permiten relacionar los conceptos contenidos en la guía de implementación y las tablas de descripciones jerárquicas. Un ejemplo de ello son: es una, labora dentro de, tiene, está formada por, son remitidas por, etc.

4.2 Diseño del conocimiento

Con el diseño del conocimiento se obtuvo en detalle el diseño del sistema experto. Para lograrlo se definieron una serie de sub-tareas que cubrían las tareas de definición del conocimiento y diseño detallado planteadas en el modelo del ciclo de vida de Bochsler (Figura 1).

4.2.1 Definición del conocimiento

Tras identificar los conceptos y las relaciones entre ellos, el conocimiento abstraído en la etapa de: *adquisición, análisis y extracción del conocimiento*, fue representado en una red semántica o red de proposiciones. Proposiciones como "un paciente es una persona" o "medico atiende paciente", son formas de conocimiento declarativo, porque establecen hechos. Dichas proposiciones siempre son verdaderas o falsas y son llamadas atómicas porque su veracidad ya no puede dividirse más (Giarratano & Riley 2002).

La red semántica permite expresar el conocimiento en términos de conceptos, sus propiedades, y la relación jerárquica sub/superclase entre conceptos, lo cual se acerca al proceso de jerarquización de conceptos realizado en las anteriores etapas. Además, las redes semánticas se enfocan en el análisis y el significado de palabras en frases, lo cual fue un elemento primordial en la abstracción del conocimiento de los documentos mencionados en la etapa de definición del conocimiento.

El tipo de red empleada para construir el LSMS se denomina "red asociativa", este tipo de red permite representar el significado o semántica

"Revista Virtual Universidad Católica del Norte". No. 32, (febrero-mayo de 2011, Colombia), acceso: [<http://revistavirtual.ucn.edu.co/>], ISSN 0124-5821 - Indexada Publindex-Colciencias (B), Latindex, EBSCO Information Services, Redalyc y en el Índice de Revistas de Educación Superior e Investigación Educativa (IRESIE) de la Universidad Autónoma de México. **[pp. 73-103]**

de oraciones, en términos de objetos y relaciones, además de representar también asociaciones o causales entre varios conceptos u objetos (Fernández, 2004). En una "red asociativa" los nodos están asociados o relacionados con otros nodos. De este modo cuando un nodo se estimula al leer las palabras de una frase, tal como "un contenedor almacena espécimen", sus vínculos con otros nodos se activan en un patrón de dispersión, en este caso, el nodo espécimen se activaría y sus vínculos con otros nodos también, concluyendo que "un contenedor almacena un espécimen que se extrae de un paciente".

La representación del conocimiento del LSMS por medio de una red semántica le dio simpleza al sistema, facilitó el refinamiento y actualización del conocimiento.

La elaboración de la red conllevó una serie de fases, que se explican a continuación.

- **Selección de elementos (arcos, nodos) de la red.** La selección de elementos buscó determinar qué conceptos y relaciones (extraídos en la fase de clasificación de conocimiento) permitían modelar completamente los flujos de trabajo al interior de los laboratorios clínicos, para los casos de uso de órdenes de laboratorios.
- **Construcción de la red.** Se conectaron los elementos (nodos y arcos) de la red, y se verificó que la red fuera conexa.
- **Verificación del contenido de la red.** La verificación del contenido de la red se hizo recorriendo los elementos de ésta, y validando que las proposiciones generadas entre nodos y grupos de nodos fueran consecuentes con la información contenida en la guía de implementación y las tablas de descripciones.
- **Refinamiento de los conceptos y relaciones de la red.** El refinamiento de conceptos se realizó en conjunto con el experto, y permitió eliminar conceptos y relaciones que no tenían importancia para el escenario de interoperabilidad, ayudó a definir elementos adicionales de la red que no estaban contenidos en la guía de implementación y las tablas de descripciones, y permitió asociar relaciones cuyo significado era equivalente, dentro de una sola expresión, es el caso de relaciones como "es" la cual sirve para representar a las relaciones "es un", "es una".

- **Establecimiento de nodos (conceptos) contenedores.** Para permitir tener conformidad con el estándar HL7 y en especial con el dominio (una parte del estándar) Órdenes y Observaciones (Cortes, 2009) sobre el que se desarrolla el escenario de interoperabilidad de un laboratorio clínico, se vio la necesidad de incluir en la red nuevos nodos (conceptos), que permitieran agrupar en su totalidad los nodos de la red. Estos nuevos nodos se clasificaron como “conceptos generales”, y fueron claves en la construcción del LSMS. Los conceptos contenedores identificados fueron: *documento, lugar, elemento o material físico, sustancia, información adicional, descriptores adicionales, proceso, organización, medida, dirección de telecomunicaciones, persona, dispositivo, unidad de tiempo, dato personal, código y nombre o sustantivo.*

En la selección de los conceptos generales, se buscó que en su mayoría tuvieran concordancia con los conceptos del RIM, de forma tal que el conocimiento contenido en la red semántica fuera una especificación detallada del RIM, en el caso especial para orden simple y orden con muestra asociada.

- **Verificación de la red por parte del experto.** La verificación por parte del experto contribuyó a determinar que la red era coherente, completa y que contenía los elementos necesarios de la representación del conocimiento del experto. En la Figura 2 se muestra la red semántica obtenida.

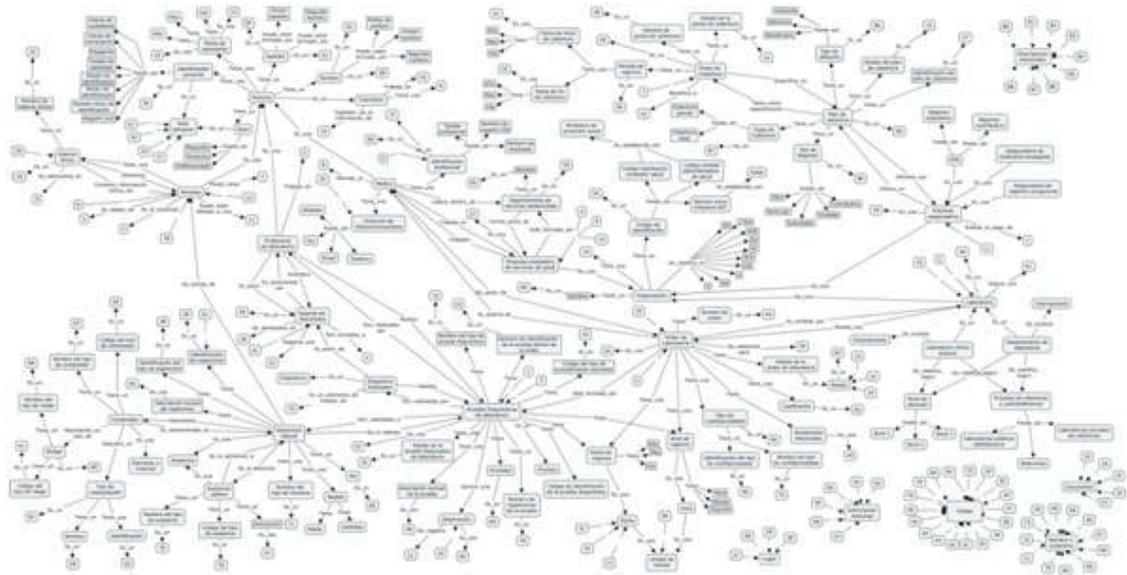


Figura 2. Red semántica para representación del conocimiento del LSMS.

4.2.2 Diseño detallado del sistema experto

El sistema experto del LSMS está basado en reglas de producción, debido a que las reglas son uno de los modelos de representación del conocimiento más ampliamente utilizados y resultan muy apropiados en situaciones en las que el conocimiento que se desea representar surge de forma natural con estructura de reglas (García, González, Vivancos & Botti, 2006). El tipo de inferencia que realiza es “encadenamiento hacia adelante” (razonamiento que va de los hechos a la conclusión). A continuación se describirá la forma de representación de los elementos del sistema experto.

4.2.2.1 Base de reglas

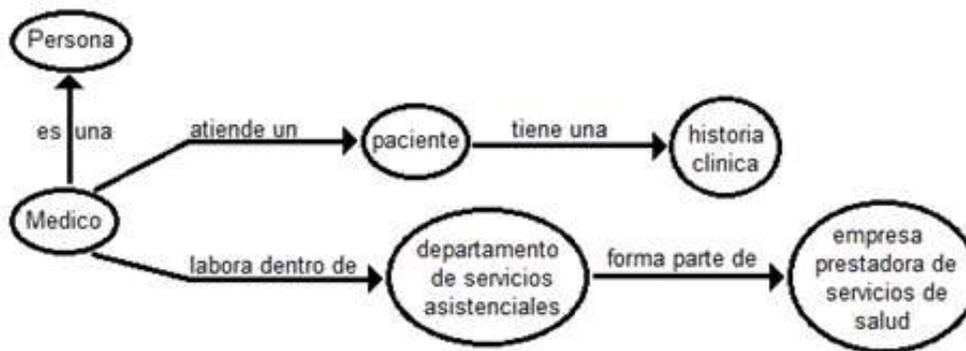


Figura 3. Fragmento de la red semántica del LSMS.

Las reglas de producción se forman con las afirmaciones compuestas (afirmaciones que relacionan dos nodos sobre los que existe un camino, pero no son adyacentes) o grupo de afirmaciones compuestas que se pueden realizar a partir de la red semántica; por lo tanto, un camino entre dos nodos expresaría una regla que permite definir un término de la red y los diversos caminos que existan entre dos nodos representarían un grupo de reglas que definen un único término de la red. Por ejemplo, si se tiene la sub-red (extraída de la red semántica LSMS) de la Figura 3.

Una regla de producción que permita definir el concepto de *médico* para esta sub-red es:

Si es una persona **y** atiende un paciente que tiene una historia clínica **y** labora dentro de un departamento de servicios asistenciales que forma parte de una empresa prestadora de servicios de salud, **entonces**, es un medico.

Establecer la veracidad de una regla corresponde a determinar si las afirmaciones simples que la conforman son verdaderas.

4.2.2.2 Base de hechos

La base de hechos está formada a partir de todas las afirmaciones simples (afirmaciones que relacionan dos nodos adyacentes) obtenidas de la red semántica. Por ejemplo, para la sub-red (extraída de la red principal) de la Figura 3, las siguientes afirmaciones corresponden a hechos del sistema experto.

- Médico es una persona.
- Médico atiende un paciente.
- Paciente tiene una historia clínica.
- Médico labora dentro de departamento de servicios asistenciales.
- Departamento de servicios asistenciales forma parte de empresa prestadora de servicios de salud.

Cada afirmación se considera verdadera, ya que existe dentro de la red semántica.

4.2.2.3 Representación de las reglas y hechos

Teniendo en cuenta las características de extensibilidad, portabilidad y legibilidad que proveen los documentos XML, estos fueron usados en la representación de la base de conocimientos y la memoria de trabajo del sistema experto descritos anteriormente.

Las reglas

En la Figura 4 se presenta un diagrama de la estructura jerárquica del XML para las reglas. En este diagrama, los óvalos corresponden a las etiquetas y los cuadrados a los atributos, y el orden de jerarquía se establece de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.



Figura 4. Esquema de la estructura jerárquica de la representación de las reglas.

Tomando como ejemplo la regla de producción que permite definir el concepto *médico* presentado en la sub-red de la Figura 3, la representación XML de esta regla de acuerdo con la estructura planteada sería:

```
<reglas_red>
  <concepto_general nombre="persona" estado="activo">
    <descripcion>.....</descripcion>
    <concepto_especifico nombre="medico" estado="activo">
      <mapeo>
        <mapeoHL7>.....</mapeoHL7>
        <descripcion>.....</descripcion>
      </mapeo>
      <afirmacion id="01" estado="activo" suficiencia="si">
        <enunciado>
          Es una persona y atiende un paciente que tiene una historia clínica y labora dentro de un departamento de servicios asistenciales que forma parte de una empresa prestadora de servicios de salud
        </enunciado>
        <descripcion>....</descripcion>
        <regla>....</regla>
      </afirmacion>
    </concepto_especifico>
  </concepto_general>
</reglas_red>
```

</concepto_general>

.

<reglas_red>

En esta estructura, la etiqueta "concepto general" hace referencia a los elementos contenedores, determinados en la fase de diseño de la red semántica. Las etiquetas "descripcion" se usan para realizar anotaciones adicionales del contenido de las etiquetas que les preceden. La etiqueta "concepto específico" hace referencia a los elementos de la red que no son conceptos generales. La etiqueta "mapeo" se usa para definir algún tipo de mapeo acerca del concepto específico. La etiqueta "mapeoHL7" permite definir el mapeo específico para el estándar HL7.

En cuanto a los atributos de la etiqueta "afirmación", el atributo "id" es un código único que identifica la regla y se debe determinar teniendo en cuenta las demás afirmaciones, el atributo "estado" es usado para determinar que la regla si se tendrá en cuenta a la hora de cargar las reglas en el LSMS. El atributo "suficiencia" indica si la afirmación realizada es una razón suficiente que permite definir el término a mapear, en este caso "médico". La etiqueta "regla" se usa para escribir la representación del enunciado como regla, al lenguaje sobre el que se vaya a implementar el sistema experto.

Los hechos

En la figura 5 se presenta un diagrama de la estructura jerárquica del XML para los hechos. En este diagrama los óvalos corresponden a las etiquetas y los cuadrados a los atributos, y el orden de jerarquía se establece de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.



Figura 5. Esquema de la estructura jerárquica de la representación de los hechos.

Tomando como ejemplo las afirmaciones simples de la sub-red de la Figura 3.

- Médico es una persona
- Médico atiende un paciente
- Médico labora dentro de departamento de servicios asistenciales

Su representación en la estructura de hechos será la siguiente.

```

<hechos_de_red_semantica>
  <relacion_general nombre="es">
    <relacion>es_un</relacion>
    <relacion>es_una</relacion>
  <grupo_de_hechos nombre="es_medico">
    <hechos id="1" estado="activo">
      <cabeza>medico</cabeza>
      <cola>persona</cola>
    </hechos>
  </grupo_de_hechos>
</relacion_general>
</hechos_de_red_semantica>
  
```

```
</grupo_de_hechos>  
</relacion_general>
```

```
.
```

```
.
```

```
<hechos_de_red_semantica>
```

En cuanto a las etiquetas, la etiqueta "relación general" es el nombre de la relación que agrupa a las relaciones que tienen igual significado, según se estableció en la fase de refinamiento de la red. La etiqueta "relación" contiene las relaciones específicas, que forman parte de la "relación general". Las etiquetas "grupo de hechos", permiten generar grupos de hechos que tienen como elemento común su nodo origen (cabeza), además de su relación.

La etiqueta "hecho" se utiliza para adicionar un hecho de la red y el atributo "id" es un código único consecutivo que identifica a cada hecho de la red. El atributo "estado" es usado para determinar que el hecho se tendrá en cuenta a la hora de cargar la memoria de trabajo en el LSMS.

La etiqueta "cabeza" se usa para designar al nodo origen (nodo en la afirmación del que se origina la relación). La etiqueta "cola" designa el nodo destino (nodo en la afirmación al cual llega la relación).

Los atributos "nombre" sirven para denominar los elementos contenidos en su respectiva etiqueta.

4.3 Código y comprobación

La implantación del sistema experto se hizo en Jess, el cual es un shell para la construcción de sistemas expertos y un lenguaje de scripts escrito totalmente en lenguaje java de Sun Microsystems. Jess hace uso de una forma mejorada del algoritmo Rete, que iguala los patrones o hechos que satisface a una regla y la dispara, permitiéndole así al LSMS concluir un mapeo adecuado para el término buscado.

La base de conocimiento y memoria de trabajo fueron generadas como sentencias de Jess, a partir de los XML de reglas y hechos, que se definieron en la fase previa.

4.4 Verificación del conocimiento y evaluación del sistema

La verificación y evaluación del conocimiento del sistema experto se hizo realizando pruebas de código (utilizando datos de prueba), se observaron los resultados buscando respuestas incorrectas, incompletas e incongruentes dadas por el sistema. Se identificó el origen de las respuestas erróneas, y se procedió a corregir, validando la corrección a través de los mismos datos de prueba.

Un segundo proceso, realizado en primera instancia por los desarrolladores de la solución y posteriormente con ayuda del experto, consistió en la evaluación de los mapeos generados del modelo E-R construido por estudiantes de la asignatura *inteligencia artificial* del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Cauca.

5. Proceso de evaluación

Utilizando métodos empíricos para experimentación en ingeniería de software (Claes, Per & Martin, 2000) se desarrolló un experimento piloto con el propósito de evaluar la calidad semántica de los mapeos de modelos E-R de sistemas de información para laboratorios clínicos, al estándar HL7 para laboratorios clínicos definido en Colombia, generados por la solución LSMS.

La evaluación de la calidad semántica de los mapeos generados con el LSMS estuvo en el "marco de referencia para la calidad de modelos conceptuales de Lindland. Este marco de referencia es el único que tiene una base teórica empíricamente validada (Moody & Sindre & Brasethvik & Solvberg, 2002), (Moody & Sindre & Brasethvik & Solvberg, 2003). Lindland (Lindland Sindre & Solvberg, 1994) fue de los primeros en articular un marco de referencia sistemático para ayudar a entender la calidad en el contexto del modelado conceptual.

El marco de referencia distingue entre tres tipos de calidad de escritura, basado en la correspondencia entre los diferentes grupos de oraciones (Maes & Poels, 2007): calidad sintáctica (correspondencia entre el modelo y el lenguaje), describe qué tanto se adhiere la escritura a las reglas de la gramática. La calidad semántica (es decir, la correspondencia entre el modelo y el dominio) describe qué tanto refleja la escritura la realidad modelada. Por último, la calidad pragmática (es decir, la correspondencia

"Revista Virtual Universidad Católica del Norte". No. 32, (febrero-mayo de 2011, Colombia), acceso: [<http://revistavirtual.ucn.edu.co/>], ISSN 0124-5821 - Indexada Publindex-Colciencias (B), Latindex, EBSCO Information Services, Redalyc y en el Índice de Revistas de Educación Superior e Investigación Educativa (IRESIE) de la Universidad Autónoma de México. **[pp. 73-103]**

entre modelo y la interpretación del usuario) captura qué tanto es entendida la escritura por los usuarios.

El experimento piloto se centró en la evaluación de la calidad semántica de los mapeos generados por la solución LSMS, comparada con la calidad semántica de mapeos generados manualmente.

La calidad semántica define la calidad de un modelo en términos de cómo el modelo describe el dominio. Se considera no solo la sintaxis, sino también la relación entre las sentencias y su significado. La calidad semántica es comúnmente descrita usando atributos de validez y completitud. La validez implica que todas las declaraciones en el modelo son correctas y relevantes para el dominio del problema. La completitud es uno de los elementos que determina la calidad de los modelos conceptuales; se dice que la completitud implica que todas las declaraciones que contiene el modelo sobre el dominio del problema son correctas y relevantes. La revisión de la completitud es una tarea difícil, ya que los interesados no siempre están familiarizados con la estructura de los modelos conceptuales (Zapata & Estrada, 2007). Shanks (1994) define métricas para calcular la completitud según lo definido por Lindland, pero centradas en los modelos de datos (Modelos Entidad-Relación). La evaluación de la completitud se basa en el número de errores mayores y menores que se encuentran en los modelos de datos en comparación con un modelo "correcto" de datos. Los errores importantes incluyen entidades que faltan o relaciones.

6. Resultados

El experimento piloto contó con analistas y arquitectos de sistemas de información sin un conocimiento profundo de los modelos de información HL7 para laboratorios. El experimento se realizó con 14 estudiantes de pregrado de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones del programa de Ingeniería de Sistemas en la Universidad del Cauca – Colombia. Los estudiantes han aprobado tres cursos de ingeniería del software (180 horas en total), dos cursos de bases de datos (120 horas en total) y su respectivo laboratorio (64 horas en total). Los sujetos experimentales fueron asignados aleatoriamente en dos grupos: Grupo A y Grupo B. Los estudiantes del grupo A recibieron previamente el modelo E-R de un sistema de información para órdenes de laboratorio y el respectivo diccionario de datos del modelo para su familiarización, realizaron de forma manual el mapeo semántico del modelo E-R al estándar HL7 órdenes de

“Revista Virtual Universidad Católica del Norte”. No. 32, (febrero-mayo de 2011, Colombia), acceso: [<http://revistavirtual.ucn.edu.co/>], ISSN 0124-5821 - Indexada Publindex-Colciencias (B), Latindex, EBSCO Information Services, Redalyc y en el Índice de Revistas de Educación Superior e Investigación Educativa (IRESIE) de la Universidad Autónoma de México. **[pp. 73-103]**

laboratorio, usando la documentación incluida en el estándar. Ellos además de recibir el modelo, recibieron un XML correspondiente a la orden de laboratorio con muestra asociada, en donde señalaban –a su consideración– la(s) etiqueta(s) que corresponda(n) al mapeo correcto para cada una de las entidades y atributos del modelo E-R.

Los estudiantes del grupo B recibieron el modelo E-R, el diccionario de datos del modelo y el XML de modelo E-R. Utilizando el LSMS, realizaron el mapeo de cada uno de las entidades y atributos del modelo E-R al estándar HL7 para laboratorios clínicos. Cada grupo contó con dos horas para realizar el mapeo.

Adicionalmente, cada grupo recibió la *Guía de implementación de mensajes para casos de uso de órdenes de laboratorio*, como documentación incluida en el estándar y para familiarizar a los sujetos del experimento con el dominio del problema.

Después de realizar el experimento se obtuvieron 14 mapeos (modelos): 7 mapeos desarrollados por el grupo A, y 7 mapeos desarrollados por el grupo B.

Para cada mapeo se calcularon las variables de completitud y validez. Después, la completitud y la validez general se calcularon para los grupos A y B, con el promedio de los resultados obtenidos a partir de los 7 mapeos de cada grupo. Las métricas de completitud y validez total para los grupos A y B se presentan en la Tabla 1 y Figura 6.

	Completitud %		Validez %	
	Grupo A	Grupo B	Grupo A	Grupo B
Entidades	43,09	80,71	88,87	90,98
Atributos	49,97	87,17	80,06	95,81
Promedio	46,53	83,94	84,47	93,39

Tabla 1. Resultados de completitud y validez.

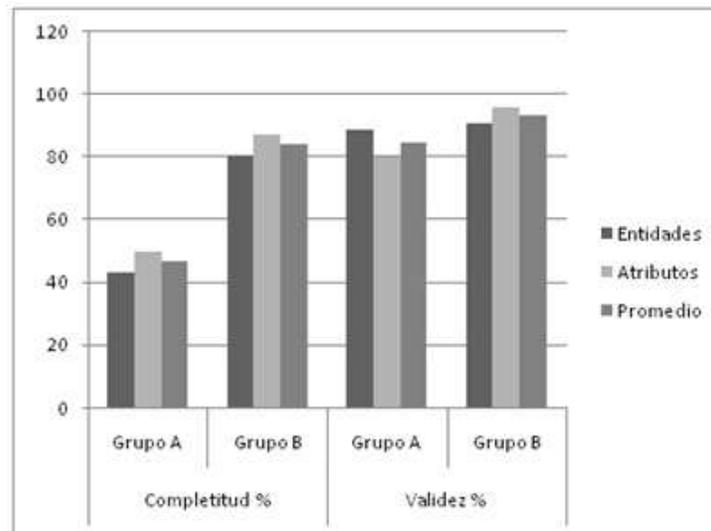


Figura 6. Resultados completitud y validez.

7. Discusión

Los resultados obtenidos de la medición de la calidad semántica de los mapeos de modelos E-R de sistemas de información para laboratorios clínicos al estándar HL7 para laboratorios clínicos definido en Colombia generados por la solución LSMS fueron presentados en la sección anterior. De estos resultados (Tabla 1) se puede decir lo siguiente:

- El promedio en la completitud del grupo B respecto al grupo A, se incrementó en un 37.41%.

El incremento en el porcentaje de completitud del grupo B respecto al grupo A, se debe a que al realizar la prueba con el LSMS, se tiene la ventaja de que el sistema experto le ayuda al usuario (miembros del grupo B) a simplificar el proceso de identificación de mapeos asociados a términos (entidad o atributo del modelo E-R), con el uso de premisas (relacionadas con el dominio de laboratorios clínicos) que lo guían a partir de conceptos generales a conceptos más específicos y de ellos a la

definición de un mapeo para el término (entidad o atributo) del modelo E-R. El grupo A, que realizó la prueba experimental de forma manual, tuvo que efectuar un proceso más complejo y propenso a errores, debido a que no estaban familiarizados con el dominio de aplicación en salud y con los vocabularios, tipos de datos y sintaxis de HL7.

En cuanto a los errores obtenidos al evaluar la completitud de ambos grupos, estos se presentan particularmente porque el usuario mapea de forma errónea una entidad o atributo del modelo E-R y suceden en gran medida debido a una mala interpretación del diccionario de datos del modelo E-R o de las premisas del sistema experto. Pero a pesar de este inconveniente, en general se puede decir que el LSMS ayuda a mejorar la completitud de los mapeos en comparación con los mapeos generados manualmente por los arquitectos de sistemas.

- La completitud de entidades se ha mejorado en un 37.61% y la de atributos en un 37.21%, para el grupo B respecto al grupo A.

La mejora en la completitud de entidades en un 37,61% y atributos en 37.21% del grupo B respecto al grupo A, se presume que es debida a que la herramienta atenúa las siguientes dificultades enfrentadas por los analistas de soluciones de interoperabilidad en salud basadas en HL7:

- Desconocimiento de entidades y atributos que se mapean en varias secciones de la plantilla de mensajes POOR_RM200901CO00.
- Desconocimiento del vocabulario y sintaxis de HL7.
- Aunque ambos grupos fueron afectados por problemas con la interpretación de los elementos del diccionario de datos, los miembros del grupo A fueron más afectados, por no contar con un mecanismo que los guiara en la identificación de los términos. Mientras el grupo B tuvo la guía del sistema experto del LSMS.
- Problemas en la comprensión del significado de términos de la guía de implementación y la tabla de descripción jerárquica de la estructura de mensajes de órdenes de laboratorio.

Además de las dificultades mencionadas, otro elemento que explica la menor completitud obtenida por el grupo A, es el hecho de que la información distribuida previamente a la realización del experimento, incluye información estática sobre el escenario de un laboratorio clínico (guía de implementación, plantilla xml de mapeo), por lo tanto, las

ambigüedades en los aspectos del comportamiento de la información causan varios errores al momento de mapear las entidades y atributos del modelo E-R.

La alta completitud que obtuvo el grupo B en cuanto a entidades y atributos, se debe a que contó con el apoyo del LSMS, lo que les facilitó realizar el mapeo. El LSMS facilita el mapeo de términos, debido a que libera al usuario de las complicaciones que tiene el estándar en cuanto a la notación, vocabularios, tipos de datos y sintaxis, con lo cual el usuario se concentra en definir el significado de los elementos que desea mapear del modelo de información. En el caso de que el usuario no pueda clasificar el término, el LSMS le permite omitir el término y con ello la definición de un mapeo.

- La validez total del grupo B respecto al grupo A se incrementó en un 8.93%. La validez de las entidades se ha incrementado en un 2.11% y la de atributos en 15.73%, para el grupo B respecto al grupo A.

Aunque la validez general de ambos enfoques fue bastante alta, se observa que la validez total del grupo B con respecto al grupo A, no fue tan superior como lo que se pudo observar con la completitud. En este aspecto, el uso del LSMS fue más beneficioso en la definición de atributos que entidades. Por lo anterior, se podría afirmar que la solución LSMS permitió la clasificación más efectiva de atributos, porque guió a los usuarios (que puede tener un conocimiento básico sobre HL7) de manera clara (lo que se logra, con un amplio conocimiento), mediante las definiciones de conceptos generales y conceptos específicos. Lo que contribuyó en el incremento del porcentaje de validez de atributos en el mapeo evaluado.

Por otro lado, se observa que la validez de entidades, que es respectivamente del 88.87% y 90,98% en los grupos A y B, no es lo suficientemente significativa. Aunque este resultado es razonable, debido a que la validez se mide con respecto al propio mapeo (validez de entidades presentes en el mapeo). Sin embargo la contribución de LSMS sigue siendo baja (2.11%). Una explicación a esto podría ser que los nombres de entidades en el modelo E-R como conceptos son difíciles de mapear (especialmente en el mapeo manual ante la presencia de tipos de datos HL7), por lo que el analista de sistemas prefiere no mapearlos.

Además un mapeo con solo dos entidades puede ser 100% válido, a pesar de que no describe completamente el dominio del problema.

Con respecto a la validez, se puede decir que el LSMS es especialmente útil para mapear atributos válidos, pero no tan útil para mapear entidades válidas.

El análisis de resultados demuestra claramente una mejora general en la completitud y validez de los mapeos generados al usar el LSMS. Y, aunque el empleo de estudiantes que asumen el papel de arquitecto de sistemas, así como la limitada capacitación en el estándar HL7, podría ser una limitante de estudio; de acuerdo a (Maes & Poels, 2007), el uso de estudiantes en vez de arquitectos de sistemas que laboran en un laboratorio clínico, permite el control más fácil de factores humanos. Además las tareas experimentales realizadas no requieren altos niveles de experiencia en la industria.

8. Conclusiones

A través del experimento empírico se ha demostrado que el uso de LSMS para el mapeo de modelos E-R de sistemas de información para laboratorios clínicos al estándar HL7, aumenta la calidad semántica de los mapeos, en comparación con el proceso que realizan los arquitectos de sistemas de forma manual. El aumento de la calidad semántica supone un aumento de la calidad de los mapeos y además influye indirectamente en la disminución de errores, complejidad e inconsistencias.

La construcción y evaluación de la herramienta LSMS permite comprobar que los sistemas expertos son una buena herramienta para facilitar el desarrollo de soluciones de interoperabilidad en salud, debido a la capacidad que tienen para almacenar conocimiento y emular las respuestas que darían los expertos en estándares a un problema de interoperabilidad e integración de aplicaciones.

El desarrollo y construcción del LSMS permitió generar nuevo conocimiento en cuanto al uso de los SE para problemas de interoperabilidad semántica (específicamente en el ámbito de la salud). Este nuevo conocimiento es el primer paso en el proceso de creación de interfaces HL7, que habiliten los sistemas para que sean capaces de intercambiar información con sistemas

de información de salud, pertenecientes a diferentes proveedores y diferentes entidades prestadoras de servicios de salud.

9. Glosario

Sistema Experto: software que imita el comportamiento de un experto humano en la solución de un problema en particular o las acciones que realizaría en una cierta especialidad o campo.

Interoperabilidad: interoperabilidad es la capacidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar la información y utilizarla (IEEE, 1990).

Ontología: describe el contenido de los repositorios de datos independientemente de la representación sintáctica de los mismos, posibilitando su integración semántica. Permite trabajar con conceptos, en lugar de palabras clave, en los sistemas de recuperación de información (Blanco, 2007).

Ontología biomédica: ayuda a elaborar terminologías o vocabularios con definiciones estandarizadas en un riguroso esquema conceptual dentro de un dominio establecido (genética, célula, patología, etc.), basándose para ello en la creación de un lenguaje único controlado y codificado que pueda ser entendido por los trabajadores de la salud y que promueve la interacción en línea entre diferentes bases de datos biomédicas (Tapia, 2010).

Inferencia: una inferencia es una evaluación que realiza la mente entre expresiones bien formadas de un lenguaje, que, al ser relacionadas intelectualmente como abstracción, permiten trazar una línea lógica de condición o implicación lógica entre las diferentes expresiones bien formadas de un lenguaje. De esta forma, partiendo de la verdad o falsedad posible (como hipótesis), o conocida (como argumento) de alguna o algunas de ellas puede deducirse la verdad o falsedad de alguna o algunas de las otras expresiones bien formadas de un lenguaje.

10. Lista de Referencias

Blanco (2007). Ontologías. Recuperado: 17 de Febrero de 2011 desde <http://www.infor.uva.es/~sblanco/Tesis/Ontolog%C3%ADas.pdf>.

Carlos G., Gonzaez M., Vivancos E. & Botti V. (2006). Comparación del tiempo de ejecución de los algoritmos de Pattern Matching Rete y Arlips. Valencia-España. Recuperado 20 enero de 2010, desde: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/925/92503103.pdf>

Claes W., Per R., Martin H., Magnus O., Bjorn R. & Anders W. (2000). Experimentation in software Engineering. An Introduction, Editorial: Kluwer Academic Publishers, Boston.

Cortes M. (2009). Guía de implementación de mensajes para casos de uso de órdenes de laboratorio - Especificaciones para órdenes simples y órdenes con muestra asociada. DSTU 1.0. Recuperado: 15 Noviembre de 2009, desde: <http://www.datasalud.net/home>

Fernández Chamizo, C. (2004). Técnicas de representación y razonamiento". Universidad Complutense de Madrid. Recuperado: 15 de Enero de 2010, desde: <http://www.fdi.ucm.es/profesor/carmen/iaic/RedesSemanticas.pdf>

Giarratano J. & Riley G. (2002). Sistemas Expertos Principios y Programación, Tercera Edición, Universidad de Houston-Clear Lake, Ed. Thomson Editores.

Health-Level 7 Organization (2009). Recuperado 20 Septiembre de 2009, desde: <http://www.hl7.org>.

HL7 Colombia (2009). Descripción jerárquica de la estructura de mensajes de órdenes de laboratorio. Documento POOR_HD200901CO, plantillas POOR_RM200901CO00 para orden simple y POOR_RM200902CO00 orden compuesta.

HL7 Reference Information Model (2009). Recuperado: Septiembre 20 de 2009, desde: www.hl7.org/-/Library/datamodel/RIM/modelpage_mem.htm. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/Basic/carlos_sm/cap3.pdf

IEEE (1990). IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries, Standard, New York.

"Revista Virtual Universidad Católica del Norte". No. 32, (febrero-mayo de 2011, Colombia), acceso: [<http://revistavirtual.ucn.edu.co/>], ISSN 0124-5821 - Indexada Publindex-Colciencias (B), Latindex, EBSCO Information Services, Redalyc y en el Índice de Revistas de Educación Superior e Investigación Educativa (IRESIE) de la Universidad Autónoma de México. **[pp. 73-103]**

ISO/DTR (2005). Health informatics – Electronic health record: definition, Geneva, International Organization for Standardization.

Lindland, Sindre & Solvberg (1994). Understanding quality in conceptual modeling IEEE Software.

López D. M. (2009). Interoperable Architectures for Advanced Health Information Systems. PhD thesis, Otto-von-Guericke, Universität Magdeburg, Germany.

Maes A. & Poels G. (2007). Evaluating Quality of conceptual modelling scripts based on user perceptions. Data & Knowledge Engineering, pp.701-724.

Moody D.L., Sindre G., Brasethvik T. & Solvberg A. (2002). Evaluating the quality of process models: empirical testing of a quality framework, Lecture Notes in Computer Science.

Moody D.L., Sindre G., Brasethvik T. & Solvberg A. (2003). Evaluating the quality of information models: empirical testing of a conceptual model quality framework, in: Proceedings of the 25th International Conference on Software Engineering, IEEE Computer Society.

OMS (2008). WHO, What is a health system? Recuperado: septiembre 20 de 2009, desde: <http://www.who.int/healthsystems/about/en/> [Accessed 01 May 2008].

Patwardhan S. & Pedersen T. (2006). WordNet-based context vectors to estimate the semantic relatedness of concepts. Trento, Italy.

Patwardhan S. (2003). Incorporating dictionary and corpus information into a context vector measure of semantic relatedness, Master of Science Thesis, Duluth.

Pedersen T., Serguei P., Patwardhan S. & Chute G. (2006). Measures of semantic similarity and relatedness in the biomedical domain, USA. Recuperado: 20 Noviembre de 2009 desde: <http://www.d.umn.edu/~tpederse/Pubs/jbi2007.pdf>

Rosic, M. (2004). Intelligent tutoring interoperability for the new Web, in Proceedings of the 12th IEEE Mediterranean, MELECON, Electro technical Conference.

Shanks G. (1994). Conceptual Data Modelling: An Empirical Study of Expert and Novice Data Modellers. Australian Journal of Information Systems.

"Revista Virtual Universidad Católica del Norte". No. 32, (febrero-mayo de 2011, Colombia), acceso: [<http://revistavirtual.ucn.edu.co/>], ISSN 0124-5821 - Indexada Publindex-Colciencias (B), Latindex, EBSCO Information Services, Redalyc y en el Índice de Revistas de Educación Superior e Investigación Educativa (IRESIE) de la Universidad Autónoma de México. **[pp. 73-103]**

Smith B. & Ceusters W. (2006). HL7 RIM: an incoherent standard. Stud Health Technol Inform.

Soto Marlene C. (2002). Sistema Experto de diagnostico medico del síndrome de Guillian Barre", Cap1. Teoría de Sistemas Expertos. Recuperado: 10 de Febrero de 2010, desde:

Spahni S., Lovis C., Mercille R., Verdel H., Cotton M. & Geissbühler A. (2007). Implementing a new ADT based on the HL7 version 3 RIM.

Tapia (2010). El expediente clínico electrónico. Recuperado 17 de Febrero de 2011 desde <http://www.medigraphic.com/pdfs/odon/uo-2010/uo102a.pdf>.

Wohlin C., Per R., Martin H., Magnus O., Bjorn R. & Anders W. (2000). Experimentation in software Engineering. An Introduction, Editorial: Kluwer Academic Publishers, Boston.

Zapata C., Estrada B. M. & Arango F. (2007). Un método para el refinamiento interactivo del diagrama de clases de UML. Recuperado: 10 de Marzo de 2010, desde: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/496/49615308.pdf>