

Proporcionando Interoperabilidad a un Sistema Ubicuo de Asistencia Médica Mediante el Estándar HL7 CDA

Albert Brugués de la Torre*[†], Michael Schumacher*, Josep Pegueroles-Vallés[†]
Stefano Bromuri*

*University of Applied Sciences Western Switzerland
Sierre, Suiza

{albert.brugues, michael.schumacher, stefano.bromuri}@hevs.ch

[†]Universitat Politècnica de Catalunya

Barcelona, España

{josep.pegueroles}@upc.edu

Resumen—La interoperabilidad entre diferentes sistemas heterogéneos es un reto tecnológico que no se tiene en cuenta en la mayoría de Sistemas Ubicuos de Asistencia Médica (SUAMs). Para poder colaborar de manera federada, los SUAMs deben adoptar el uso de estándares de e-Salud. Entre ellos, *Health Level 7 (HL7)* es una solución apropiada ya que éste define los mensajes para el intercambio electrónico de datos médicos. En este artículo se describe como se ha proporcionado interoperabilidad a un sistema SUAM mediante el uso del estándar HL7. En particular se describe como se ha implementado el *Clinical Document Architecture (CDA)* para enviar datos médicos entre el lado cliente y el lado servidor del sistema, y la necesidad de incluir nuevos elementos XML en el CDA generado para poder representar toda la semántica del sistema.

I. INTRODUCCIÓN

La asistencia médica ubicua es una disciplina científica emergente que consiste en aplicar las tecnologías de computación ubicua en el ámbito médico [1]. Varshney [2] define la asistencia médica ubicua como la "asistencia médica a cualquiera, en cualquier momento, y en cualquier lugar eliminando la localización, el tiempo y cualquier otra restricción a la vez que se incrementa tanto la cobertura como la calidad de la asistencia médica".

La asistencia médica ubicua intenta modificar el modelo de los servicios médicos de los países occidentales, moviéndolos de un enfoque centralizado centrado en los médicos a un enfoque descentralizado basado en los pacientes [3]. En otras palabras, trata de cambiar un modelo reactivo en el que la gente acude al hospital porque está enferma por un modelo pro-activo y preventivo en el que la gente participa de manera activa en su bienestar, y por tanto puede proporcionar servicios de asistencia sanitaria más personalizados.

El desarrollo de Sistemas Ubicuos de Asistencia Médica (SUAMs) tiene el potencial de poder proporcionar mejores servicios sanitarios a un número de personas que va en aumento, y de reducir los costes a largo plazo de la asistencia sanitaria [4]. Sin embargo, cuando se desarrollan este tipo de sistemas existen ciertos retos tecnológicos que deben ser

tenidos en cuenta como por ejemplo su escalabilidad, seguridad e interoperabilidad.

El IEEE define la interoperabilidad como "la habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y poder utilizar la información que se ha intercambiado" [7]. Sin embargo, la interoperabilidad no se tiene en cuenta en la mayoría de los SUAMs existentes, dando como resultado soluciones que son de naturaleza muy específica, también conocidas como sistemas "cerrados" [8]. Estos sistemas no son capaces de comunicarse entre si dando lugar a la no colaboración entre ellos. Para lograr la interoperabilidad entre diferentes SUAMs es obligatorio el uso de estándares como por ejemplo los desarrollados por la organización "Health Level 7" (HL7). HL7 es un estándar de e-Salud que habilita el intercambio de información médica entre sistemas heterogéneos y organizaciones de forma consistente, ya que define las especificaciones para el formato, los tipos de datos y la estructura de los mensajes para el intercambio de dichos datos. HL7 también ha definido el *Clinical Document Architecture (CDA)*. El CDA es un estándar basado en el lenguaje de marcas extensible (XML), con el propósito de especificar la codificación estructura y semántica de documentos clínicos. Por otro lado, iniciativas industriales como *Continua Health Alliance*, con el propósito de establecer un ecosistema de sistemas de salud personales interoperables entre si, utiliza el estándar CDA para proporcionar datos de monitorización personales en forma de registros médicos.

El *Gestational Diabetes Monitoring System (GDMMS)* [9] es un SUAM basado en sistemas multiagente para la monitorización continua de mujeres afectadas por diabetes mellitus gestacional (DMG). La plataforma de multiagentes del sistema analiza los datos fisiológicos de los pacientes y proporciona alertas cuando se detectan situaciones potencialmente peligrosas para la paciente y el feto en desarrollo. En [10] se describe la seguridad del sistema, mientras que en [11] proporciona un estudio de la escalabilidad del sistema. En este trabajo se describe como se ha proporcionado interoperabilidad al

sistema mediante el cumplimiento del estándar HL7.

En particular, la principal contribución de este trabajo es mostrar cómo se ha utilizado el CDA para registrar el estado de monitorización del paciente y enviar esta información del lado cliente al lado servidor del sistema. Al hacerlo se amplía la funcionalidad del sistema, permitiendo que éste pueda colaborar con otros sistemas heterogéneos que ya estén utilizando el estándar CDA.

El resto del documento está organizado de la siguiente forma: en la Sección II se proporciona una descripción del sistema GDMMS y del estándar CDA; en la Sección III se describe la integración del estándar CDA en el SUAM; en la Sección IV se revisan diferentes sistemas utilizando el estándar CDA. Finalmente en la Sección V se concluye el documento con unas conclusiones y el trabajo futuro a realizar.

II. PRELIMINARES

A. GDMMS

El propósito del sistema GDMMS es asistir el tratamiento de la DMG, un tipo de diabetes que afecta al 3%–10% de las mujeres embarazadas debido a un aumento de resistencia a la insulina. La DMG puede incrementar el riesgo de desarrollar problemas de salud en el feto, por lo tanto es importante realizar un control de los niveles de glucemia en las mujeres embarazadas.

El sistema GDMMS proporciona ayuda para la monitorización de mujeres embarazadas afectadas por DMG mediante el uso de teléfonos inteligentes basados en Android. El terminal permite a las pacientes introducir datos médicos relacionados con la DMG como por ejemplo parámetros fisiológicos, síntomas y medicación. Por otro lado, los médicos al cuidado de las pacientes pueden usar el sistema para visualizar y analizar estos datos. El sistema permite tanto a pacientes como médicos estar informados con valores históricos y recibir alertas cuando se detecten situaciones peligrosas durante el embarazo.

La Figura 1 muestra la arquitectura del sistema. Éste está formado por cinco componentes que son los siguientes:

- *Client workstation*: el lado cliente del sistema puede ser un teléfono móvil o un navegador web. El teléfono móvil permite a las pacientes del sistema enviar los datos de su monitorización al lado servidor. Por su parte, el navegador web lo utilizan los doctores para comprobar el estado de salud de sus pacientes. Ambos utilizan conexiones HTTPS y certificados digitales para el intercambio de datos.
- *Web server*: esta parte está compuesta por un *web entry gate* el cual se ocupa de las peticiones y los certificados de los clientes; y un *web server* que actúa como capa de presentación, responsable de interactuar con la *business layer* para poder atender las peticiones de los doctores.
- *Application server*: está formado por cuatro capas. El i) *security proxy* genera y envía un *token* a los clientes en su primera petición. En las peticiones sucesivas comprueba la validez del *token* (por ejemplo que no haya expirado).

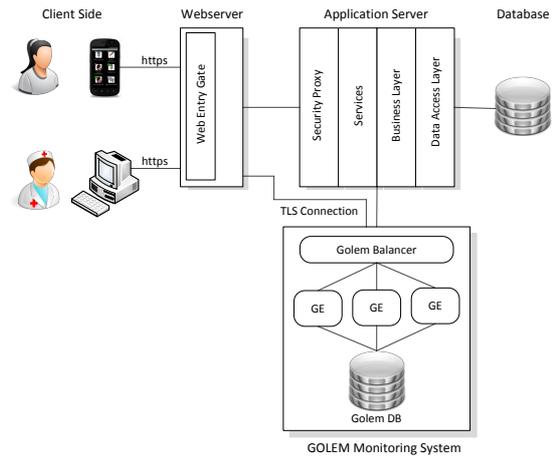


Fig. 1. Arquitectura del sistema GDMMS

La capa ii) *services* comprueba que las peticiones estén bien formadas, y las redirige a la *business layer*. La iii) *business layer* implementa la funcionalidad principal del sistema. Finalmente la iv) *data access layer* proporciona el acceso a los datos almacenados en el servidor.

- *GOLEM monitoring system*: está formado por tres componentes. El i) *GOLEM balancer* es un servicio web que recibe notificaciones de la *business layer*, que consisten en los datos médicos de la paciente. Los ii) *GOLEM environments* son contenedores que hospedan los agentes encargados de la monitorización. Cada paciente tiene asignado un agente que se ocupa analizar sus datos en base a una serie de reglas y generar así las alarmas pertinentes. La iii) *GOLEM database* por su parte almacena los agentes que durante cierto tiempo permanecen inactivos.
- *Database*: almacena toda la información de los pacientes: demográfica, valores de la monitorización y alarmas producidas.

El lector interesado puede encontrar en [12] una descripción detallada del sistema.

B. Clinical Document Architecture (CDA)

El CDA [13] es un estándar de e-Salud desarrollado por la organización internacional HL7. Este estándar especifica la estructura y semántica de un documento clínico con el propósito de intercambio. El CDA se codifica mediante XML y su contenido deriva del *Reference Information Model (RIM)* de la versión 3 de HL7. Un documento CDA incluye texto, pero también puede incluir imágenes, sonidos y otro tipos de contenido multimedia. Un documento CDA presenta las siguientes características [14]:

- *Persistencia*: un documento clínico continua existiendo sin alteraciones por un periodo de tiempo definido por requerimientos locales y regulatorios.
- *Responsabilidad*: un documento clínico debe ser mantenido por una organización a la que se asigna su cuidado.

```

<ClinicalDocument>
  <!-- CDA Header -->
  <!-- CDA Body -->
  <component>
    <structuredBody>
      <component>
        <section>...</section>
        <section>...</section>
      </component>
    </structuredBody>
  </component>
</ClinicalDocument>

```

Fig. 2. Ejemplo de documento CDA con un cuerpo estructurado

- Potencial para autenticación: un documento clínico recopila información que tiene prevista su autenticación legal.
- Contexto: un documento clínico establece un contexto para su contenido.
- Completitud: la autenticación de un documento clínico se aplica al conjunto y no se aplica a partes del documento sin el contexto completo del documento.
- Legibilidad: un documento clínico tiene que poder ser leído por seres humanos.

El elemento raíz de todo documento CDA es `<ClinicalDocument>`. Éste está compuesto por dos partes: una cabecera y un cuerpo. La cabecera especifica el contexto del contenido del documento, mediante su identificación y clasificación, y proporciona información sobre la autenticación, el encuentro, el paciente, y los proveedores involucrados. El cuerpo contiene el informe clínico, el cual puede organizarse mediante un elemento `<NonXMLBody>` o un elemento `<structuredBody>`. El primero permite una baja adopción del estándar mediante el encapsulamiento de un cuerpo sin contenido XML. El segundo permite la definición de un cuerpo estructurado mediante el uso de XML, de tal forma que éste pueda ser interpretado por un ordenador. Un cuerpo estructurado se organiza en uno o mas componentes mediante el uso de elementos `<component>`. A su vez los componentes pueden organizarse en una o múltiples secciones mediante elementos `<section>`. Las secciones presentan riqueza expresiva, permitiendo la representación formal de actos clínicos mediante el uso de múltiples elementos `<entry>`. Estos actos clínicos pueden ser observaciones, administración de medicamentos, efectos secundarios, entre otros.

C. Vocabularios

El contenido narrativo del cuerpo del CDA se puede codificar mediante el uso de vocabularios. Estos estándares están relacionados con terminología médica, proporcionando códigos específicos a conceptos clínicos. En este trabajo se han utilizado los siguientes vocabularios:

- SNOMED CT (*Systemized Nomenclature of Medicine Clinical Terms*): proporciona una colección de términos clínicos que abarca enfermedades, hallazgos, procedimientos, microorganismos, sustancias, etc.

- LOINC (*Logical Observation Identifiers Names and Codes*): se utiliza para identificar observaciones médicas de laboratorio.
- ICD-10 (*International Classification of Diseases*): este vocabulario está definido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), y proporciona un sistema de códigos para la clasificación de enfermedades.
- ATC (*Anatomical Therapeutic Chemical Classification System*): otro vocabulario definido por la OMS para la clasificación de medicamentos.

III. INTEROPERABILIDAD EN EL GDMMS

El lado cliente del sistema GDMMS para la paciente consiste en un teléfono inteligente basado en Android. El teléfono tiene una aplicación instalada que permite a la paciente introducir una serie de datos médicos, relacionados con la DMG, que se organizan en tres categorías distintas: parámetros fisiológicos, síntomas, y medicamentos. En la Tabla I se muestran los elementos de cada categoría. A parte, la aplicación permite a la paciente comprobar y corregir los datos que han entrado. Todos los datos se almacenan cifrados en el teléfono y se envían al servidor para su procesamiento cuando el teléfono tiene conexión de red.

La información que aparece en la Tabla I se ha codificado siguiendo el estándar CDA para enviar los datos del teléfono al servidor en este formato. El teléfono crea un documento CDA que contiene todos los valores introducidos por la paciente que todavía no hayan sido enviados. Esto se ha realizado mediante la adición de un nuevo módulo al código fuente con todas las clases necesarias para generar el CDA (ver diagrama UML de clases en Figura 3). La clase `CDADocument` corresponde al documento clínico que se pretende enviar y contiene todos los métodos necesarios para generarlo. El resto de las clases están asociadas cada una a una plantilla XML formateada acorde a su representación en CDA. Para generar el documento clínico, los valores variables de las plantillas XML necesarias se seleccionan mediante expresiones XPath y se rellenan con su valor correspondiente.

Enviar los datos del lado cliente del sistema de forma estándar implica realizar cambios en el lado servidor, para poder procesar correctamente las conexiones. Por otro lado, un documento CDA es de naturaleza persistente y debe ser mantenido por una organización responsable de su cuidado [14]. Estas características se reflejan en el cambio de la base de datos relacional por la base de datos XML BaseX, que permite almacenar el documento clínico en su formato original. Esto implica el uso de XQuery para consultar la información contenida en los documentos CDA. A continuación se detalla la estructura de cada parte del documento CDA.

A. Cabecera del CDA

La cabecera contiene sólo los elementos obligatorios especificados por el estándar. Los elementos opcionales no se han utilizado para minimizar la cantidad de datos enviados a través de la interfaz de red del teléfono.

TABLA I
DATOS RELACIONADOS CON LA DMG CODIFICADOS EN EL CUERPO DEL DOCUMENTO CDA (NOMBRES EN INGLÉS, COMO APARECEN EN LA APLICACIÓN MÓVIL)

Physiological Parameters	Blood pressure Heart rate Blood sugar Weight
Symptoms	Chest pain Edema Dyspnea Blurred vision Headache Epigastric pain
Medicaments	Insulatard Huminsulin basale Levemir Novorapid Humalog Metformin

TABLA II
CÓDIGOS LOINC UTILIZADOS PARA IDENTIFICAR LAS DISTINTAS SECCIONES DEL CUERPO (EN INGLÉS, COMO APARECEN EN EL ESTÁNDAR)

Section	Code	Display name
Physiological Parameters	8716-3	Vital signs
Symptoms	10164-2	History of present illness
Medicaments	10160-0	History of medication use

mento. Todos los datos de identificación del paciente están dentro de un elemento <recordTarget>. Estos pueden incluir nombre, género, dirección, entre otros. Sin embargo el único elemento obligatorio es el identificador del paciente especificado mediante un elemento <id>.

- El autor del documento, puede ser una persona o un dispositivo con el rol de autor. El autor se define mediante el elemento <author> y su elemento hijo <assignedAuthor>. El autor se puede especificar mediante su nombre, dirección, teléfono, correo electrónico, pero el único campo obligatorio es su identificador especificado mediante el elemento <id>. En este caso la paciente y el autor del documento clínico son la misma persona.
- La organización responsable de mantener el documento, definida con el elemento <custodian>. Aunque se puede especificar el nombre, dirección, teléfono entre otros, el único elemento obligatorio es el <id>.

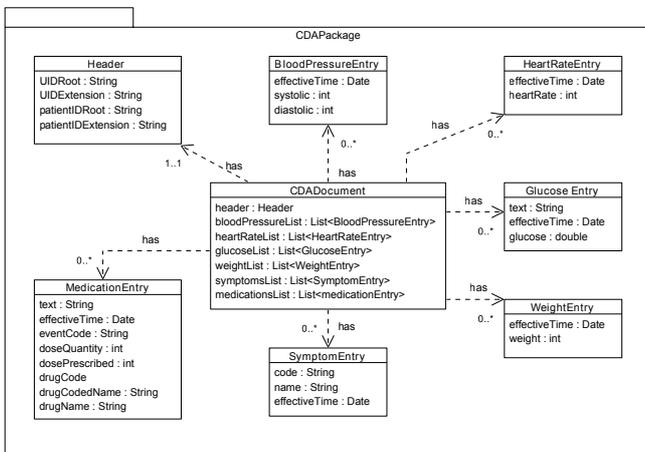


Fig. 3. Diagrama UML de las clases utilizadas para generar el documento CDA

Como se ha expresado en la Sección II la cabecera especifica el contexto del documento clínico. El conjunto mínimo de elementos que define dicho contexto son los siguientes:

- La identificación del documento, la cual se define mediante el elemento <id>. Este elemento XML tiene dos atributos *root* y *extension*. El atributo *root* identifica el universo del documento, y *extension* proporciona la identificación única al documento.
- El tipo de documento, especificado con el elemento <code>. Para este elemento se ha utilizado el código LOINC "51855-5" con nombre "Patient Note", ya que su descripción se ajusta al tipo de documento generado por la aplicación: "A patient authored note is generated by a patient, or a patient agent, acting in a non-clinical role to provide clinically relevant information."
- La fecha en la cual se creó el documento, definida con el elemento <effectiveTime>.
- El nivel de confidencialidad del documento, definido mediante el elemento <confidentialityCode>.
- El paciente (o pacientes) al cual pertenece el docu-

B. Cuerpo del CDA

El cuerpo del CDA generado es un cuerpo estructurado en XML, dividido en tres secciones distintas cada una codificando uno de los siguientes grupos: parámetros fisiológicos, síntomas y medicamentos. Las secciones se distinguen las unas a las otras mediante el uso de códigos LOINC aplicados a elementos <code> (ver Tabla II).

1) *Parámetros Fisiológicos*: La sección correspondiente a los parámetros fisiológicos puede tener cuatro tipos diferentes de entradas distinguidas mediante elementos <entry>. Cada tipo de entrada codifica un parámetro fisiológico distinto. Estos parámetros pueden ser: presión arterial, pulso, nivel de azúcar en sangre, o peso. Todos estos parámetros se codifican como observaciones utilizando el elemento <observation>. Una observación es un acto que puede ser visto como un procedimiento "no alterante" que da como resultado un valor [14]. Para esta sección un valor es una magnitud física de un parámetro fisiológico, aunque éste puede ser virtualmente cualquier cosa.

Cada parámetro fisiológico se identifica utilizando su correspondiente código SNOMED CT utilizando el elemento <code> (ver Tabla III), especifica sus unidades de medida en el atributo *unit* de elemento <value>, y tiene unos metadatos asociados como el tiempo en que se tomó la medida especificado en el atributo *value* del elemento <effectiveTime>. Las Fig. 3 y Fig. 4 muestran respectivamente la codificación de la presión arterial y el pulso. El atributo *classCode* del elemento <observation> define el tipo de acto que se trata, mientras que el atributo *moodCode* describe su posi-

TABLA III
CÓDIGOS SNOMED CT UTILIZADOS PARA IDENTIFICAR LOS
PARÁMETROS FISIOLÓGICOS (EN INGLÉS, COMO APARECEN EN EL
ESTÁNDAR)

Physiological parameter	Code	Display name
Blood pressure	251076008	Cuff blood pressure
Systolic blood pressure	271649006	Systolic BP
Diastolic blood pressure	271650006	Diastolic BP
Heart rate	364075005	Heart rate
Blood sugar	302789003	Capillary blood glucose measurement (procedure)
Weight	363808001	Body weight measure

TABLA IV
CÓDIGOS ICD-10 UTILIZADOS PARA IDENTIFICAR LOS SÍNTOMAS (EN
INGLÉS, COMO APARECEN EN EL ESTÁNDAR)

Symptom	Code	Display name
Chest pain	R07.4	Chest pain, unspecified
Edema	O12.0	Gestational oedema
Dyspnea	R06.0	Dyspnoea
Blurred vision	H53.8	Other visual disturbances
Headache	R51	Headache
Epigastric pain	R10.1	Pain localized to upper abdomen

cionamiento en el tiempo. En este caso el valor *moodCode* de todos los parámetros fisiológicos es "EVN" ya que este define un acto que ya ha ocurrido.

La codificación de la presión sanguínea difiere del resto de parámetros fisiológicos ya que ésta se compone de dos valores distintos, la presión sanguínea sistólica y la diastólica. Esta relación se codifica mediante dos elementos `<entryRelationship>` dentro del elemento `<observation>`. La codificación del pulso también difiere de los otros parámetros fisiológicos ya que se mide en pulsaciones pro minuto (bpm). Este hecho se expresa mediante el elemento `<denominator>` que es un elemento hijo del elemento `<value>`.

2) *Síntomas*: La sección correspondiente a los síntomas puede tener seis tipos de entradas distintos, cada una codificando un síntoma distinto. Los síntomas, como los parámetros fisiológicos, se han codificado como observaciones mediante elementos `<observation>`. La identificación de los síntomas se realiza utilizando el vocabulario ICD-10 (ver Tabla IV para los códigos). En cada síntoma el elemento `<code>` hijo del elemento `<observation>` proporciona identificación del síntoma. Cada síntoma tiene unos metadatos asociados que consisten en el tiempo en que ocurrió el síntoma. La Fig. 5 muestra un ejemplo codificando el síntoma cefalea.

3) *Medicamentos*: La sección correspondiente a los medicamentos puede tener seis tipos de entradas distintos, cada una codificando un medicamento distinto. Todos los medicamentos de esta sección se corresponden con tipos de insulina. En esta sección los medicamentos se codifican mediante el elemento `<substanceAdministration>`. Este elemento representa la administración de una sustancia particular, p. ej. un medicamento, un inmunizador o otra sustancia a un paciente [14].

Cada medicamento se identifica utilizando su código ATC

(ver Tabla V). A parte el elemento `<name>` proporciona el nombre del medicamento tal y como aparece en la aplicación móvil. La Fig. 6 muestra el ejemplo de codificación de un medicamento. Los metadatos asociados con un medicamento son: i) un comentario opcional relacionado con la entrada que la paciente puede escribir en la aplicación móvil y que se recoge mediante el elemento `<text>`, ii) la fecha y hora en que el medicamento fue tomado codificado mediante dos elementos `<effectiveTime>`, y iii) la dosis tomada por la paciente y la dosis prescrita por el doctor, ambas expresadas en unidades de insulina (IU).

En la aplicación móvil el tiempo en que se inyectó un bolo de insulina se especifica mediante dos elementos: un *timestamp*, y un texto que especifica cuándo se inyectó el bolo en relación a las comidas p. ej. antes del desayuno, etc. A parte, el CDA especifica que la frecuencia de las dosis se debe especificar con un elemento `<effectiveTime>` del tipo *General Timing Specification* (GTS). El tipo de dato GTS permite usar distintas operaciones como intersecciones, uniones y diferencias para expresar el tiempo como un conjunto de intervalos. La especificación del tiempo de administración del medicamento se ha codificado como la intersección de un *Time Stamp* (TS) y un *Event-Related Periodic Interval of Time* (EIVL). El tipo de dato EIVL se utiliza para representar eventos relacionados con las comidas y el dormir. El elemento `<event>` se utiliza para especificar un evento específico mediante su atributo *code*. Los códigos permitidos están predefinidos en el estándar HL7. La Tabla VI muestra los que se han usado para la aplicación.

Otra particularidad de esta entrada es que el elemento `<substanceAdministration>` sólo permite la codificación de una dosis. Sin embargo, en la aplicación móvil la paciente puede introducir tanto la dosis de insulina recetada por el doctor como la dosis real que se ha inyectado la paciente. Esto es debido a que la diabetes es una enfermedad autogestionada, y por tanto la paciente tiene cierto grado de autonomía para decidir cuál es la dosis de insulina apropiada que necesita ya que los niveles de glucosa en sangre dependen del tipo y cantidad de ingestas tomadas. Para codificar la dosis de insulina que se ha inyectado la paciente se ha utilizado el elemento `<doseQuantity>` definido por el estándar, y se ha añadido el elemento `<dosePrescribed>` para codificar la dosis prescrita por el doctor. Este es el único elemento XML que se ha tenido que definir en todo el CDA con tal de poder codificar todos los datos especificados en la aplicación móvil. El poder añadir elementos XML definidos a nivel local está permitido por el estándar ya que en su Sección 1.4 especifica "Locally-defined markup may be used when local semantics have no corresponding representation in the CDA specification."

La incorporación del elemento `<dosePrescribed>` tiene implicaciones respecto a la interoperabilidad con otros sistemas. En particular, la validación de un documento CDA que contenga extensiones debe realizarse por fases [14]. En una primera fase se deben validar las extensiones, mediante el uso de XML Schema o ISO Schematron que se deben proporcionar

```
<observation classCode="OBS" moodCode="EVN">
  <code code="251076008" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.96" codeSystemName="SNOMED CT" displayName="Cuff blood pressure" />
  <effectiveTime value="201301221746"/>
  <entryRelationship typeCode="COMP">
    <observation classCode="OBS" moodCode="EVN">
      <code code="271649006" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.96" codeSystemName="SNOMED CT" displayName="Systolic BP" />
      <value unit="mm[Hg]" value="120" xsi:type="PQ"/>
    </observation>
  </entryRelationship>
  <entryRelationship typeCode="COMP">
    <observation classCode="OBS" moodCode="EVN">
      <code code="271650006" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.96" codeSystemName="SNOMED CT" displayName="Diastolic BP" />
      <value unit="mm[Hg]" value="80" xsi:type="PQ"/>
    </observation>
  </entryRelationship>
</observation>
```

Fig. 3. Medida de la presión arterial codificada en el CDA

```
<observation classCode="OBS" moodCode="EVN">
  <code code="364075005" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.96" codeSystemName="SNOMED CT" displayName="Heart rate"/>
  <effectiveTime value="201301221746"/>
  <value xsi:type="RTO_PQ_PQ">
    <numerator value="60"/>
    <denominator unit="min" value="1"/>
  </value>
</observation>
```

Fig. 4. Medida del pulso codificada en el CDA

```
<observation classCode="OBS" moodCode="EVN">
  <code code="R51" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.3" codeSystemName="ICD10" displayName="Headache"/>
  <effectiveTime value="201305212115"/>
</observation>
```

Fig. 5. Síntoma de dolor de cabeza codificado en el CDA

TABLA V

CÓDIGOS ATC UTILIZADOS PARA IDENTIFICAR LOS MEDICAMENTOS (EN INGLÉS, COMO APARECEN EN EL ESTÁNDAR)

Medicament	Code	Display name
Insulatard	A10AC01	insulin (human)
Huminsulin basale	A10AD01	insulin (human)
Levemir	A10AE05	insulin detemir
Novorapid	A10AB05	insulin aspart
Humalog	A10AB04	insulin lispro
Metformin	A10BA02	metformin

TABLA VI

CÓDIGOS DE EVENTOS RELACIONADOS CON EL TIEMPO UTILIZADOS PARA IDENTIFICAR LOS PERIODOS DEL DÍA (EN INGLÉS, COMO APARECEN EN EL ESTÁNDAR)

Time of the day	Code	Meaning (from lat.)
Before breakfast	ACM	ante cibus matutinus
After breakfast	PCM	post cibus matutinus
Before lunch	ACD	ante cibus diurnus
After lunch	PCD	post cibus diurnus
Before dinner	ACV	ante cibus vespertinus
After dinner	PCV	post cibus vespertinus
Later	ICV	inter cibus vespertinus

al resto de aplicaciones. Una vez se han validado las extensiones éstas se deben eliminar antes de realizar posteriores validaciones. Este proceso se puede realizar mediante el uso de hojas de estilo XSLT.

IV. TRABAJOS RELACIONADOS

Aunque en la mayoría de SUAMs la interoperabilidad no se tiene en cuenta [8], en la literatura se pueden encontrar distintos proyectos que han utilizado el estándar CDA para proporcionar interoperabilidad. Todos estos sistemas podrían interactuar con el sistema GDMMS combinándolos de distintas formas. Aunque estas integraciones no son directas, el uso del estándar CDA minimiza los esfuerzos requeridos para conseguirlo.

En [15] los autores presentan un *Home Telecare System* (HTS) que consiste en una base de datos de paciente y un sistema de informes. La base de datos almacena valores extraídos de señales vitales, mientras que el sistema de informes realiza un análisis sobre estos datos. El sistema de informes convierte primero la información a formato XML que a su vez se utiliza para generar el documento CDA. En este sistema el documento CDA generado contiene sólo constantes vitales, mientras que en el sistema GDMMS el documento CDA también contiene información sobre síntomas y mediación. Además, en el sistema GDMMS el uso del terminal móvil permite la movilidad del paciente mientras se le monitoriza. Es por ello que el sistema GDMMS podría complementar a

```

<substanceAdministration classCode="SBADM" moodCode="EVN">
  <text>optional comment related with the entry</text>
  <effectiveTime xsi:type="TS" value="201305211250"/>
  <effectiveTime xsi:type="EIVL" operator="A">
    <event code="ACD"/>
  </effectiveTime>
  <doseQuantity value="2.5" unit="IU"/>
  <dosePrescribed value="2" unit="IU"/>
  <consumable>
    <manufacturedProduct>
      <manufacturedLabeledDrug>
        <code code="A10AE05" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.73" codeSystemName="ATC" displayName="insulin detemir
          "/>
        <name>Levemir</name>
      </manufacturedLabeledDrug>
    </manufacturedProduct>
  </consumable>
</substanceAdministration>

```

Fig. 6. Medicamento Levemir codificado en el CDA

este sistema extendiendo sus funcionalidades. Para conseguir esta relación de inclusión la información sobre síntomas y medicación se debería enviar a la base de datos, y el sistema de informes debería incluir estas secciones en los informes CDA generados.

En [16] se presenta una *smart home healthcare system*. El objetivo de este sistema es la monitorización de pacientes que sufren alzheimer. En este sistema los datos sobre distintas actividades se captan mediante sensores de movimientos, preprocesados utilizando distintos algoritmos, y almacenados en formato XML. Cada actividad incluye información sobre el tipo de actividad, el sensor, la persona que realizó la actividad y la fecha en que se realizó la actividad. El sistema genera un documento CDA con todas las actividades realizadas por los pacientes, que se puede transmitir a todos los centros hospitalarios suscritos a la *smart home*. Este sistema y el sistema GDMMS monitorizan diferentes tipos de enfermedades, es por ello que podían tener una relación de comorbilidad combinando las funcionalidades de ambos.

Koutkias et al. [17] proponen una plataforma centrada en la gestión de la medicación para proporcionar ayuda respecto los efectos secundarios de los medicamentos. Su arquitectura se compone de dos subsistemas, uno en el lado paciente y otro en el lado médico. La parte del paciente se compone por una red de sensores corporales que mide la presión arterial y el pulso, y una unidad base móvil (UBM) que coordina la red de sensores y notifica al lado médico el estado de la monitorización. El lado médico almacena los datos de la monitorización y envía a la UBM información relacionada con la prescripción como los objetivos en cuanto a los parámetros monitorizados, efectos secundarios que pueden ocurrir, y patrones para la detección de efectos secundarios. La comunicación entre ambos subsistemas se realiza mediante XML. Del lado médico al lado paciente la información sobre la prescripción del medicamento se codifica utilizando un *schema* propio, y para el canal reverso los resultados de la monitorización se proporcionan utilizando el CDA. La funcionalidad de este sistema relacionada con los efectos secundarios se podría incluir en el sistema GDMMS, complementándolo con una relación de inclusión.

Todos los sistemas descritos tratan la interoperabilidad

mediante la generación de documentos CDA que informan sobre el estado de monitorización del paciente. Sin embargo, ninguno de ellos proporciona información sobre como han seguido las especificaciones del estándar o la estructura de los documentos CDA generados.

Por otro lado, el sector industrial está más concienciado con la interoperabilidad de sistemas. En particular, HL7 y Continua han publicado conjuntamente el *Personal Healthcare Monitoring Record* (PHMR), una guía de implementación del CDA que restringe los elementos a utilizar para la cabecera y el cuerpo del CDA. El PHMR está pensado para ser implementado por dispositivos de monitorización como glucómetros, esfingomanómetros, etc. que quieran transmitir de manera estandarizada los valores de sus medidas. La propuesta de CDA descrita en este artículo difiere del PHMR ya que está más orientada hacia el paciente. Esto se refleja en el hecho de que el PHMR no tiene una sección específica para síntomas, ya que los síntomas sólo pueden ser comunicados por el paciente.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La mayoría de SUAMs que se pueden encontrar en la literatura no tienen en cuenta la interoperabilidad [8]. En este artículo se ha descrito la implementación del estándar CDA en un SUAM particular para hacerlo interoperable. En concreto se ha utilizado el CDA para producir un documento clínico el cual reporta en tres secciones distintas los parámetros fisiológicos, los síntomas, y la medicación administrada por la paciente. Los autores creemos que este trabajo puede tomarse como referencia para proporcionar interoperabilidad a futuras implementaciones de SUAMs.

Además, se concluye la necesidad de ampliar las especificaciones del CDA con tal de considerar la participación del paciente en el proceso de monitorización. Por ejemplo, en GDMMS hay dos tipos de dosis de insulina, la inyectada por la paciente y la prescrita por el doctor, mientras que en estándar CDA sólo existe un atributo para codificar dosis. Por este motivo se ha tenido que añadir el elemento `<dosePrescribed>` para modelar la dosis de insulina prescrita por el médico, y se ha utilizado el elemento `<doseQuantity>` proporcionado por el estándar

para especificar la dosis de insulina inyectada por la paciente. Se asume también que en un escenario real, se debería pedir a la organización HL7 un código para la organización encargada de la custodia del documento para poderla identificar un *ISO Object Identifier* (OID) único.

Como trabajo futuro se planea mejorar la escalabilidad del sistema, moviendo la plataforma multiagente del servidor a la parte cliente del sistema. En consecuencia, las alertas generadas por los agentes se pueden codificar como una nueva sección dentro del documento CDA que se genera actualmente en el terminal móvil.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Hasler Foundation y el proyecto TAMESIS (TEC2011-22746).

REFERENCIAS

- [1] B. Amrich, O. Mayora, J. Bardram, and G. Tröster, "Pervasive Healthcare Paving the Way for a Pervasive, User-centered and Preventive Healthcare Model," *Methods of Information in Medicine*, vol. 49, no. 1, pp. 67–73, 2010.
- [2] U. Varshney, "Pervasive Healthcare and Wireless Health Monitoring," *Mobile Networks and Applications*, vol. 12, no. 2-3, pp. 113–127, 2007.
- [3] J. E. Bardram, "Pervasive Healthcare as a Scientific Discipline," *Methods of Information in Medicine*, vol. 47, no. 3, pp. 178–185, 2008.
- [4] U. Varshney, "Pervasive Healthcare," *IEEE Computer*, vol. 36, no. 12, pp. 138–140, 2003.
- [5] A. B. Bondi, "Characteristics of Scalability and Their Impact on Performance," in *Proceedings of the 2nd international workshop on Software and performance*, ser. WOSP '00. New York, NY, USA: ACM, 2000, pp. 195–203. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/350391.350432>
- [6] Y. Liu and F. Li, "PCA: A Reference Architecture for Pervasive Computing," in *Pervasive Computing and Applications, 2006 1st International Symposium on*, 2006, pp. 99–103.
- [7] "IEEE Standard Computer Dictionary. A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries," *IEEE Std 610*, 1991.
- [8] M. Baumgarten and M. D. Mulvenna, "Cognitive Sensor Networks: Towards Self-adapting Ambient Intelligence for Pervasive Healthcare," in *PervasiveHealth*, 2011, pp. 366–369.
- [9] R. Schumann, S. Bromuri, J. Krampf, and M. I. Schumacher, "Agent Based Monitoring of Gestational Diabetes Mellitus (Demonstration)," in *Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 3*, ser. AAMAS '12, 2012, pp. 1487–1488. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2343896.2344074>
- [10] S. Bromuri, J. Krampf, R. Schumann, and M. Schumacher, "Enforcing Security in Pervasive Healthcare Monitoring Gestational Diabetes Mellitus," in *Proceedings of the Fourth International Conference on eHealth, Telemedicine, and Social Medicine (eTELEMED 2012)*. IARIA, Feb. 2012, pp. 221–226.
- [11] J. Krampf, S. Bromuri, M. Schumacher, and J. Ruiz, "An Agent Based Pervasive Healthcare System: A First Scalability Study," in *Electronic Healthcare*, ser. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, 2012, vol. 91, pp. 128–137.
- [12] S. Bromuri, M. I. Schumacher, K. Stathis, and J. Ruiz, "Monitoring Gestational Diabetes Mellitus with Cognitive Agents and Agent Environments," in *IAT*, 2011, pp. 409–414.
- [13] R. H. Dolin, L. Alschuler, S. Boyer, C. Beebe, F. M. Behlen, P. V. Biron, and A. S. Shvo, "HL7 Clinical Document Architecture, Release 2," *JAMIA*, vol. 13, no. 1, pp. 30–39, 2006.
- [14] K. Boone, *The CDA™ Book*. Springer, 2011.
- [15] H. Garsden, J. Basilakis, B. Celler, K. Huynh, and N. Lovell, "A Home Health Monitoring System Including Intelligent Reporting and Alerts," in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2004. IEMBS '04. 26th Annual International Conference of the IEEE*, vol. 2, Sept. 2004, pp. 3151–3154.
- [16] W. A. Khan, M. Hussain, A. M. Khattak, M. Afzal, B. Amin, and S. Lee, "Integration of HL7 Compliant Smart Home Healthcare System and HMIS," in *Impact Analysis of Solutions for Chronic Disease Prevention and Management*, ser. Lecture Notes in Computer Science, 2012, vol. 7251, pp. 230–233.
- [17] V. Koutkias, I. Chouvarda, A. Triantafyllidis, A. Malousi, G. D. Giaglis, and N. Maglaveras, "A Personalized Framework for Medication Treatment Management in Chronic Care," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 14, no. 2, pp. 464–472, 2010.