



Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Programas de Maestría y Doctorado en Ingeniería Telemática
Seminario de Investigación

An Architecture-Centric and Ontology-Based Approach to Cross-Domain Interoperability of Health Information Systems for Diabetes Care

Gustavo Andrés Uribe Gómez

Estudiante de Doctorado

16 de Octubre de 2015

1- Introducción

Durante esta sesión se realizó una pre-sustentación de la defensa del trabajo de grado de doctorado titulado “An Architecture-Centric and Ontology-Based Approach to Cross-Domain Interoperability of Health Information Systems for Diabetes Care”. Este trabajo es dirigido por el profesor Diego Mauricio López de la Universidad del Cauca y co-dirigido por el profesor Bernd Blobel de la Universidad de Regensburg en Alemania. En esta presentación se presentó el problema que se atacó con la propuesta, la pregunta de investigación, la hipótesis, la metodología, las contribuciones generadas durante el desarrollo del trabajo y las conclusiones obtenidas.

2- Problema

El trabajo de doctorado realizado se centra en el problema de interoperabilidad que se presenta en el cuidado de la diabetes mellitus tipo 2 . Esta enfermedad es de una gran prevalencia a nivel mundial y su cuidado conlleva al gasto de una gran cantidad de dinero [1]. Uno de los más grandes problemas que involucra la atención de esta enfermedad es el hecho de que muchos actores deben colaborar o interoperar para mejorar la salud del paciente. Estos actores presentan diferencia en su conocimiento, cultura, nivel de especialización, experiencia , lenguaje, etc. Este hecho hace que la colaboración o interoperabilidad entre ellos sea un reto. El problema es aún mayor cuando agregamos que estos actores hacen uso de sistemas informáticos y dispositivos que no están diseñados para interoperar entre sí. Con el fin de realizar un aporte en esta temática se realizó un estudio del estado del arte y se encontraron principalmente 4 tendencias de trabajos.

En la primera de ellas encontramos trabajos que muestran el impacto positivo de los sistemas informáticos para el soporte de la diabetes mellitus, sin embargo

muestran también como una falencia la falta de interoperabilidad entre estos sistemas lo que disminuye su impacto [2]–[5] .

En una segunda tendencia encontramos trabajos que atacan el problema de la falta de interoperabilidad semántica [6]–[9]. En estos trabajos se hacen importantes aportes a esta problemática sin embargo no se establece una metodología para permitir que los sistemas informáticos en salud puedan sobrepasar dicha barrera.

En la tercera tendencia encontramos los sistemas basados en ontologías, los cuales han mostrado mejorar la interoperabilidad entre actores, sin embargo dichos sistemas están en desarrollo y aún presentan algunas falencias [10], [11].

En la cuarta tendencia encontramos los sistemas basados en la arquitectura. Estos sistemas parten de un diseño arquitectónico usando el modelo genérico de componentes (GCM) para el diseño e implementación de sistemas informáticos para la salud [12]–[14]. Estos sistemas proveen diversos grados de interoperabilidad, sin embargo hasta el momento no consideran aspectos fuera de los dependientes de la computación.

Al estudiar las propuestas de estas cuatro tendencias de trabajos se pudo constatar que no existí ninguna propuesta que reuniera las siguientes características deseables:

- Consideración de la interoperabilidad entre diversos dominios
- Consideración de la arquitectura del sistema.
- Adherencia a políticas y guías
- Soporte a la toma de decisiones
- Manejo de conocimiento mediante la formalización del conocimiento y la realización de inferencias
- Flexible y adaptable, para agregar nuevos actores, nuevo conocimiento y nuevas reglas.

Para obtener un sistema que logre cumplir estas características deseadas se ha planteado la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo lograr interoperabilidad entre dominios en los sistemas informáticos para soportar el cuidado de la diabetes mellitus tipo 2?

La hipótesis formulada es que usando una aproximación centrada en la arquitectura basada en el GCM para analizar, diseñar e implementar sistemas informáticos para la salud y representado los componentes del sistema por medio de ontologías es posible lograr interoperabilidad entre los diferentes dominios incluidos en los sistemas informáticos para el cuidado de la diabetes.

3- Metodología

El trabajo de doctorado fue basado principalmente en el GCM como framework conceptual (Figura 1). Este framework permite la descripción, análisis, diseño e implementación de un sistema usando 3 dimensiones. La primera dimensión (system component composition) divide un sistema en sus componentes y muestra las relaciones entre estos. Los componentes son ubicados en 4 diferentes niveles de granularidad. La segunda dimensión (system domain) divide los diferentes aspectos o dominios del sistema. La descripción que se realiza en cada dominio usualmente esta basada en una ontología en particular. La tercera dimensión corresponde con el desarrollo del sistema software. En esta dimensión se tienen las vistas del estándar RM-ODP [15] y se añade la vista del negocio que describe el sistema de una manera independiente a la computación.

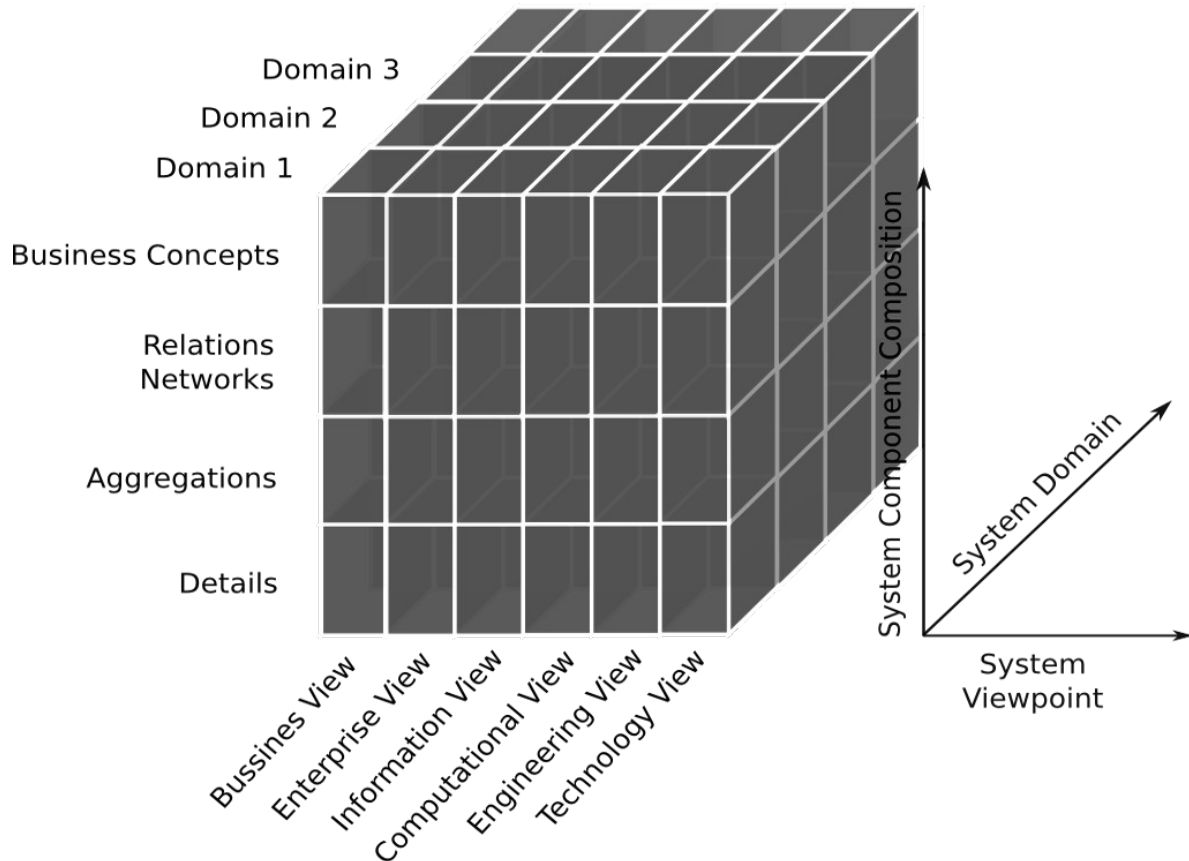


Figura 1: Modelo Genérico de Componentes

Los modelos en cuboide del GCM se complementan mediante los modelos de procesos en BPMN [16]. Esto permite representar de forma más amigable los aspectos de comportamiento del sistema. Adicionalmente, se usaron reglas en el

lenguaje SPIN [17] con el fin de modelar las políticas y reglas que regulan el comportamiento del sistema.

4- Contribuciones

Una primera contribución del trabajo fue la descripción genérica de sistema para el cuidado de la diabetes, este resultado fue publicado en [18]. La figura 1 muestra la descripción más abstracta del sistema del cuidado para la diabetes mellitus tipo 2.

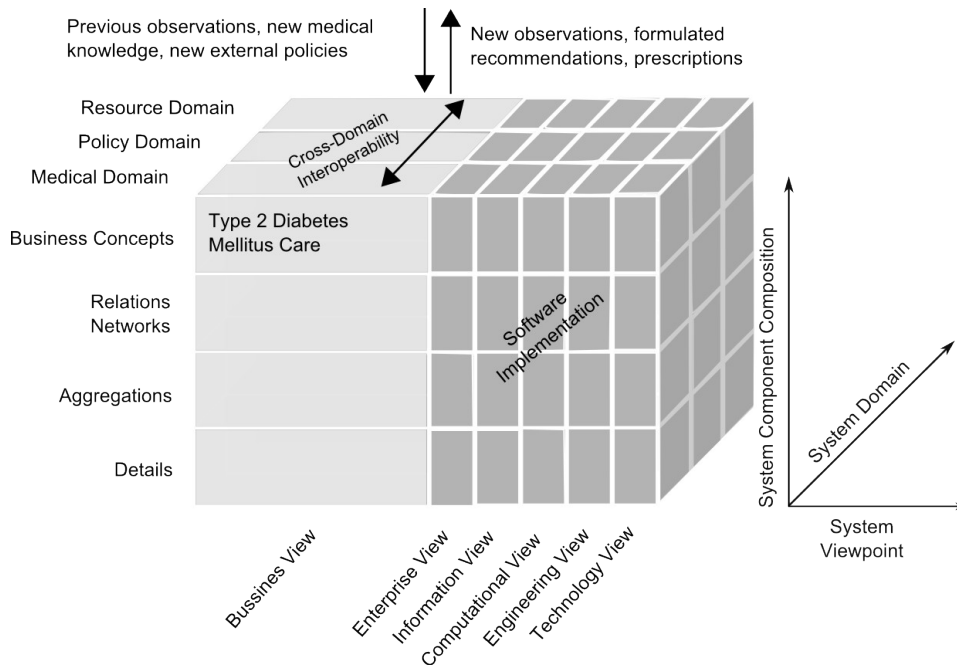


Figura 2: Descripción genérica del sistema de cuidado para la diabetes mellitus tipo 2

Podemos observar en esta figura que la descripción del sistema se realizará considerando tres importantes dominios como son: el dominio médico, el dominio de las políticas y el dominio de los recursos. El dominio médico describe la enfermedad en si misma y los procesos necesarios para realizar el cuidado de la enfermedad. El dominio de las políticas describe reglas definidas por alguna autoridad. Estas reglas gobiernan el comportamiento del sistema. El dominio de los recursos, describe todas las entidades necesarias durante los procesos de cuidado médico, por ejemplo actores, objetos físicos y localizaciones. La interacción entre estos dominios y entre sus sub-dominios se ha llamado interoperabilidad entre dominios y corresponde con la interoperabilidad que se necesita tener para soportar la colaboración entre actores heterogéneos. Basado en la descripción del sistema a partir de estos dominios y sus interacciones, se debe realizar la implementación software. Se espera además que el sistema basado en esta descripción se pueda adaptar a los cambios en las políticas y en el conocimiento.

En la figura 2 se puede ver un ejemplo de la descripción del dominio médico.

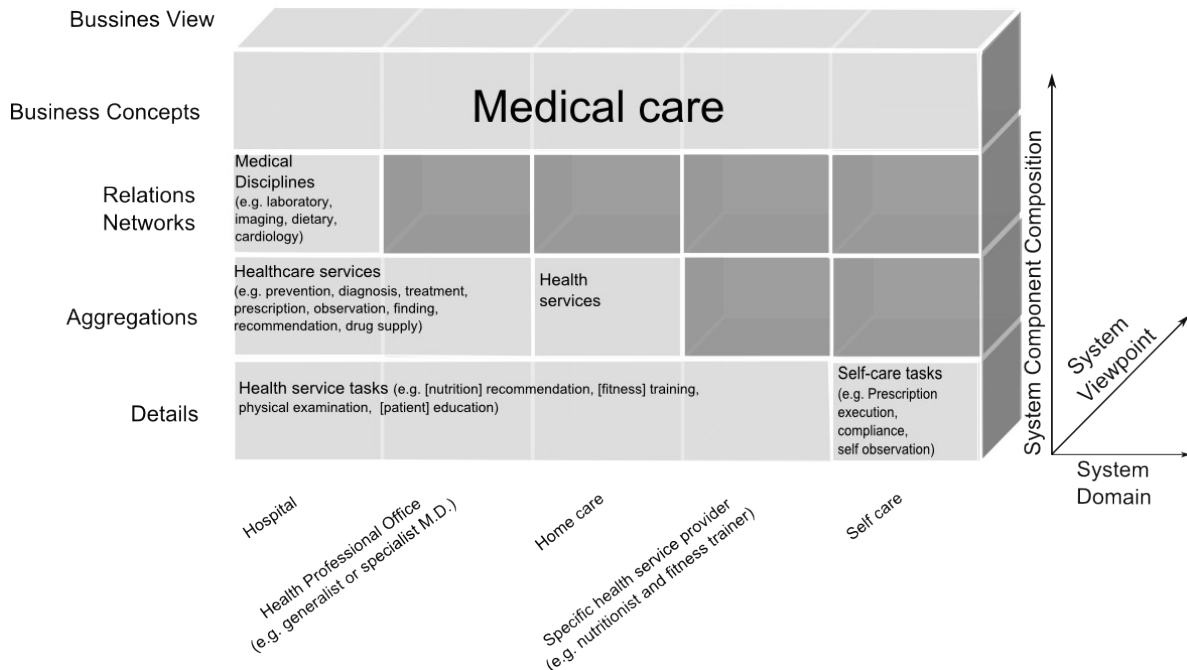


Figura 3: Vista de negocio del dominio médico

En esta descripción se ha dividido el dominio médico en sub-dominios acorde con el nivel de complejidad en la atención. Por ejemplo el sub-dominio hospitalario describe las organizaciones que involucran la colaboración de varias disciplinas médicas, mientras que la oficina de un profesional en salud solo considera una disciplina médica. Las disciplinas médicas están compuestas de servicios médicos y estos a su vez están compuestos de tareas del servicio de salud. Un importante sub-dominio es el de autocuidado pues considera la colaboración del paciente con tareas como la ejecución de la prescripción, conformidad y auto-observación. Es importante resaltar que todos los componentes del sistema toman términos y algunas relaciones de SNOMED-CT [19], LOINC [20] y de ontologías de nivel superior como BioTopLite [21] y BFO [22] (Basic Formal Ontology).

El comportamiento del sistema se describe mediante diagramas BPMN. Los cuales también se describen acorde con los niveles de granularidad como se muestra en la figura 3. Cada nivel de granularidad considera el conocimiento dado por el nivel de granularidad superior, manteniendo la consistencia de la descripción y disminuyendo la repetición de relaciones a un nivel de granularidad mayor. Es importante resaltar que los procesos se describen como ad-hoc debido a que su orden de ejecución puede variar de acuerdo a las políticas definidas por una autoridad.

En la figura 4 se muestra la descripción de los servicios de salud provistos para el cuidado de la diabetes mellitus tipo 2. Es de resaltar que estas tareas son

genéricas y aplican para cualquier enfermedad o caso de uso específico, por lo que debe realizarse una descripción más específica para cada caso de uso.

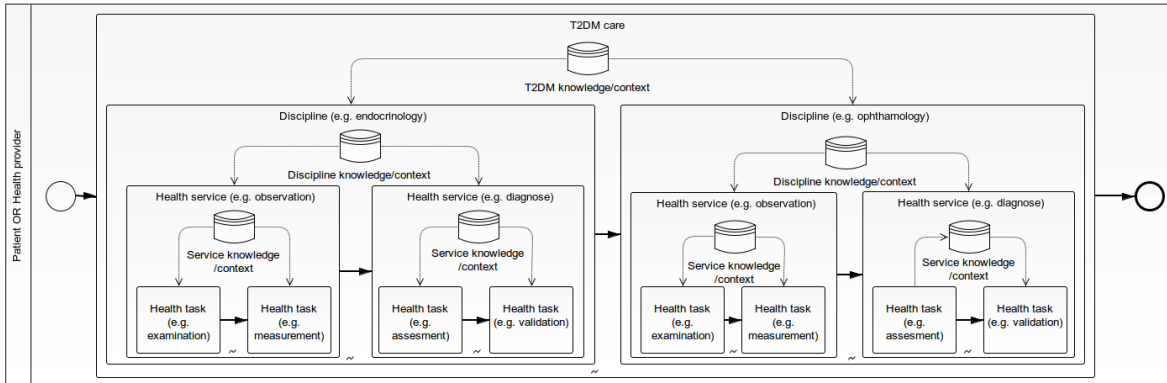


Figure 4: Niveles de granularidad en los procesos de negocio

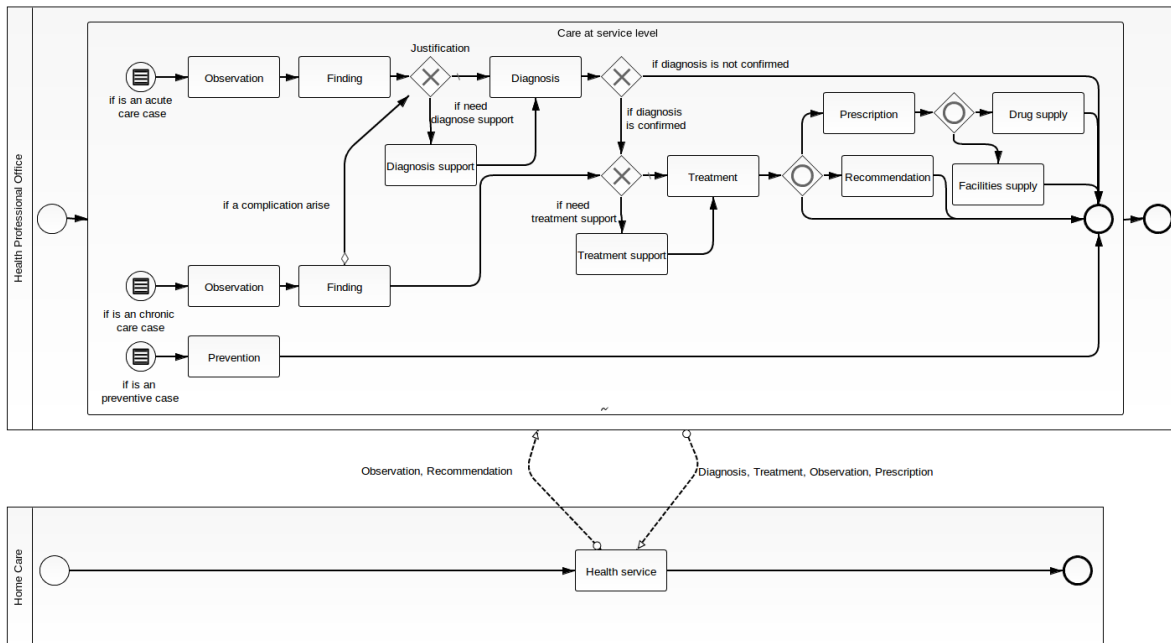


Figure 5: Descripción de los servicios de salud para el cuidado de la diabetes

Una segunda contribución es la especialización de la arquitectura genérica mostrada para el caso de uso del control glucémico por medio de fármacos. Este caso de uso es de vital importancia en el cuidado de la diabetes dado que es una intervención inevitable para todos los pacientes diabéticos. Esta contribución se publicó en [23].

La figura 6 muestra la especialización para el dominio médico. Para este caso se puede observar que se tiene un conjunto limitado de especialidades médicas y que los servicios de salud también se han delimitado. Para el dominio de las políticas mostrado en la figura 7, se ha tenido en cuenta las políticas que rigen el

cuidado de la diabetes, teniendo un especial énfasis en las políticas que competen al territorio colombiano.

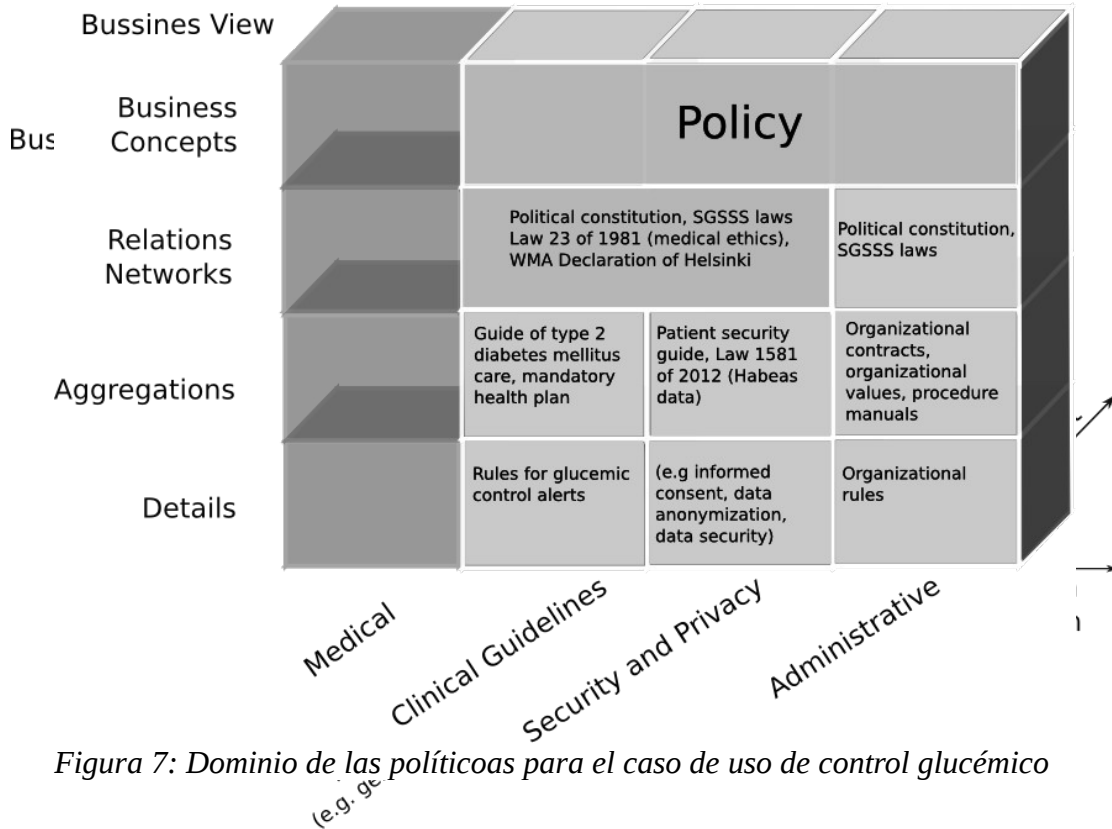


Figura 7: Dominio de las políticas para el caso de uso de control glucémico

Figura 6: Dominio médico para el caso de uso de control glucémico

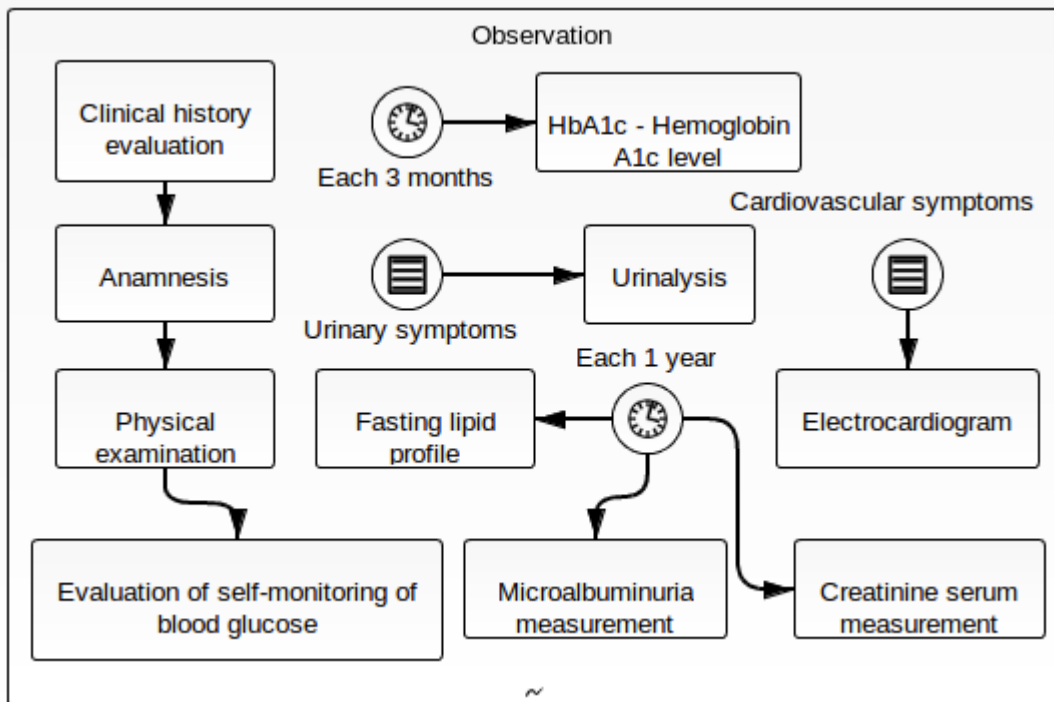


Figura 8: Observaciones dentro del control glucémico

En la figura 8 se muestra el modelado para los servicios de salud que se realizan dentro del cuidado de la diabetes, en este caso particular son las observaciones que se realizan dentro del control glucémico.

Para completar la descripción del comportamiento de este caso de uso se modelaron reglas como la de una alerta médica por hiperglucemia que se muestra a continuación.

```

CONSTRUCT {
  ?id btl2:isPartOf ?patientLife .
  ?id btl2:hasCondition ?id .
  ?id a dm2co:Hyperglycemia .
  ?id a dm2co:MedicalAlert .
  ?id rdfs:label ?cause_type_en .
  ?id rdfs:label ?cause_type_es .
  ?this btl2:represents ?id .
}
WHERE {
  ?patient btl2:isBearerOf ?blood_glucose .
  ?patient btl2:hasLife ?patientLife .
  ?this btl2:represents ?blood_glucose .
  ?blood_glucose a dm2co:BloodGlucoseConcentration .
  ?this dm2co:hasValueIn_mg_dL ?value .
  FILTER ((?value >= 200.0) && (?value < 300.0)) .
  OPTIONAL {
    ?clonAlert a dm2co:MedicalAlert .
    ?this btl2:represents ?clonAlert .
  } .
  FILTER (!bound(?clonAlert)) .
  BIND (STRLANG("hyperglycemia medical alert", "en") AS ?
cause_type_en) .
  BIND (STRLANG("alerta médica por hiperglucemia", "es") AS ?
cause_type_es) .
  BIND (IRI(fn:concat("http://purl.org/unicauca/dm2co#",
STRUUID()))) AS ?id) .
}

```

Luego de realizar el modelado descrito anteriormente se realizó una implementación de un sistema software que trabajase sobre estos modelos. Para esta implementación se realizaron una serie de modelos dependientes de la computación basados en el estándar RM-ODP tal como lo muestra la figura 9.

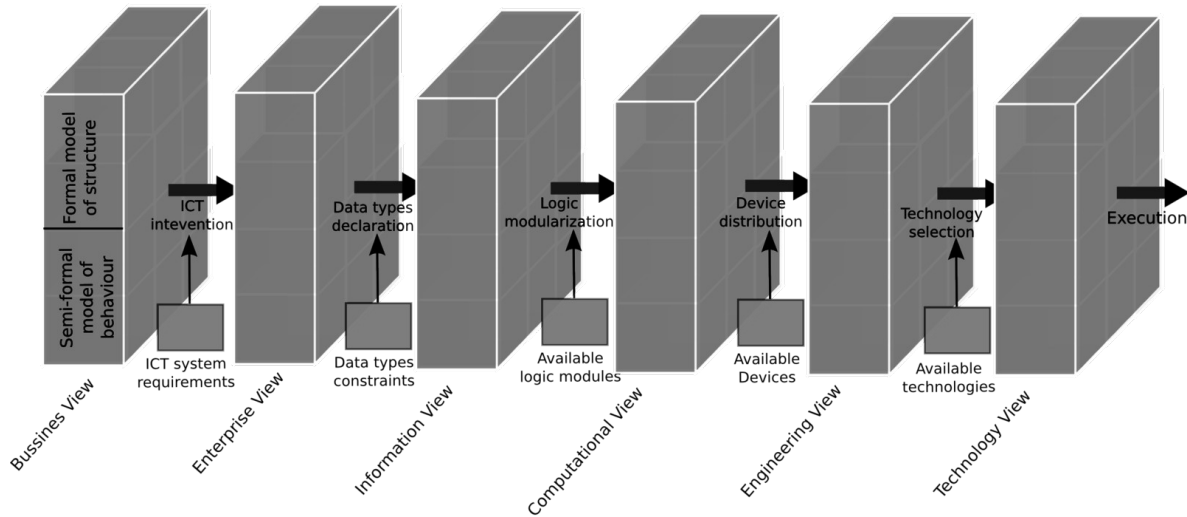


Figure 9: Metodología para la implementación del sistema

En primera instancia se modelaron los requerimientos funcionales del sistema mediante diagramas de casos de uso. En segundo lugar se seleccionaron los tipos de datos que se utilizarían para almacenar los datos dentro de la ontología. Posteriormente se seleccionaron los módulos funcionales que se utilizarían, de acuerdo a patrones conocidos y módulos funcionales de los cuales se conocen implementaciones. Luego se diseñó la distribución del hardware, mediante un diagrama de despliegue y por último se realizó una selección de las tecnologías con las cuales se implementaría todo el sistema.

Después de tener estos modelos se procedió a generar el código fuente del software, el cual corresponde con un modelo ejecutable dependiente de la computación.

La figura 10 muestra una pantalla de la aplicación desarrollada, la cual mostró ser flexible, adaptable, inteligente e interoperable. Al hacer uso de una ontología permitía realizar inferencias y soportar los procesos de toma de decisiones.

Add Comment +

Clinical history evaluation

Type2DiabetesMellitusCarePlan

📅 Set follow-up date 🗄️ Add groups
 📌 Set due date 👤 Demo Demo ✕

Form History Diagram Description

Patient name
MCC

Sex
Female

Birth day
07/08/1973

Allergies

Current medicaments
Metformin (850 mg x 3), Sulfonilurea (Glibenclamide 5 mg x 2'

History of disorders
Type 2 diabetes mellitus (since 16 years, previous observations:

Vital signs observation
Arterial blood pressure: 152/88

Patient height measurement (m)
1.58

Body weight (kg)
78

Body mass index (kg/m^2)
31.03

Measurement of circumference of waist (cm)
111

Examination of head and neck
Ophthalmoscopy: Diabetic retinopathy grade I

Cardiovascular physical examination
Rythmic hearth without murmur

Examination of respiratory system
Normal

Exploration of abdomen
Globular abdomen

Exploration of skin
Normal

Powered by **camunda BPM** / v7.3.0

Figura 10: Pantalla de la aplicación desarrollada

Finalmente se realizó una evaluación del software con el fin de validar que facilitará la colaboración entre diferentes actores. En especial se evaluó la efectividad del sistema al realizar sus recomendaciones para la toma de decisiones. Para tal efecto se realizó el experimento mostrado en la figura 11.

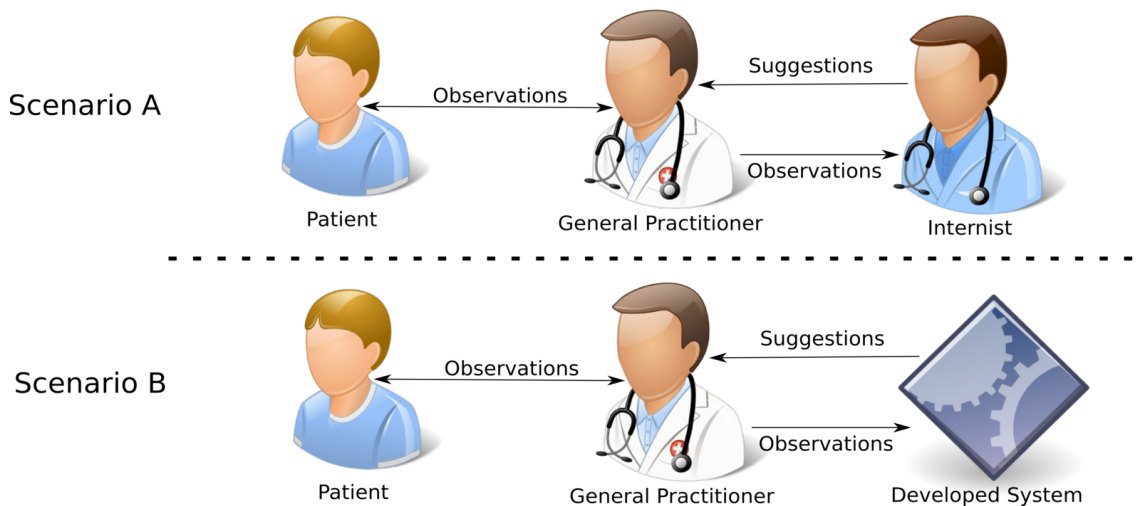


Figura 11: Diseño del experimento

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 12.

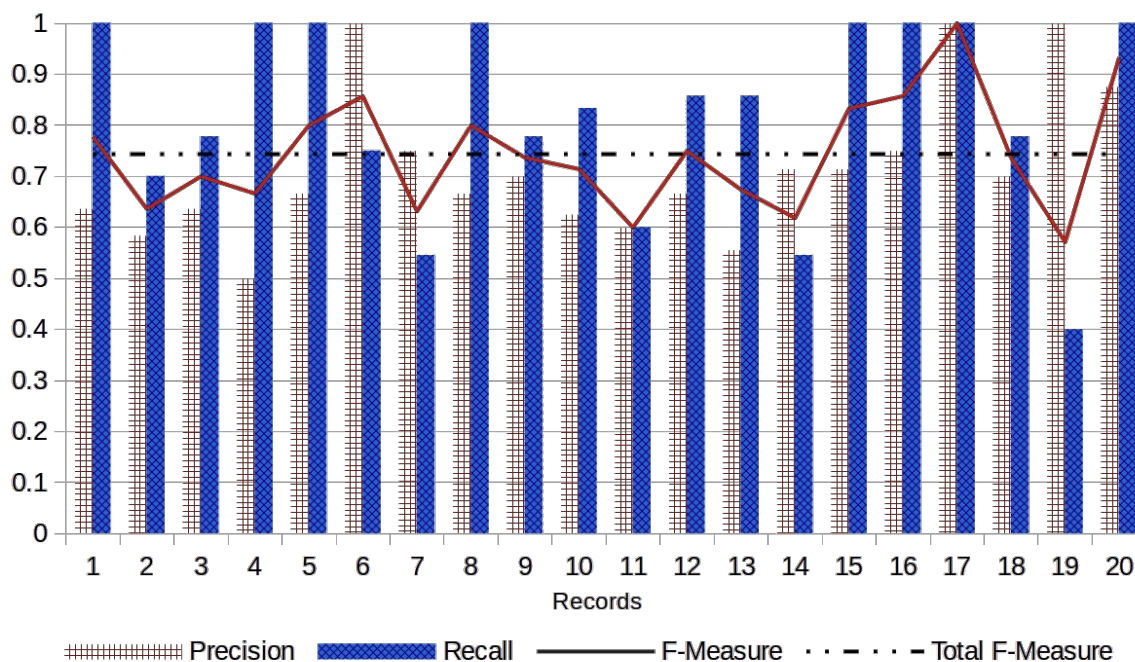


Figura 12: Resultados de la evaluación experimental

Aunque los resultados obtenidos superan el valor de 0.71 que es el promedio de algoritmos como C4.5 y CART, el análisis estadístico mostró que la diferencia no era significativa. Por tal razón se decidió hacer una mejora implementando una nueva regla que mejorara la precisión sugiriendo solo diagnósticos contenidos en CIE-10. De esta manera los resultados son significativamente mejor y son mostrados en la Figura 13.

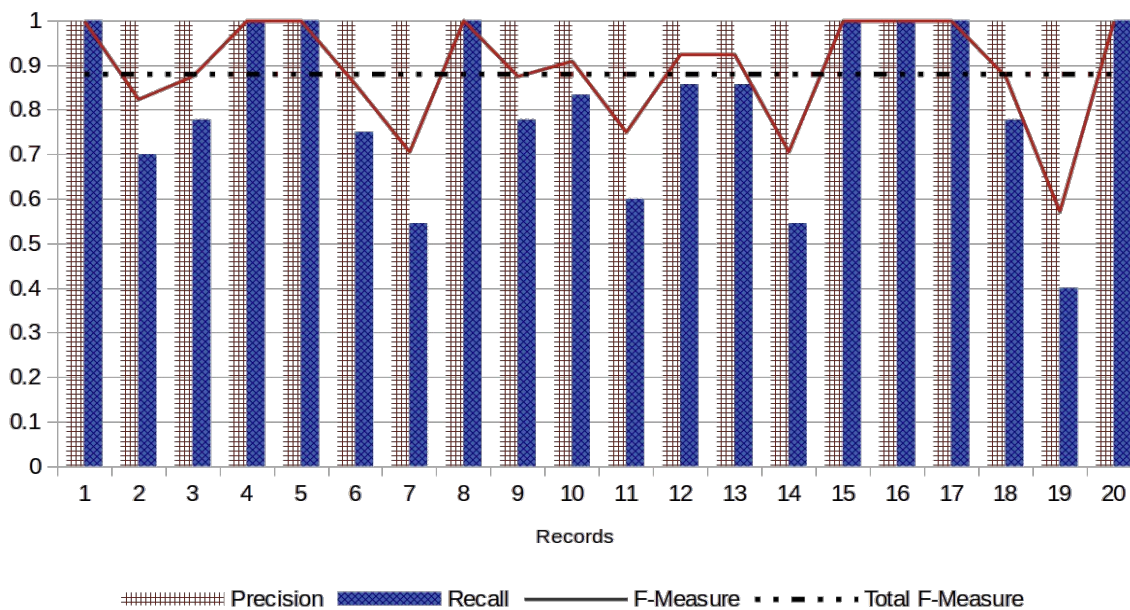


Illustration 13: Resultados con precision mejorada

5- Conclusiones

La conclusión general del trabajo es que un sistema informático para la salud fue desarrollado usando el GCM como base metodológica demostrando, para el caso del control glucémico, la interoperabilidad entre los dominios medico, de políticas y de recursos. También soporta la interoperabilidad mediante políticas y guías clínicas, soporte a la toma de decisiones y mapeo de conocimiento.

Además se concluyó que:

- Usar el GCM permite una interoperabilidad más amplia
- Considera ontologías de nivel superior y ontologías estándar facilita la armonización de diferentes dominios
- El nivel de generalidad usado en los modelos genéricos facilita la naturaleza adaptativa del sistema y la reusabilidad de componentes.
- La metodología y los modelos usados facilitan la comunicación indisciplinar y permiten el desarrollo de sistema basados en el conocimiento de expertos.

6- Trabajos futuros

Como trabajos futuros se propusieron los siguientes:

- Mejorar la evaluación del sistema
- Implementa el mapeo de los modelo de datos para los diferentes estándares de informática médica
- Implementar una transformación automática de lenguaje
- Automatizar la composición de planes y el descubrimiento de servicios
- Desarrollar un framework para el proceso de desarrollo implementado

Bibliografía

- [1] “Diabetes Atlas,” *International Diabetes Federation*. [Online]. Available: <http://www.idf.org/diabetesatlas>. [Accessed: 19-Jun-2015].
- [2] L. D. Booker and H. Trabulsi, “Project Control for Healthcare Information Systems Initiatives,” in *Privacy, Security, Trust and the Management of e-Business, 2009. CONGRESS’09. World Congress on*, 2009, pp. 143–151.
- [3] C. C. Quinn, M. D. Shardell, M. L. Terrin, E. A. Barr, S. H. Ballew, and A. L. Gruber-Baldini, “Cluster-randomized trial of a mobile phone personalized behavioral intervention for blood glucose control,” *Diabetes Care*, vol. 34, no. 9, pp. 1934–1942, 2011.
- [4] S. Santana, “Diabetes population management with an electronic health record,” *Online Journal of Nursing Informatics (OJNI)*, vol. 17, no. 1, 2013.
- [5] D. J. Wake and S. G. Cunningham, ““Digital Diabetes’-Looking to the Future,” *The British Journal of Diabetes & Vascular Disease*, vol. 13, no. 1, pp. 13–20, 2013.
- [6] N. Chungoora, R. I. Young, G. Gunendran, C. Palmer, Z. Usman, N. A. Anjum, A.-F. Cutting-Decelle, J. A. Harding, and K. Case, “A model-driven ontology approach for

- manufacturing system interoperability and knowledge sharing,” *Computers in Industry*, vol. 64, no. 4, pp. 392–401, 2013.
- [7] M. Heywood, G. Paterson, M. Shepherd, and S. S. . Abidi, “An Ontology-Based Electronic Medical Record for Chronic Disease Management,” 2011.
- [8] S. Sonsilphong and N. Arch-int, “Semantic Interoperability for data integration framework using semantic web services and rule-based inference: A case study in healthcare domain,” *Journal of Convergence Information Technology*, vol. 8, no. 3, 2013.
- [9] S. M. Tessier, “Ontology-based approach to enable feature interoperability between CAD systems,” Georgia Institute of Technology, Georgia, 2011.
- [10] N. Archer, U. Fevrier-Thomas, C. Lokker, K. A. McKibbin, and S. E. Straus, “Personal health records: a scoping review,” *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 18, no. 4, pp. 515–522, 2011.
- [11] T. Snyder and A. P. Honey, “Semantic Interoperability System for Medicinal Information (US Patent),” 20130030827, Jan-2013.
- [12] F. Oemig and B. Blobel, “A formal analysis of HL7 version 2. x.,” *Studies in health technology and informatics*, vol. 169, p. 704, 2011.
- [13] W. Goossen, A. Goossen-Baremans, and M. van der Zel, “Detailed Clinical Models: A Review,” *Healthcare Informatics Research*, vol. 16, no. 4, p. 201, 2010.
- [14] D. M. Lopez and B. G. Blobel, “A development framework for semantically interoperable health information systems,” *International journal of medical informatics*, vol. 78, no. 2, pp. 83–103, 2009.
- [15] ISO, “Information technology — Open Distributed Processing — Reference model: Overview.” [Online]. Available: <http://www.itu.int/rec/T-REC-X.901-199708-I/en>. [Accessed: 11-Jun-2014].
- [16] OMG, “Business Process Model and Notation.” [Online]. Available: <http://www.bpmn.org/>. [Accessed: 19-Nov-2014].
- [17] H. Knublauch, J. A. Hendler, and K. Idehen, “SPIN-overview and motivation,” *W3C Member Submission*, 2011. [Online]. Available: <http://www.w3.org/Submission/spin-overview/>. [Accessed: 20-Nov-2014].
- [18] G. A. Uribe, B. Blobel, D. M. López, and S. Schulz, “A generic architecture for an adaptive, interoperable and intelligent type 2 diabetes mellitus care system,” *Stud Health Technol Inform*, vol. 211, pp. 121–131, 2015.
- [19] IHTSDO, “SNOMED Clinical Terms Overview.” Sep-2008.
- [20] Regenstrief Institute, “Logical Observation Identifiers Names and Codes (LOINC),” 2014. [Online]. Available: <http://www.loinc.org>. [Accessed: 21-Aug-2014].
- [21] S. Schulz and M. Boeker, “BioTopLite: An Upper Level Ontology for the Life Sciences. Evolution, Design and Application,” presented at the Workshop on Ontologies and Data in Life Sciences, Koblenz, Germany, 2013, pp. 19–20.
- [22] B. Smith and W. Ceusters, “Ontological realism: A methodology for coordinated evolution of scientific ontologies,” *Applied ontology*, vol. 5, no. 3, pp. 139–188, 2010.
- [23] G. A. Uribe, B. Blobel, D. M. López, and A. A. Ruiz, “Specializing architectures for the type 2 diabetes mellitus care use cases with a focus on process management,” *Stud Health Technol Inform*, vol. 211, pp. 132–142, 2015.