

Universidad Autónoma de Baja California  
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño  
Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería  
Maestría en Ingeniería–Computación



**“MÉTODO PARA LA INTEGRACIÓN DE DATOS PROVENIENTES  
DE SENSORES FISIOLÓGICOS BASADO EN LOS ESTÁNDARES  
HL7 PARA UN SISTEMA MÉDICO DE MONITORIZACIÓN A  
DISTANCIA”**

Tesis Profesional

Que para cubrir parcialmente los requisitos para obtener el grado de  
**MAESTRA EN INGENIERÍA**

Presenta:

Dolores Ojeda Carreño

Director de tesis:

Dr. Juan Iván Nieto Hipólito

Ensenada, Baja California, México, Febrero del 2012.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería**

**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

TESIS DE GRADO

**MÉTODO PARA LA INTEGRACIÓN DE DATOS  
PROVENIENTES DE SENSORES FISIOLÓGICOS BASADO EN  
LOS ESTANDARES HL7 PARA UN SISTEMA MÉDICO DE  
MONITORIZACIÓN A DISTANCIA**

PRESENTADA POR

***Dolores Ojeda Carreño***

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

---

*Dr. Juan Iván Nieto Hipólito*

Director del Comité

---

*M.C. Elitania Jiménez García*

Miembro del Comité

---

*Dra. Mabel Vázquez Briseño*

Miembro del Comité

## Resumen en Español

Las redes de sensores se caracterizan por su alta heterogeneidad y el uso de diferentes métodos para la representación de las variables fisiológicas adquiridas, lo que requiere utilizar una codificación estandarizada para poder usar y compartir estos datos con sistemas heterogéneos. Dicha heterogeneidad en los sensores no permite lograr la interoperabilidad entre sistemas de información clínica con los datos escalares provenientes de los sensores fisiológicos.

Los estándares HL7 de interoperabilidad para sistemas de información clínica no soportan los datos escalares provenientes de sensores fisiológicos. Razón por la cual en esta tesis de maestría se desarrolló un método que estandariza en base a las especificaciones de los estándares HL7 V3 datos escalares provenientes de sensores fisiológicos. La implementación en algún lenguaje de programación de este método produce un software intermediario denominado Middleware HL7, el cual convierte los datos escalares provenientes de sensores fisiológicos a unidades de medidas entendibles y operables por el ser humano (por ejemplo los datos escalares de un sensor de temperatura corporal son convertidos a grados centígrados) para después incrustar estos datos en un mensaje HL7 V3 para que ésta información pueda ser usada y compartida entre sistemas de información clínicos heterogéneos. Este método también es capaz de procesar datos fisiológicos (introducidos manualmente) provenientes de dispositivos móviles.

Se desarrolló un sistema computacional con soporte a HL7 para monitorear a distancia los parámetros fisiológicos de un paciente mediante el uso de sensores fisiológicos. Para validar la interoperabilidad técnica y semántica del Middleware HL7 se desarrolló una aplicación en la plataforma Android para dispositivos móviles que recibe datos (temperatura, nivel de glucosa y presión arterial) de una revisión rutinaria para el seguimiento de un paciente después de una operación.

La importancia de éste trabajo es que el método desarrollado logra la convergencia entre los sensores fisiológicos con sistemas de información clínica, de tal forma que la información puede ser usada y compartida en un entorno heterogéneo mediante el sistema de monitoreo a distancia de parámetros fisiológicos. Este método puede ser usado para desarrollar cualquier sistema de información clínico con soporte a los estándares HL7 V3 que pueda hacer el uso de información proveniente de una red de sensores de área corporal.

## **Dedicatoria:**

Este trabajo de tesis se lo dedico a mi hija Camila porque ella es el regalo de vida que Dios me envió.

## **Agradecimientos:**

A Dios por haberme dado la oportunidad de estudiar esta maestría y por hacer que todo haya fluido de la forma tal que se ha cumplido un objetivo, el cual es un parte aguas en mi vida profesional y personal.

A mi familia por su confianza y apoyo constante.

Son tantas las personas a las que les tengo que agradecer su ayuda en tantos sentidos. Empezaré por darle las gracias a mi novio Manuel por su apoyo incondicional y por impulsarme siempre a luchar por mis sueños y objetivos. También quiero agradecerles a Mariana, Norma y Edith por no quitar el dedo del renglón y animarme a ingresar a este posgrado; además les agradezco su apoyo a los largo de estos años. Finalmente, quiero agradecerle a mi gran amigo Everardo su apoyo, confianza, tiempo, esfuerzo y en especial por su infinita paciencia. Mil gracias por estar ahí siempre.

## **Agradecimientos especiales:**

Al Dr. Juan Iván Nieto Hipólito por su apoyo y paciencia, ya que pese a la adversidad logramos que se cumpliera en tiempo y forma este trabajo de tesis.

A mis sinodales M.C. Elitania Jiménez García y Dra. Mabel Vázquez Briseño por sus consejos y sugerencias que me fueron de gran ayuda.

A la M.I. María de los Ángeles Cossio León y al M.C. Raymundo Buenrostro Hernández su tiempo y consejos que fueron vitales para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, a Mario Enrique Cortés M., gerente de Datasalud en Colombia y miembro fundador de HL7 Colombia, por su tiempo y por los conocimientos que me aportó.

## Índice de contenido

1. Introducción .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos .....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos .....	4
2. Telemedicina .....	5
2.1 Historia de la telemedicina.....	5
2.2 Telesalud (Salud electrónica y Salud móvil) .....	6
2.2.1 Salud electrónica.....	6
2.2.2 Salud móvil.....	6
3. Estándares HL7 (Health Level Seven) .....	8
3.1 Dificultades de la interoperabilidad.....	8
3.2 ¿Por qué elegir los estándares HL7?.....	9
3.3 Elementos para el diseño de los artefactos de los estándares HL7.....	9
3.3.1 Modelo de información de referencia .....	10
3.3.2 Modelo de Información de Mensajes del Dominio .....	12
3.3.3 Modelo Refinado de Información de Mensajes.....	13
3.3.4 Descripciones jerárquicas de los mensajes.....	13
3.3.5 Tipos de elementos de mensajes comunes .....	13
3.3.6 Identificador de objeto .....	13
3.3.7 Interacciones .....	13
3.3.8 Evento disparador .....	14

3.3.9 Estados .....	14
3.4 Estándar HL7 versión 3 .....	14
3.4.1 Dominios universales .....	15
3.4.2 Arquitectura de documentos clínicos (CDA, Clinical Document Architecture) .	15
3.4.3 Mensajería HL7 versión 3 .....	15
4. Redes inalámbricas de sensores y estándar 802.15.4 .....	18
4.1 Sensores fisiológicos inalámbricos.....	18
4.1.1 WBAN.....	18
4.1.2 Red inalámbrica de área personal de baja potencia (LR-WPAN, Low-RateWireless Personal Area Network) .....	19
4.2 Estándar 802.15.4 .....	19
5. Método basado en los estándares HL7 para la estandarización de datos provenientes de sensores fisiológicos.....	20
5.1 Diseño del método para la construcción de middleware HL7 .....	20
5.2 Plantillas derivadas del estándar HL7 V3 .....	24
5.2.1 Plantilla de mensaje HL7 V3 para datos provenientes de sensores fisiológicos .	24
5.2.2 Plantilla de documento CDA HL7 V3 para mensaje HL7 V3 datos de lecturas de sensores y observaciones medicas.....	26
5.3 Middleware HL7 .....	27
6. Sistema de monitorización a distancia de variables fisiológicas .....	29
6.1 Escenario de caso de uso: monitorización de temperatura corporal de un paciente post-cirugía	29
6.2 Análisis de requerimientos de Hardware para el sistema de monitorización.....	31
6.3 Diseño del sistema de monitorización a distancia de variables fisiológicas.....	32
6.3.1 Modelado UML .....	32
6.3.2 Arquitectura general.....	43

6.3.3 Modelado de la Base de datos .....	44
6.4 Sistema de monitorización a distancia de variables fisiológicas.....	45
6.5 Aplicación para el seguimiento de pacientes post-cirugía.....	49
7. Conclusiones y trabajo futuro .....	52
7.1 Principales contribuciones y conclusiones.....	52
7.2 Trabajo futuro.....	54
Bibliografía .....	55

## índice de figuras

<b>Figura 3.1</b> Múltiples Interfaces. Imagen tomada y adaptada de [6].	8
<b>Figura 3.2</b> Formula para múltiples interfaces. Imagen tomada y adaptada de [6].	9
<b>Figura 3.3</b> Modelo RIM. Imagen tomada de [19].	11
<b>Figura 3.4</b> Clases funcionales del RIM [21].	12
<b>Figura 3.5</b> Estados soportados por HL7. Imagen tomada y adaptada de [21].	14
<b>Figura 3.6</b> Componentes de un mensaje HL7 V3.	16
<b>Figura 4.1</b> Red Inalámbrica de Sensores, WBAN.	18
<b>Figura 5.1</b> Esquema general del Método para convertir datos escalares.	23
<b>Figura 5.2</b> Plantilla del Mensaje HL7 V3 para datos provenientes de múltiples sensores.	26
<b>Figura 5.3</b> Plantilla del POCD_RM201101MX01 para datos provenientes de un mensaje HL7 V3.	27
<b>Figura 6.1.</b> Lectura del sensor convertida a un Mensaje HL7 V3.	30
<b>Figura 6.2.</b> Topología Estrella usada.	31
<b>Figura 6.3.</b> Enviando Lecturas al nodo Coordinador (FFD).	32
<b>Figura 6.4.</b> Diagrama General de Casos de Uso.	35
<b>Figura 6.5.</b> CU Recopilar variables fisiológicas.	36
<b>Figura 6.6.</b> CU Crear Mensaje HL7 V3.	37
<b>Figura 6.7.</b> CU Administrar Mensaje HL7 V3.	38
<b>Figura 6.8.</b> Diagrama de Clases.	39
<b>Figura 6.9.</b> Diagrama de secuencia para recopilar variables fisiológicas.	40
<b>Figura 6.10.</b> Diagrama de secuencia para Crear Mensaje HL7 V3.	41
<b>Figura 6.11.</b> Diagrama de secuencia para administrar mensaje HL7 V3.	42
<b>Figura 6.12.</b> Arquitectura general del sistema de monitorización.	43
<b>Figura 6.13</b> Diagrama entidad-relación de la Base de datos para el sistema de monitorización.	45
<b>Figura 6.14.</b> Pantalla de la aplicación de lado del médico.	46
<b>Figura 6.15.</b> Sistema de Monitorización: recolección de lecturas y creación de mensaje HL7 V3.	48
<b>Figura 6.16.</b> Inicio de sesión en el sistema de seguimiento de pacientes post-cirugía.	50
<b>Figura 6.17.</b> Mensaje de confirmación de parámetros normales.	51

## Índice de tablas

<b>Tabla 5.1.</b> Definición del nombre de la plantilla POLB_RM201101MX01 .....	25
<b>Tabla 5.2.</b> Definición del nombre de la plantilla POCD_RM201101MX01 .....	27

# Capítulo 1

## 1. Introducción

Gracias a los avances de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) y de la medicina, en la actualidad es posible que cada vez más personas tengan acceso a servicios médicos incluyendo diagnóstico y tratamiento a distancia, a esta práctica se le denomina telemedicina [1].

Considerando que se ha extendido más allá de la consulta médica; la telemedicina ha incorporado los servicios de entrenamiento, capacitación, prevención de enfermedades, monitoreo en casa, entre otros [2]. Apoyándose en muchos casos en las redes de sensores, las cuales se están convirtiendo en uno de los campos más prometedores para la telemedicina [3], principalmente en las redes de área corporal inalámbricas (WBAN, Wireless Body Area Network). Las WBAN son redes de comunicación inalámbrica entre dispositivos de baja potencia incorporados al paciente, cuyo objetivo es la recolección de variables fisiológicas, tales como temperatura corporal, frecuencia cardiaca, presión arterial, nivel de glucosa, entre otras. Dichas variables permitirán la monitorización del paciente [4].

Las redes de sensores se caracterizan por alta su heterogeneidad y por utilizar diferentes métodos para la representación de las mismas medidas. Por tal motivo es imprescindible utilizar una codificación estandarizada [5] para lograr la interoperabilidad entre sistemas heterogéneos que usen sensores, por ejemplo sistemas de información clínica (SIC). Entendiendo como interoperabilidad la habilidad entre dos o más sistemas computacionales o componentes para intercambiar, y usar información [6].

Para los sistemas de información clínicos heterogéneos que requieran de intercambiar datos es necesario desarrollar interfaces adaptadas y personalizadas para cada sistema. Esto representa un gasto enorme de recursos para las instituciones y limitante para la prestación de sus servicios, ya que si se quiere compartir información se tiene que acordar un protocolo de comunicación por cada institución. Una de las soluciones al problema de múltiples interfaces es el uso de mensajes electrónicos que funcionen de acuerdo a reglas comunes de estructuras de datos (sintaxis) y codificaciones de contenido (semántica). Una de las alternativas más eficientes es hacer uso de los estándares HL7,

cuyas especificaciones contemplan la integración de la información para una gran cantidad de casos clínicos y administrativos [6].

Sin embargo, los estándares HL7 no fueron diseñados para trabajar con datos escalares provenientes de varios y diferentes sensores inalámbricos [7], por lo cual se propone un método para integrar y convertir las lecturas de varios sensores fisiológicos en un mensaje HL V3 para lograr la estandarización de los datos, así como la interoperabilidad técnica y semántica entre sistemas de información clínica, de tal forma que los datos sean entendidos de la misma manera.

Con el método propuesto se implementó un Middleware HL7 que fue integrado a un sistema de monitorización a distancia de variables fisiológicas (específicamente para el monitoreo de temperatura corporal) para trabajar con datos clínicos entre sistemas de información clínicos heterogéneos.

El método propuesto puede ser usado para el desarrollo de cualquier sistema de información clínica que trabaje con datos provenientes de múltiples sensores. Teniendo la capacidad de recibir datos de otras fuentes, por ejemplo de dispositivos móviles.

## **1.1 Planteamiento del problema**

En el ámbito de la telemedicina, la interoperabilidad se define como la capacidad de dos o más sistemas para intercambiar y usar la información de una misma manera [6]. Los estándares HL7 permiten la interoperabilidad entre sistemas de información de salud; son los estándares de mayor popularidad y aceptación, sin embargo no fueron diseñados para trabajar con datos escalares provenientes de sensores inalámbricos [7].

Las redes de sensores se caracterizan por su alta heterogeneidad y el uso de diferentes métodos para la representación de las variables fisiológicas adquiridas [5], siendo imprescindible utilizar una codificación estandarizada para poder compartir estos datos con otros sistemas. Dicha heterogeneidad en los sensores no permite lograr la interoperabilidad entre sistemas de información clínica con los datos escalares leídos.

En este trabajo de tesis se propone un método para la estandarización de datos escalares provenientes de sensores fisiológicos, tal que su implementación produce un software intermediario (middleware) que convierte a datos provenientes de sensores

fisiológicos a un mensaje HL7 V3 para que esta información pueda ser usada y compartida entre sistemas de información clínicos heterogéneos.

## 1.2 Justificación

Los sistemas de salud electrónica habilitan servicios médicos a distancia permitiendo a los especialistas en la salud monitorizar a sus pacientes desde cualquier punto geográfico [9], a través de sensores médicos. Los sensores son dispositivos electrónicos capaces de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación (por ejemplo: temperatura ambiental, presión, fuerza, entre otros) y transformarlas en variables eléctricas [10].

Los sensores médicos o fisiológicos tienen como finalidad recolectar las lecturas de las variables fisiológicas de algún paciente, tales como frecuencia cardiaca, presión arterial, nivel de glucosa, entre otros[4], sin embargo las redes de sensores se caracterizan por su alta heterogeneidad y también porque pueden utilizar diferentes métodos para la representación de las mismas medidas de las variables fisiológicas, razón por la cual es necesario realizar una codificación estandarizada [5] para poder lograr la interoperabilidad entre sistemas de información clínica (SIC) y así poder intercambiar y entender los datos de la misma manera.

En la actualidad los estándares HL7 se enfocan en muchos aspectos de interoperabilidad, los cuales trabajan básicamente en intercambiar, integrar, compartir y recuperar información de salud en forma electrónica [8], el problema de estos estándares radica en que no fueron diseñados para trabajar con datos provenientes de varios y diferentes sensores inalámbricos [7]. Por tal motivo, en este trabajo se propone un método para el desarrollo de un software denominado Middleware HL7 que estandariza los datos provenientes de sensores fisiológicos usando los estándares HL7 para que ésta información pueda ser usada y compartida entre sistemas de información clínicos heterogéneos.

México es un país geográficamente disperso, esto lo podemos ver en la gran cantidad de zonas rurales que existen. Enviar un médico a cada localidad resultaría en altos costos económicos. Lo cual requiere de tecnologías que proporcionen una solución económica y factible de implementar y replicar. Este trabajo presenta, además del método, un sistema de monitoreo a distancia de parámetros fisiológicos que no sólo puede usarse en

zonas rurales, sino en zonas urbanas para mejorar el alcance y calidad de los servicios de salud.

La importancia del método propuesto es que logra la convergencia entre los sensores fisiológicos con sistemas de información clínica, de tal forma que los datos escalares puedan ser intercambiados, usados y entendidos de la misma forma entre sistemas de información de salud heterogéneos.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar e implementar un método para la estandarización -basada en los estándares HL7- de datos provenientes de sensores fisiológicos, capaz de lograr la integración, intercambio y uso de lecturas de variables fisiológicas de pacientes monitorizados a distancia entre sistemas heterogéneos.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Estudiar y analizar los fundamentos teórico-técnicos de los estándares de mensajería y documentos HL7 V3.
2. Estudiar y analizar el uso y funcionamiento de los sensores fisiológicos y el estándar 802.15.4.
3. Diseñar y construir una plantilla para el mensaje HL7 V3 para datos provenientes de sensores fisiológicos.
4. Diseñar y construir una plantilla para el documento CDA HL7 V3.
5. Diseñar e implementar un método para la estandarización de los datos provenientes de sensores fisiológicos en un mensaje HL7 V3, el cual pueda ser usado por el mismo método para generar un documento clínico CDA HL7 V3.
6. Diseñar e implementar un sistema de monitorización a distancia de parámetros médicos con soporte a los estándares de mensajería y documentos HL7 V3.
7. Implementar una aplicación para dispositivos móviles para validar la interoperabilidad técnica y semántica con el sistema desarrollado en el punto anterior.

## Capítulo 2

### 2. Telemedicina

La telemedicina se define como la medicina practicada a distancia incluyendo diagnóstico y tratamientos [1], ofreciendo múltiples ventajas tanto a los médicos/especialistas de la salud como a pacientes. Por el lado del paciente este puede tener acceso a servicios médicos especializados, puede evitar desplazamientos innecesarios, obtendrá consultas más rápidas sin perder la calidad de estas. Por el lado del médico/especialista de la salud podrá tener acceso a herramientas que le ayudaran a hacer su trabajo más rápido sin perder la calidad de servicio, estas herramientas le ayudara a tomar mejor decisiones en relación a diagnósticos, tratamientos y seguimientos de pacientes. También permite al médico tener un mayor alcance geográfico de la prestación de sus servicios.

#### 2.1 Historia de la telemedicina

El primer uso de la computación (dentro de la literatura revisada) para la medicina se dio en la década de 1950 en los Estados Unidos por Robert Ledley, al llevar a cabo la investigación en aplicaciones informáticas para proyectos de odontología en la Oficina Nacional de Normas [11].

La Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA, National Aeronautics and Space Administration) ha desempeñado un papel importante en el desarrollo de la telemedicina. Los esfuerzos de la NASA en la telemedicina se iniciaron en la década de 1960 cuando el hombre comenzó a volar en el espacio. Los parámetros fisiológicos se medían a distancia [12], desde la base terrestre a cualquiera de las naves en el espacio.

Eventos como estos fueron antecedentes de la telemedicina, pero fue hasta el año de 1998 que la OMS (organización mundial de la Salud) que denominó a la Telemedicina como: “El suministro de servicios de atención sanitaria en los que la distancia constituye un factor crítico, por profesionales que apelan a tecnologías de la información y de la comunicación con objeto de intercambiar datos para hacer diagnósticos, preconizar tratamientos y prevenir enfermedades y heridas, así como para la formación permanente de

los profesionales de atención de salud y en actividades de investigación y de evaluación, con el fin de mejorar la salud de las personas y de las comunidades en que viven” [2].

Actualmente existen varias subdivisiones que hacen uso específico de algunas tecnologías. A continuación se describe brevemente la subdivisión de la telemedicina en donde cae el presente trabajo de tesis.

## **2.2 Telesalud (Salud electrónica y Salud móvil)**

Al expandir la Telemedicina su ámbito de acción más allá de las consultas médicas, ha incorporado los servicios de entrenamiento y capacitación, la prevención de enfermedades, monitoreo en casa, entre otros, por lo que se ha optado por utilizar el término de telesalud [2]. A partir de la medicina practicada a distancia, surgen dos términos, el primero es salud electrónica (e-health, electronic health) y el segundo es salud móvil (m-health, mobile health).

### **2.2.1 Salud electrónica**

Los sistemas de salud electrónica proporcionan servicios médicos a distancia, lo que le permite a los especialistas de la salud mantener monitorizados a sus pacientes a distancia, no importando si los pacientes se encuentran en sus hogares o lugares de trabajo [9].

En la referencia [13] se presenta MobiHealth el cual es un proyecto Europeo desarrollado para monitorizar los de signos vitales de un paciente basado en redes de área corporal (BAN, Body Area Network) y la tecnología Bluetooth, teniendo como dispositivo central a una PDA (Personal Digital Assistant).

### **2.2.2 Salud móvil**

Los sistemas de salud móvil proporcionan servicios médicos a distancia desde cualquier lugar y en cualquier momento sin la necesidad de permanecer en un lugar específico [9], ya que la salud móvil hace uso de la informática móvil, sensores médicos y tecnologías de la comunicación [14].

En la referencia [15] se describe el sistema Health Monitoring Systems (WHMS) que es un ejemplo de un sistema de monitorización el cual consiste de una red de sensores inalámbricos para monitorear el estado de salud de un paciente a través de una PDA o un teléfono móvil 3G.

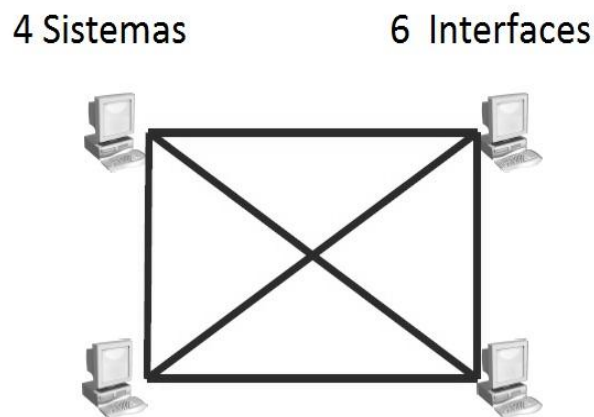
## Capítulo 3

### 3. Estándares HL7 (Health Level Seven)

Una de las principales necesidades que tienen las instituciones de salud es el hecho de poder intercambiar datos médicos entre sistemas de información clínicos [6]. Generalmente estos sistemas fueron desarrollados por diferentes proveedores y en diferentes lenguajes de programación. El principal problema que existe al estar desarrollados en diferentes lenguajes es la falta de interoperabilidad.

#### 3.1 Dificultades de la interoperabilidad

Algunos sistemas heterogéneos necesitan transferir datos entre sí y entender los datos de la misma manera. Para lograr dicho objetivo es necesario desarrollar interfaces adaptadas y personalizadas para cada sistema [6]. Considere cuatro sistemas pertenecientes a cuatro diferentes instituciones de salud, para que exista intercambio de comunicación entre los cuatro sistemas es necesario el desarrollo de 6 interfaces, tal y como se muestra en la Figura 3.1.



**Figura 3.1** Múltiples Interfaces. Imagen tomada y adaptada de [6].

En la Figura 3.2 está representada la fórmula para obtener la cantidad de interfaces necesarias el intercambio de datos clínicos en un determinado número de sistemas. Por ejemplo, si tenemos 100 sistemas necesitaremos 4950 interfaces para intercambiar datos con todos los sistemas.

Donde N es la cantidad de sistemas que necesitan comunicarse.

$$\text{Interfaces} = \frac{N \times (N-1)}{2}$$

Sistemas	Interfaces
6	15
10	45
20	190
50	1225
100	4950

**Figura 3.2** Formula para múltiples interfaces. Imagen tomada y adaptada de [6]

Una de las soluciones al problema de múltiples interfaces es el uso de mensajes electrónicos que funcionen de acuerdo a reglas comunes de estructuras de datos (sintaxis) y codificaciones de contenido (semántica). Una de las alternativas más eficientes es hacer uso de los estándares HL7 cuyas especificaciones contemplan la integración de la información para una gran cantidad de casos clínicos y administrativos [6]. Los estándares HL7 actualmente están siendo desarrollados y adoptados internacionalmente, la mayor limitante es que cada país tiene sus propios problemas sanitarios y se rigen por sus propias leyes. Por lo tanto el estándar es de forma general, de tal forma que puede ser adecuado a los requerimientos propios de cada país o región.

### 3.2 ¿Por qué elegir los estándares HL7?

Porque están ampliamente probados y han sido implementado en varias partes del mundo [16], también porque el desarrollo de estos estándares es realizado por una comunidad internacional de expertos en informática y salud, que aportan sus conocimientos para el mejoramiento de la eficiencia en la prestación de servicios asistenciales. Los estándares HL7 facilitan los procesos de intercambio electrónico de información y reducen los costos de desarrollo de interfaces, haciendo posible uso de la historia clínica electrónica compartida, entre muchos otros beneficios [6].

### 3.3 Elementos para el diseño de los artefactos de los estándares HL7

Para lograr la interoperabilidad, los estándares HL7 se basan en dos artefactos, estos son: mensajes y documentos. Para el diseño de estos es necesario basarse en los siguientes

elementos tales como: el Modelo de información de referencia (RIM, Reference Information Model), Modelo de Información de Mensajes del Dominio (D-MIM, Domain Message Information Model), Modelo Refinado de Información de Mensajes (R-MIM, Refined Message Information Model), Descripciones jerárquicas de los mensajes (HMD, Hierarchical Message Description), Tipos de Elementos de Mensajes Comunes (CMETs, Common Message Element Types), Vocabularios, Identificador de objeto (OID, Object Identifier), Interacciones, Evento disparador y Estados [17], los cuales serán explicados a continuación. En esta sección se abordan los estándares HL7 V3 que al momento de estar realizando este trabajo son las especificaciones más recientes.

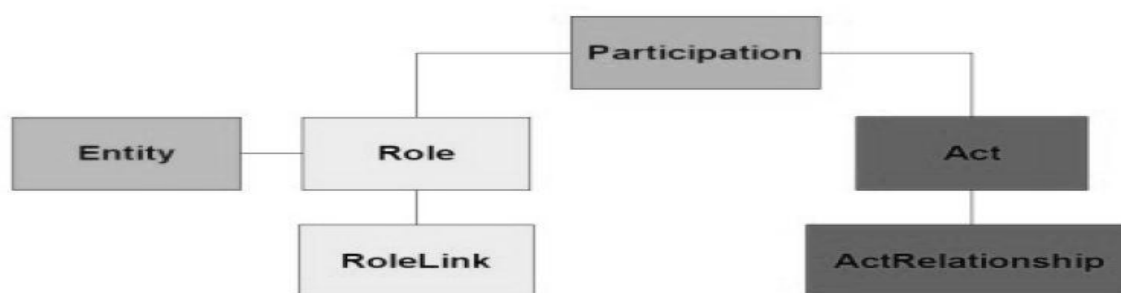
### **3.3.1 Modelo de información de referencia**

El Modelo de información de referencia es un modelo estático y de información del cuidado de la salud. Incluye clases (véase Figura 2.3), diagramas de máquinas de estado y está acompañado por los modelos de casos de uso, los modelos de interacción, los modelos de tipo de datos, los modelos de la terminología, y otros tipos de modelos para proporcionar una visión completa de los requisitos y el diseño de los estándares HL7. Las clases, atributos, máquinas de estado, y las relaciones en el RIM se utilizan para derivar los modelos de información de dominio específico que se transforman a través de una serie de restrictivos procesos de refinamiento para obtener finalmente un modelo estático de la información contenida en un estándar HL7 [18].



Para la creación de un mensaje se necesita contar con una especificación estructurada denominada plantilla (template), construida a partir del RIM [20]. En esta plantilla se expresa el contenido de datos necesarios en un determinado contexto clínico o administrativo. Los estándares HL7 V3 se basan en 6 clases fundamentales del RIM: Entidad, Rol, Participación, Actuación o Acto, Relación entre Roles, y Relación entre Actuaciones.

### 3.3.1.1 Las clases fundacionales del RIM



**Figura 3.4** Clases funcionales del RIM [21]

### 3.3.1.2 Descripción de las clases

- Entidad (Entity): Es un objeto físico que ha tenido o tendrá existencia, es capaz de participar en un acto mientras desempeñe un rol [22].

- Rol (Role): Es una entidad que desempeña un acto, es decir un actor [22]. Desprendiéndose de esta clase el RoleLink, el cual representa las relaciones entre las funciones individuales [23].

- Participación (Participation): Es una asociación entre un acto y un rol. Cada entidad involucrada en un acto está relacionada con éste a través de una participación [22].

- Acto (Act): Es un registro de un hecho, evento o proceso del mundo real. Se relaciona también con el concepto de acto médico (aunque sin limitarse al contexto clínico) [22].

### 3.3.2 Modelo de Información de Mensajes del Dominio

El D-MIM es un subconjunto refinado del RIM, que incluye un conjunto de clones de clases, atributos y relaciones [24]. El objetivo del refinamiento del RIM radica en

obtener, en este caso, un modelo más específico para diferentes áreas de interés de salud, denominadas dominios. Dentro de estos dominios se agrupa los casos de uso de interoperabilidad [21].

### **3.3.3 Modelo Refinado de Información de Mensajes**

El R-MIM es un subconjunto a su vez del D-MIM que se utiliza para expresar el contenido de la información de un mensaje o un conjunto de mensajes con anotaciones y refinamientos que mensaje específico. El contenido de un R-MIM se extrae de la D-MIM para el dominio específico en el que el R-MIM se utiliza [24].

### **3.3.4 Descripciones jerárquicas de los mensajes**

Las HMD son la principal estructura normativa de los mensajes HL7 V3 [23]. Es de gran utilidad este tipo de representación tabular de las clases, atributos y asociaciones que se encuentran en el R-MIM [24].

### **3.3.5 Tipos de elementos de mensajes comunes**

Los CMET son fragmentos de mensajes o estructuras de elementos de datos reutilizables, que se emplean en diversos tipos de mensajes [21].

### **3.3.6 Identificador de objeto**

Un OID se define como “Un valor único global asociado con un objeto que lo identifica sin ambigüedades” [25].

### **3.3.7 Interacciones**

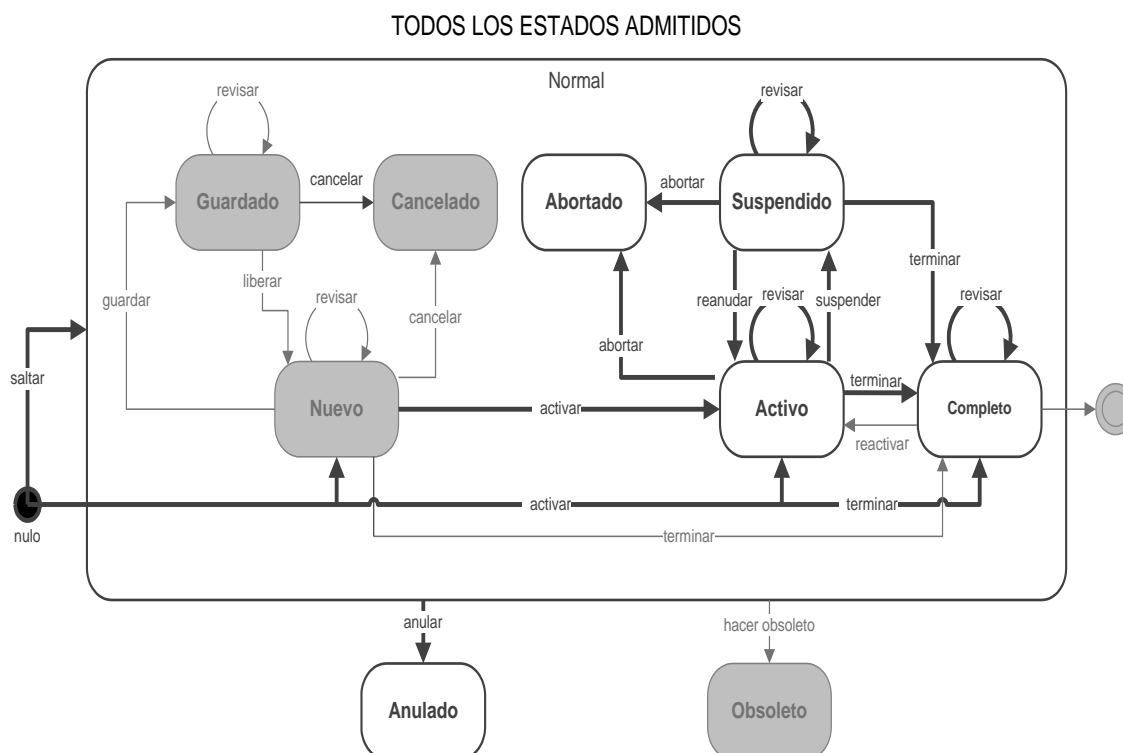
Las interacciones son flujos de información en un sentido que soporta un requerimiento de información expresado en un escenario. Dentro de las interacciones se definen el evento de disparo, la capa de transmisión y de control de actos, así como el tipo de mensajes y los roles de aplicación [21].

### 3.3.8 Evento disparador

Se da un evento disparador cuando se cumple con un resultado, cuando un evento se registra en una aplicación indica la necesidad de un flujo de información entre una o más aplicaciones [21].

### 3.3.9 Estados

Los estados nos indican la condición de un mensaje o de un acto HL7 [21].



**Figura 3.5** Estados soportados por HL7. Imagen tomada y adaptada de [21]

## 3.4 Estándar HL7 versión 3

El estándar HL7 V3 maneja una nueva forma de abordar la interoperabilidad clínica basado en el RIM HL7 [26]. HL7 V3 adopta un enfoque orientado a objetos (OO) y utiliza el lenguaje de modelado unificado (UML) y utiliza la sintaxis XML para los mensajes, este nuevo enfoque conduce a mayor detalle, claridad y precisión de las especificaciones así como en el uso y diseño de los mensajes [19].

### **3.4.1 Dominios universales**

HL7 V3 cuenta con un gran número de mensajes definidos para diversos dominios, tales como: Inmunización, Farmacia, Órdenes, Laboratorio, entre otros [19]. En este trabajo de tesis, debido a la naturaleza del trabajo solo se aborda el dominio del laboratorio.

#### **3.4.1.1 Laboratorio**

El dominio de laboratorio consta de los modelos, mensajes y otros artefactos que se necesitan para el soporte de mensajería relacionada con las pruebas de laboratorio y observaciones (resultados). Las especificaciones del dominio de laboratorio se utilizan principalmente para resultados de laboratorio clínico tales como química, hematología, serología, histología, citología, anatomía patológica, microbiología y virología, sin embargo las observaciones o resultados conocidos más comúnmente; pueden ser simples mediciones numéricas cuantitativas, tales como el nivel de glucosa en sangre [19].

### **3.4.2 Arquitectura de documentos clínicos (CDA, Clinical Document Architecture)**

El estándar CDA HL7 establece la composición de cualquier documento clínico, como lo es un informe de alta hospitalaria, un informe de resultados de análisis o de una imagen diagnóstica, un resumen de una situación clínica, entre otros [26]. Un documento CDA se compone de una cabecera (header) y de un cuerpo (body). En la cabecera va toda la información descriptiva del documento así como elementos obligatorios como son autor (author), el objeto del documento clínico (recordTarget) entre otros. El cuerpo del documento puede ser de un estructurado (structuredBody) o no estructurado (nonXMLBody), en esta parte va la información del acto clínico.

### **3.4.3 Mensajería HL7 versión 3**

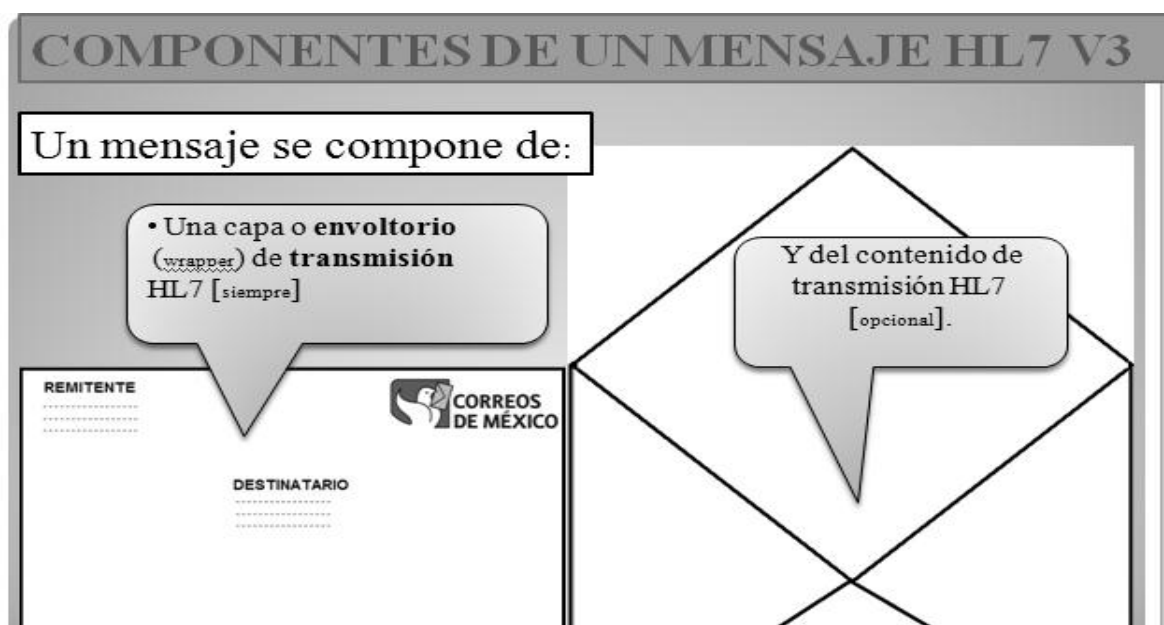
La mensajería HL7 V3 representa una nueva forma de abordar la interoperabilidad clínica con el apoyo de modelos de referencia los cuales son el resultado del refinamiento de un modelo de información de referencia general [26], el cual es un modelo estático y de información del cuidado de la salud. Incluye clases y diagramas de máquinas de estado y está acompañado por los modelos de casos de uso, los modelos de interacción, los modelos de tipo de datos, los modelos de la terminología, y otros tipos de modelos para proporcionar

una visión completa de los requisitos y el diseño de los estándares HL7 [18] a partir de un escenario concreto (Evento, Aplicación Emisora y Receptora, entre otros.) se construye un artefacto de interoperabilidad, es decir un mensaje que utiliza la sintaxis XML [26].

Un ejemplo representativo del uso de la mensajería HL7 V3 que utiliza la sintaxis XML sería el siguiente; teniendo como escenario de interoperabilidad de un laboratorio clínico, donde existe un evento el cual es la solicitud de pruebas diagnósticas de laboratorio por parte de un médico. El documento donde hace su petición es conocido como orden de laboratorio, contando para esto con una especificación de estructura denominada plantilla la cual utilizara un mensaje de órdenes para la realización de esta orden [22].

### 3.4.3.1 Componentes de un mensaje HL7 V3

Un mensaje se compone siempre de una capa o envoltorio de transmisión HL7 y del contenido de transmisión HL7 [17].



**Figura 3.6** Componentes de un mensaje HL7 V3

#### 3.4.3.1 Capa o envoltorio de transmisión HL7

Dentro de esta capa o llamado envoltorio de transmisión HL7 se encuentra la información necesaria para el envío de una solicitud o un servicio de gestión de mensaje, dentro de los datos más importantes resaltan los del receptor y del emisor del mensaje. Esta información más otra adicional es necesaria para empaquetar y enviar los mensajes HL7 V3

para el uso de recepción designado y/o servicio de gestión de mensajes.

#### **3.4.3.1.1 El contenido de transmisión HL7**

El contenido de transmisión HL7 consta de 2 partes:

- Acto de control del evento disparador (TriggerEvent Control Act).

Dentro del acto de control está contenida la información administrativa relacionada con el acto controlado que se está comunicando como una interacción de mensajería [19].

- Contenido HL7 según el dominio (HL7 Domain Content) [21].

Es el contenido principal de dominio de la interacción de mensajería [19] que satisface un caso de uso dentro de la mensajería HL7 [21].

## Capítulo 4

### 4. Redes inalámbricas de sensores y estándar 802.15.4

Las redes de sensores son organizaciones de aparatos autónomos capaces de comunicarse inalámbricamente (WSN, Wireless Sensor Network) [27]. Se han propuesto en varios escenarios de aplicación tales como la vigilancia al medio ambiente, los sistemas inteligentes de transporte y militares, la supervisión de plantas industriales y en la salud electrónica [28]. La telemedicina está aprovechando estas redes de sensores inalámbricas en diferentes áreas de salud de tal forma que se está convirtiendo en uno de los campos más prometedores [3].

#### 4.1 Sensores fisiológicos inalámbricos

Cuando se arma una red inalámbrica de sensores se hace con el objetivo de que estos dispositivos realicen la recolección de variables fisiológicas tales como frecuencia cardíaca, presión arterial, nivel de glucosa, entre otras, lo que permite la monitorización de pacientes [4]. Entre las más comunes se encuentran la WBAN y WPAN.

##### 4.1.1 WBAN

Las WBA (Wireless Body Area Network) son redes de comunicación inalámbricas entre dispositivos pequeños y de bajo consumo de energía los cuales son incorporados al paciente como podemos ver en la Figura 4.1 [4] lo que le permite tener movimiento libre.



**Figura 4.1** Red Inalámbrica de Sensores, WBAN

#### **4.1.2 Red inalámbrica de área personal de baja potencia (LR-WPAN, Low-Rate Wireless Personal Area Network)**

Es una red de comunicaciones simple, de bajo costo, que permite conectividad inalámbrica en aplicaciones que requieran mínimo consumo de potencia y sin demasiadas restricciones, los principales objetivos de una LR-WPAN son la facilidad de instalación, transferencia de datos confiable, operación de corto alcance, costo extremadamente bajo, vida razonable de la batería, manteniendo al mismo tiempo un protocolo simple y flexible [29]. Un buen ejemplo de un dispositivo LR WPAN es el módulo de Panasonic denominado PAN802154HARx0, el cual es un dispositivo de bajo consumo de energía que trabaja en la banda de frecuencia de los 2.4 GHz y con el estándar 802.15.4.

#### **4.2 Estándar 802.15.4**

El estándar IEEE 802.15.4 define el protocolo y la interconexión de dispositivos vía radio en una red de área personal (PAN) [29]. Dentro de este estándar se describen dos tipos de dispositivos: 1) un dispositivo de función completa (FFD, full function device), el cual puede operar como coordinador de la red y 2) un dispositivo de función reducida (RFD, reduced function device), el cual está dirigido a aplicaciones sencillas ya que cuenta con recursos y memoria limitados. El estándar 802.15.4 soporta 2 tipos de topologías, la de estrella (Star) y la de punto a punto (Peer to Peer) [29].

## Capítulo 5

### 5. Método basado en los estándares HL7 para la estandarización de datos provenientes de sensores fisiológicos

Cuando se trabaja con redes de sensores inalámbricos surgen detalles a resolver debido a que estos se caracterizan por su alta heterogeneidad y también por utilizar diferentes métodos para la representación de las mismas medidas [5], de esta forma resulta difícil manejar las lecturas de los sensores para ser entendidas por el ser humano. Esto dificulta compartir y usar dichas lecturas de forma óptima, razón por la cual se desarrolló un método para construir un software denominado Middleware HL7 el cual convierte los datos provenientes de los sensores a unidades de medida entendibles por el ser humano, esta herramienta servirá también como intermediario para lograr la convergencia entre las redes inalámbricas de sensores y los sistemas de información clínicos al poder compartir las lecturas de las variables de los sensores por medio de un mensajes HL7 V3 logrando así la interoperabilidad semántica.

La implementación del método propuesto en algún lenguaje de programación produce un componente software denominado, de ahora en adelante, Middleware HL7. En esta sección se describe el diseño e implementación del Middleware HL7 anteriormente mencionado.

#### 5.1 Diseño del método para la construcción de Middleware HL7

Un Middleware HL7 empieza a funcionar desde el momento que le llegan los datos escalares de las lecturas de los sensores fisiológicos contenidos en un documento XML, para posteriormente ser convertidos a las respectivas unidades de medida. Por ejemplo el sensor de temperatura maneja como unidad de medida los grados centígrados. Una vez hecho esto y siguiendo la estructura del estándar de mensajería HL7 V3, cada dato convertido proveniente de algún sensor fisiológico, se incrusta en una plantilla de mensaje HL7 V3 para ser almacenado.

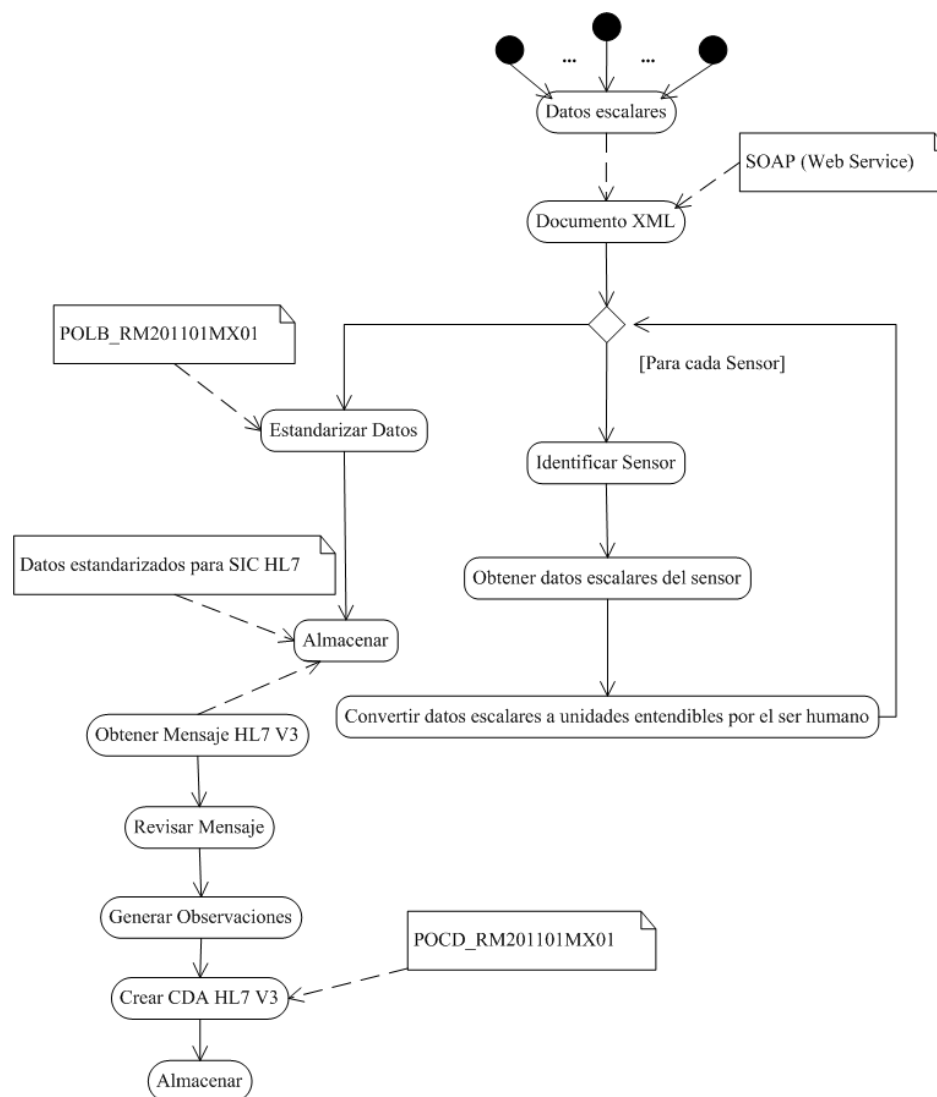
El componente software denominado Middleware HL7 tiene su fundamento en el método propuesto, el cual se describe mediante los siguientes algoritmos:

### Algoritmo para crear un mensaje HL7 V3

1. Inicio
2. Para cada sensor
  - a. Obtener los datos escalares provenientes del sensor contenidos en el documento XML
    - i. Identificar sensor fisiológico.
    - ii. Obtener los datos escalares del sensor
    - iii. Convertir los datos escalares del sensor a sus respectivas unidades
      1. Si el sensor es de temperatura, entonces los datos leídos se representan en grados centígrados.
      2. Si el sensor es de nivel de glucosa, entonces los datos se representan en miligramos/decilitros.
      3. Si el sensor es de presión arterial, entonces los datos se representan en milímetros de mercurio.
3. Rellenar la sección de identificación del paciente en la plantilla POBL\_RM201101MX01.
4. Rellenar las secciones datos de dispositivos en la plantilla POBL\_RM201101MX01 con los datos de los sensores identificados.
5. Insertar datos convertidos en la plantilla POBL\_RM201101MX01 asociado a cada dispositivo del punto anterior.
6. Almacenar el mensaje producto del relleno de la plantilla POBL\_RM201101MX01 con los pasos 3-5.
7. Fin del algoritmo

### Algoritmo para crear un CDA HL7 V3

1. Inicio
2. Obtener observaciones y datos del mensaje HL7 V3
3. Rellenar la sección de identificación del paciente en la plantilla POCD\_RM201101MX01.
4. Rellenar la sección de identificación del médico en la plantilla POCD\_RM201101MX01.
5. Rellenar las secciones datos de dispositivos en la plantilla POCD\_RM201101MX01 con los datos de los sensores identificados.
6. Rellenar las secciones las lecturas obtenidas de los sensores en la plantilla POCD\_RM201101MX01 con los datos de los sensores.
7. Rellenar las secciones de las observaciones realizadas por el médico en la plantilla POCD\_RM201101MX01.
8. Almacenar el CDA producto del relleno de la plantilla POCD\_RM201101MX01 con los pasos 3-6.
9. Fin del algoritmo



**Figura 5.1** Esquema general del Método para convertir datos escalares.

En la Figura 5.1 se resume el método propuesto para la creación de mensajes HL7 V3 y CDA's HL7 V3. Como se puede observar, es fácil de integrarle sensores de cualquier tipo y ser implementado en cualquier lenguaje de programación. Con la plantilla POBL\_RM201101MX01 refinada del modelo RIM, los datos leídos ya cumplen con el estándar HL7, por lo que los datos ya pueden ser usados y compartidos por sistemas heterogéneos que soporten HL7. Cada mensaje tiene que ser revisado y comentado por un médico para poder generar su documento CDA correspondiente mediante la plantilla POCD\_RM201101MX01.

## **5.2 Plantillas derivadas del estándar HL7 V3**

Para la creación del algún artefacto HL7, ya sea un mensaje o documento es necesario contar con una especificación estructurada denominada plantilla, construida a partir del RIM [20], donde a partir de un documento electrónico (template) que representa un patrón modelo para expresar el contenido de datos necesarios en un determinado contexto clínico o administrativo.

A continuación se presentan dos plantillas, una de mensajería (Mensajes HL7 V3) y otra de documentos (CDA HL7 V3), de las cuales hace uso el Middleware HL7 para lograr la interoperabilidad. Para la creación de estas plantillas se optó por utilizar la edición normativa de HL7 correspondiente al Ballot V3, ya que esta normativa adopta un nuevo enfoque que conduce a mayor detalle, claridad y precisión en las especificaciones del uso y diseño de los mensajes, tal y como se describe en [19].

Para ambas plantillas fue necesario utilizar código de pruebas de laboratorio de LOINC (Logical Observation Identifier Names and Codes, Nombres Y Códigos Identificadores De Observación Lógica): 2.16.840.1.113883.6.1 para valores de procedimientos de laboratorio clínico según la codificación internacional LOINC, así como para la interpretación de resultados de exámenes de laboratorio se utilizó la especificación Observation Interpretation [2.16.840.1.113883.5.83].

### **5.2.1 Plantilla de mensaje HL7 V3 para datos provenientes de sensores fisiológicos**

Estamos interesados en monitorizar la temperatura corporal de un paciente a distancia, razón por la cual se hizo un análisis minucioso de varios dominios del amplio rango que maneja el Ballot V3 y se eligió el dominio de Laboratorio. La razón es que aunque las especificaciones del dominio de laboratorio se utilizan principalmente para resultados de laboratorios clínicos, los cuales como se establece en la referencia [19] no se limitan únicamente a este ámbito, ya que al soportar mediciones numéricas cuantitativas, tales como el nivel de glucosa en sangre, también puede soportar los resultados de variables fisiológicas como la temperatura corporal, variable objeto de este sistema.

Como el dominio de laboratorio hace uso de mensajería relacionada con las observaciones, llamadas también resultados [19] se optó por utilizar la mensajería de HL7 V3 para lograr la interoperabilidad semántica entre sistemas heterogéneos. Para poder

generar un mensaje fue necesaria la creación de una plantilla denominada POLB\_RM201101MX01 en la cual se encuentran contenidos los datos necesarios para poder lograr dicha interoperabilidad.

### 5.2.1.1 PlantillaPOLB\_RM201101MX01

En la Tabla 5.1 se define el nombre de la Plantilla POLB\_RM201101MX01, la cual describe que es una plantilla que maneja datos clínicos con el dominio de Laboratorio, siendo esta un artefacto de refinamiento del RIM. Como la creación de esta plantilla fue en el año 2011, se especifica que su creación fue en ese año. Al ser la primer plantilla de Mensajería HL7 V3 que se ha desarrollado para ser utilizada por el Middleware HL7 se define como el primer número consecutivo, al ser desarrollada en territorio Mexicano también se especifica esto por medio de las siglas MX e identificando a esta primer plantilla como la primer versión de mensaje HL7 V3.

Los datos con los que se va a llenar la plantilla son principalmente la lectura del sensor, el identificador del paciente, la fecha y toma de la muestra entre otros datos. En la Tabla 5.1 se muestra una imagen completa de la plantilla desarrollada.

**Tabla 5.1.** Definición del nombre de la plantilla POLB\_RM201101MX01

<b>PO</b>	Dominios de salud y manejo clínico, Sub sección de Operaciones.
<b>LB</b>	Dominio de <b>Laboratorio</b>
<b>_RM</b>	Artefacto Modelo Refinado (R-MIM)
<b>2011</b>	Año de la creación de la plantilla (Template)
<b>01</b>	Consecutivo de la plantilla
<b>MX</b>	Región O País De Uso
<b>01</b>	Versión

```

<component1 typeCode="COMP" contextControlCode="AP" contextConductionInd="true">
  <observationBattery classCode="BATTERY" moodCode="EVN">
    <code code="35095-9" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.1" codeSystemName="LOINC" displayName="Panel de temperatura corporal" />
    <statusCode code="completed" />
    <author typeCode="AUT" contextControlCode="OP">
      <time value="20111028142725" />
      <assignedEntity classCode="ASSIGNED">
        <assignedDevice classCode="DEV" determinerCode="INSTANCE">
          <id root="UNK" extension="SENSOR001" />
          <hl7:manufacturerModelName>Mote01_Sensor001_Temp</hl7:manufacturerModelName>
        </assignedDevice>
      </assignedEntity>
    </author>
    <component1 typeCode="COMP" contextControlCode="AP" contextConductionInd="true">
      <sequenceNumber value="1" />
      <observationEvent classCode="OBS" moodCode="EVN">
        <code code="11289-6" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.1" codeSystemName="LOINC" displayName="Temperatura corporal" />
        <statusCode code="completed" />
        <effectiveTime value="20111028142725" />
        <value xsi:type="hl7:PQ" value="19.91" unit="C" />
        <interpretationCode code="LL" codeSystem="2.16.840.1.113883.5.83" codeSystemName="ObservationInterpretation" displayName="Alerta-Bajo" />
      </observationEvent>
    </component1>
  </observationBattery>
</component1>

```

**Figura 5.2** Plantilla del Mensaje HL7 V3 para datos provenientes de múltiples sensores.

## 5.2.2 Plantilla de documento CDA HL7 V3 para mensaje HL7 V3 datos de lecturas de sensores y observaciones medicas

Los mensajes HL7 V3 que genera el Middleware HL7 cumplen su función al permitir mover los datos de las lecturas de las variables fisiológicas de un paciente de un sistema A hacia un Sistema B, es decir, habilitan la interoperabilidad técnica y semántica, sin embargo es necesario depositar esa información en un documento clínico, como se especifica en la referencia [26]. Quedando en dicho documento los resultados de las variables fisiológicas de cierto paciente, así como su información personal que es de relevancia para fines de atención médica. Para poder generar un documento clínico se creó la plantilla denominada POCD\_RM201101MX01 de documentos clínicos CDA HL7 V3.

### 5.2.2.1 Plantilla POCD\_RM201101MX01

En la Tabla 5.2 se define el nombre de la Plantilla POCD\_RM201101MX01, la cual describe que es una plantilla que hace uso de información clínica y que hace uso del dominio de documentos clínicos, siendo esto un artefacto resultado del refinamiento del RIM, el año de creación de la plantilla es 2011, siendo esta la primer versión y el primer consecutivo de plantillas. La Figura 5.2 muestra la imagen de esta plantilla.

**Tabla 5.2.** Definición del nombre de la plantilla POCD\_RM201101MX01

<b>PO</b>	Dominios de salud y manejo clínico, Sub sección de Operaciones.
<b>LB</b>	Dominio de <b>Arquitectura de Documento Clínico</b> .
<b>_RM</b>	Artefacto Modelo Refinado (R-MIM)
<b>2011</b>	Año de la creación de la plantilla (Template)
<b>01</b>	Consecutivo de la plantilla
<b>MX</b>	Región O País De Uso
<b>01</b>	Versión

```

<observation classCode="OBS" moodCode="EVN">
  <code code="11289-6" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.1" codeSystemName="LOINC" displayName="Temperatura Corporal" />
  <text mediaType="text/plain">
    <reference value="#Temperatura001" />
  </text>
  <statusCode code="20111028142828" />
  <effectiveTime value="completed" />
  <effectiveTime value="20111028142725" />
  <value xsi:type="PQ" value="19.91" unit="C" />
  <interpretationCode code="LL" codeSystem="2.16.840.1.113883.5.83" codeSystemName="ObservationInterpretation" displayName="Alerta-Bajo" />
</observation>
</entry>
</section>
</component>
<component typeCode="COMP" contextConductionInd="true">
  <section classCode="DOCSECT" moodCode="EVN">
    <code code="57027-5" codeSystem="2.16.840.1.113883.6.1" codeSystemName="LOINC" displayName="Observaciones de medicion" />
    <title>OBSERVACIONES</title>
    <text mediaType="text/x-hl7-text+xml">
      <paragraph>La temperatura se encuentra descendiendo...</paragraph>
      <paragraph></paragraph>
    </text>
  </section>
</component>

```

**Figura 5.3** Plantilla del POCD\_RM201101MX01 para datos provenientes de un mensaje HL7 V3

### 5.3 Middleware HL7

El Ballot HL7 V3 incluye documentación acerca de tres especificaciones de transporte de datos, las cuales son: ebXML (HTTP, SMTP y TCP/IP), SOAP - Web Services y MLLP (Minimum Lower Layer Protocol) [30].

Se optó por utilizar los servicios web (Web Services) para transportar mensajes y documentos HL7 V3 que siguen la sintaxis XML, ya que éstos son una forma de software que utiliza un conjunto de protocolos para lograr la interoperabilidad técnica. Los servicios web se están convirtiendo en un protocolo y una tecnología de elección para lograr la interoperabilidad entre aplicaciones [31] desarrolladas en diferentes plataformas.

El Middleware HL7 fue implementado en el lenguaje de programación C#, ya que este lenguaje proporciona librerías y utilidades para el manejo de documentos XML y el uso de servicios web.

Por lo tanto el Middleware HL7 fue diseñado para recibir los datos escalares de sensores fisiológico; las lecturas de cada sensor se almacenan en un documento XML, el Middleware HL7 procede a convertir dichos datos a sus respectivas unidades de medidas (véase la Figura 6.1), una vez hecho esto y junto con el identificador del paciente, así como del sensor que tomo la lectura de la variable fisiológica entre otra información serán incrustados en un mensaje siguiendo la estructura de mensajería de HL7 V3 con la plantilla POLB\_RM201101MX01 descrito anteriormente, una vez creado el mensaje se almacena para ser usada posteriormente. Dicho mensaje es usado para crear un documento clínico electrónico del paciente siguiendo la estructura del estándar CDA HL7 V3.

## Capítulo 6

### 6. Sistema de monitorización a distancia de variables fisiológicas

El sistema de monitorización a distancia de parámetros médicos consiste de una arquitectura cliente-servidor. La aplicación cliente toma la lectura de forma independiente de cada sensor, que previamente fueron colocados a un paciente; para integrar los datos de identificación del sensor, identificación del paciente, la lectura obtenida (datos escalares), entre otros datos en un documento XML. Este documento es enviado a la aplicación servidora.

La aplicación servidora recibe el documento XML y por medio del Middleware HL7 (presentado en la sección 5), los datos contenidos en el documento XML son extraídos y procesados para ser insertados en una plantilla de mensaje HL7 V3 para ser almacenado en un repositorio hasta ser requerido por un médico, el cual hará una o varias observaciones médicas en base a la lectura del sensor fisiológico contenido en el mensaje.

El médico revisa los datos contenidos en el mensaje para generar una o varias observaciones en caso de ser necesario y aprueba el mensaje HL7 V3. Posteriormente, en base a los datos del mensaje y las observaciones hecha por el médico se genera un documento CDA HL7 V3, el cual se convertirá en una hoja más del expediente clínico electrónico de un paciente.

En esta sección se presenta el diseño e implementación del sistema de monitorización a distancia de parámetros médicos, una herramienta innovadora y de gran alcance social.

#### 6.1 Escenario de caso de uso: monitorización de temperatura corporal de un paciente post-cirugía

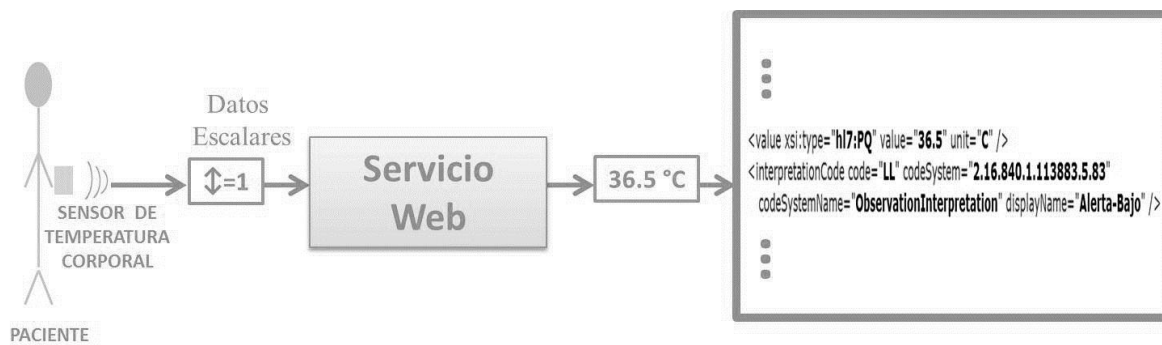
Son muchos los casos médicos que requieren el uso de sensores fisiológicos para la monitorización a distancia de variables fisiológicas, tales como: monitorización de insuficiencia cardiaca a adultos mayores, a pacientes con enfermedades crónico degenerativas, a pacientes con cuidados paliativos o pacientes que han sido sometidos a cirugías, entre otros [32]. Los anteriores escenarios se basan en determinados sensores para

adquirir las lecturas de las variables fisiológicas del paciente tales como presión arterial, pulso, peso, temperatura corporal, entre otras para posteriormente ser evaluados por un profesional de la salud [32].

En este trabajo de tesis se toma como caso de estudio la monitorización a distancia de un paciente después de una cirugía. La variable fisiológica a monitorizar es la temperatura corporal de un paciente que acaba de salir de cirugía cardiovascular, ya que la elevación de esta variable “podría” denotar que se ha desarrollado una infección en el paciente [33] y como el mejor tratamiento de las infecciones es su prevención, se ha planteado monitorizar dicha variable fisiológica mediante un sistema informático que haga uso de sensores fisiológicos, de tal forma que requiera de poca intervención humana de apoyo y se mantenga o mejore la calidad del servicio prestado.

Esta monitorización se hará a distancia mediante el uso de las TIC's, es decir, el médico desde su lugar de trabajo o algún lugar remoto podrá monitorizar dicha variable fisiológica del paciente. Dependiendo de la(s) observación(es) que haga el médico se hará la toma de las medidas necesarias a favor del bienestar del paciente, ya sea acudir a revisión en persona o enviar a otros especialistas en salud para una revisión detallada y medicación en caso necesario.

El sensor de temperatura se le colocará al paciente, dicho sensor enviará de forma inalámbrica la lectura cruda obtenida, a la aplicación cliente instalado sobre un ordenador, quien a su vez lo enviará a la aplicación servidora mediante el consumo de un servicio web, para que la lectura del sensor junto con datos relevantes se incrusten dentro de un mensaje HL7 V3, tal y como se puede observar en la Figura 6.1. La ventaja de un servicio web es el logro del intercambio de información entre aplicaciones desarrolladas en diferentes lenguajes de programación o en diferentes sistemas operativos.



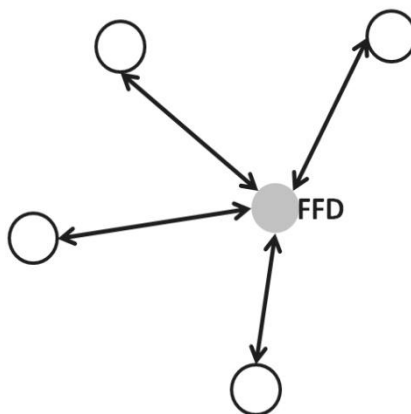
**Figura 6.1.** Lectura del sensor convertida a un Mensaje HL7 V3.

## 6.2 Análisis de requerimientos de Hardware para el sistema de monitorización

Para el desarrollo de este sistema se requirió del siguiente equipo:

- Dos computadoras para la aplicación cliente.
- Una computadora para la aplicación servidor.
- Un nodo FFD Panasonic.
- Tres nodo(s) RFD Panasonic.
- Tres sensores de Temperatura.

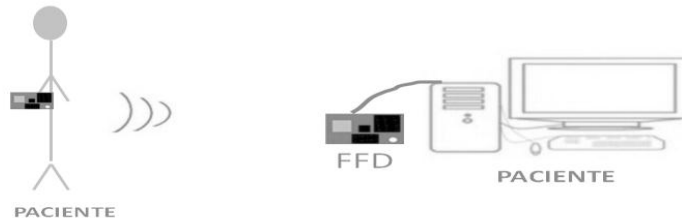
Donde tanto el nodo FFD y el RFD fueron dos módulos inalámbricos de red de área personal de baja potencia PAN802154HARx0. Montado sobre cada nodo RFD se encuentra un sensor de temperatura SHT7x (Sensirion). El estándar que se utilizó para armar la red inalámbrica de red de área personal (WPAN) fue el estándar 804.15.4. Los sensores se organizaron siguiendo una topología estrella dentro de un rango menor a diez metros y con una tasa de transmisión de 250 kbps (véase Figura 6.2).



**Figura 6.2.** Topología Estrella usada.

Una vez armada la WPAN, el nodo RFD que contiene el sensor de temperatura envía la lectura al nodo FFD Coordinador como se puede observar en la Figura 6.3, este nodo Coordinador se encuentra conectado a través de un cable serial (RS-232C) a una computadora de lado del paciente, el cual tiene instalado la aplicación cliente. La aplicación

cliente se encarga de empaquetar en un documento electrónico XML los datos leídos y enviar dicho documento al Middleware HL7 que forma parte de la aplicación servidor.



**Figura 6.3.** Enviando Lecturas al nodo Coordinador (FFD).

### **6.3 Diseño del sistema de monitorización a distancia de variables fisiológicas**

El sistema que se presenta en este trabajo se diseñó siguiendo el paradigma orientado a objetos para que el sistema sea escalable, fácil de replicar, así como de reutilizar, para lo cual se utilizó el lenguaje unificado de modelado (UML, Unified Modeling Language).

UML es un lenguaje para especificar, visualizar, construir y documentar los artefactos de los sistemas de software [34], este lenguaje nos sirve para solucionar “el problema” a resolver en base al análisis y el diseño para saber qué se va a programar [34].

#### **6.3.1 Modelado UML**

De UML se construyeron los diagramas que a continuación se describen, los cuales se consideran los más representativo del sistema propuesto.

##### **6.3.1.1 Diagrama de caso de uso**

Un caso de uso es una colección de escenarios con éxito y fallo relacionados, que describe a los actores utilizando un sistema para satisfacer un objetivo. Un actor es cualquier cosa con comportamiento propio, incluyendo el propio sistema que se está estudiando cuando se solicita los servicios de otros sistemas [34].

A continuación se describe brevemente los actores y casos de uso del sistema de monitorización de variables fisiológicas:

- **PACIENTE:** Es la persona a la que se le tomara lectura de las variables fisiológicas. Esta persona es un enfermo o únicamente quien va a ser reconocido por un médico.
- **SENSOR FISIOLÓGICO:** Dispositivo electrónico que permite obtener las lecturas de las variables fisiológicas, como temperatura, presión arterial, entre otros.
- **MIDDLEWARE HL7:** Es la aplicación que va a recibir y convertir las lecturas de los sensores en las unidades que les corresponda e incrustara esta información en un mensaje HL7 V3.
- **BASE DE DATOS:** Es la localidad en donde se almacenaran mensajes, documentos, entre otros.
- **MÉDICO:** Es el especialista en la salud que en base a los resultados de las lecturas de las variables fisiológicas hará sus observaciones médicas.
- **ADMINISTRADOR DEL SISTEMA:** Es la persona que se encarga de mantener en funcionamiento el sistema y administrar los usuarios.

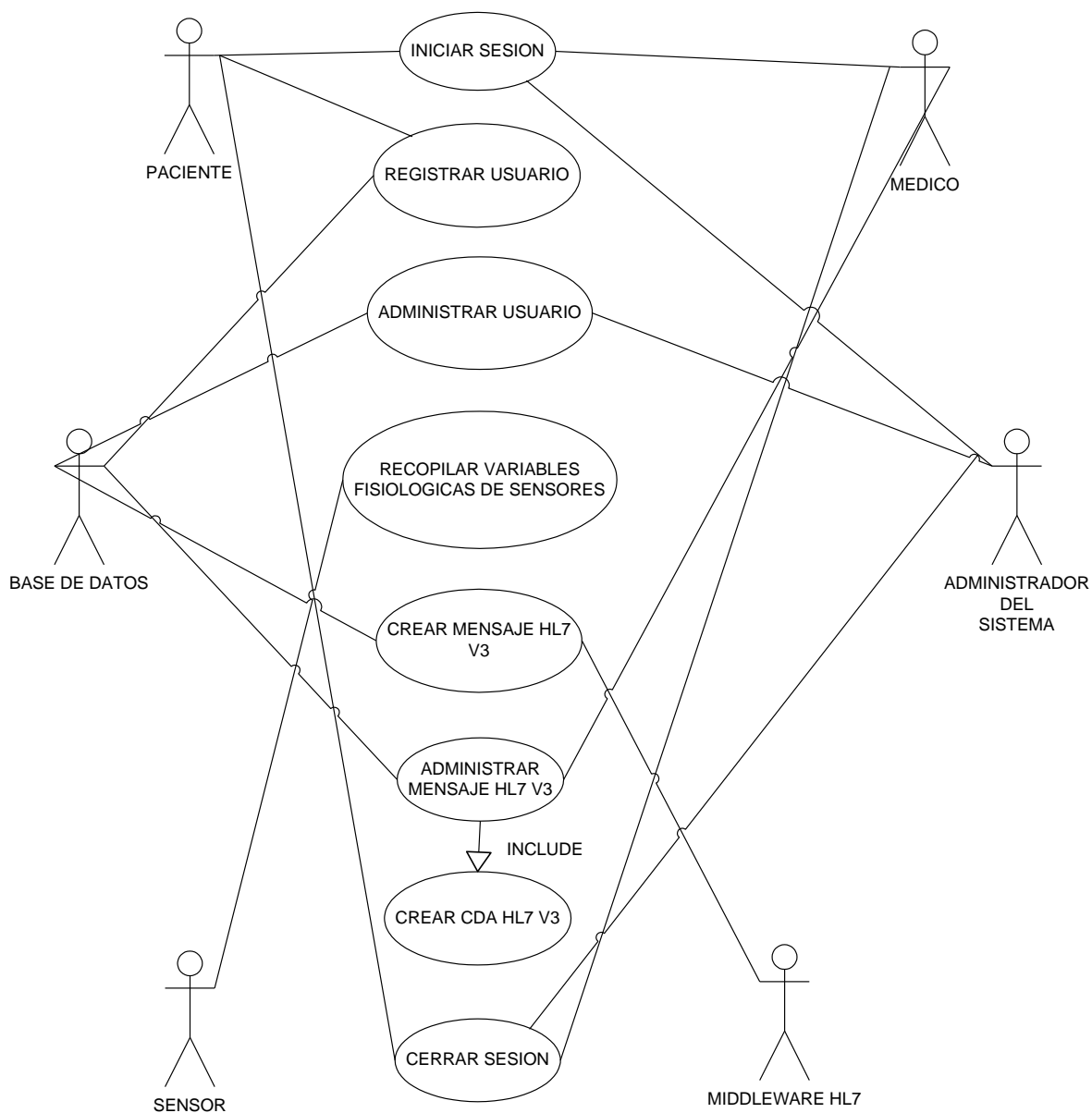
Los casos de uso identificados en se describen brevemente a continuación:

- **Iniciar sesión:** Este caso de uso permite a los actores PACIENTE y MÉDICO autenticarse para poder acceder a los servicios proporcionados por el sistema.
- **Registrar usuario:** Este caso de uso permite a los actores PACIENTE y MÉDICO registrarse por primera vez en el sistema para poder usarlo.
- **Administrar usuario:** Este caso de uso permite al actor ADMINISTRADOR DEL SISTEMA registrar, consultar, actualizar y eliminar un usuario del sistema.
- **Recopilar variables fisiológicas de los sensores:** Este caso de uso permite recopilar los datos leídos por los sensores fisiológicos.
- **Crear mensaje HL7 V3:** Este caso de uso permite al middleware HL7 crear un mensaje HL7 V3 usando la plantilla POLB\_RM201101MX01

- **Administrar mensajes HL7 V3:** Este caso de uso permite al actor MÉDICO consultar mensajes HL7 V3, generar observaciones y crear documentos CDA usando el caso de uso “Crear CDA HL7 V3”.
- **Crear CDA HL7 V3:** Este caso de uso permite construir un CDA con los datos del mensaje HL7 V3 y las observaciones del MÉDICO.
- **Cerrar sesión:** Este caso de uso permite a los actores PACIENTE y MÉDICO salir correctamente del sistema.

### 6.3.1.2 Diagrama general de casos de uso

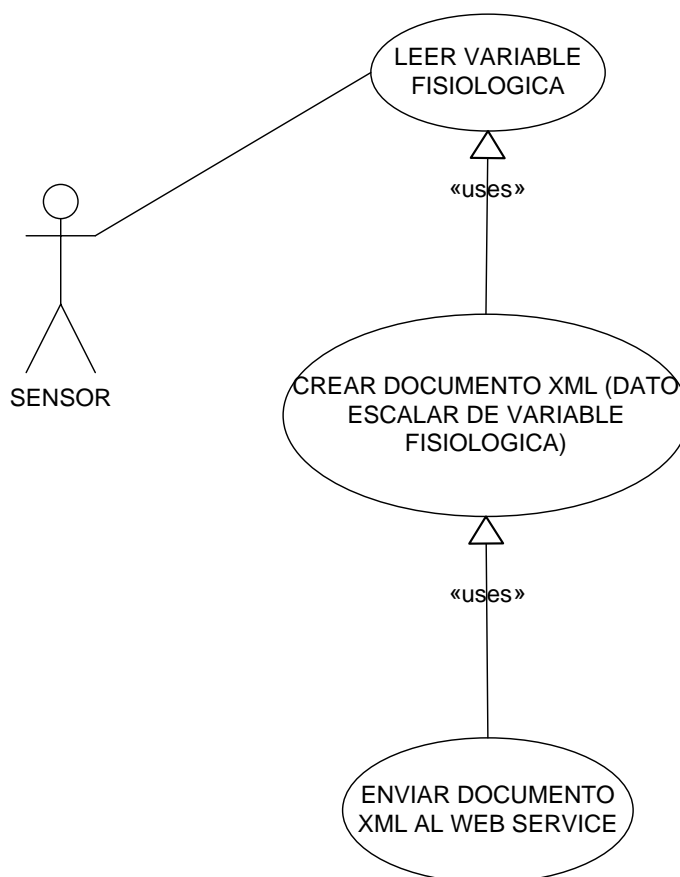
Un diagrama de casos de uso es una excelente herramienta para representar el contexto del sistema. Los principales casos de uso se presentan en este diagrama general representado por la Figura 6.4, y los más representativos serán explicados en las siguientes subsecciones.



**Figura 6.4.** Diagrama General de Casos de Uso.

### 6.3.1.3 Diagrama del caso de uso “Recopilar variables fisiológicas”

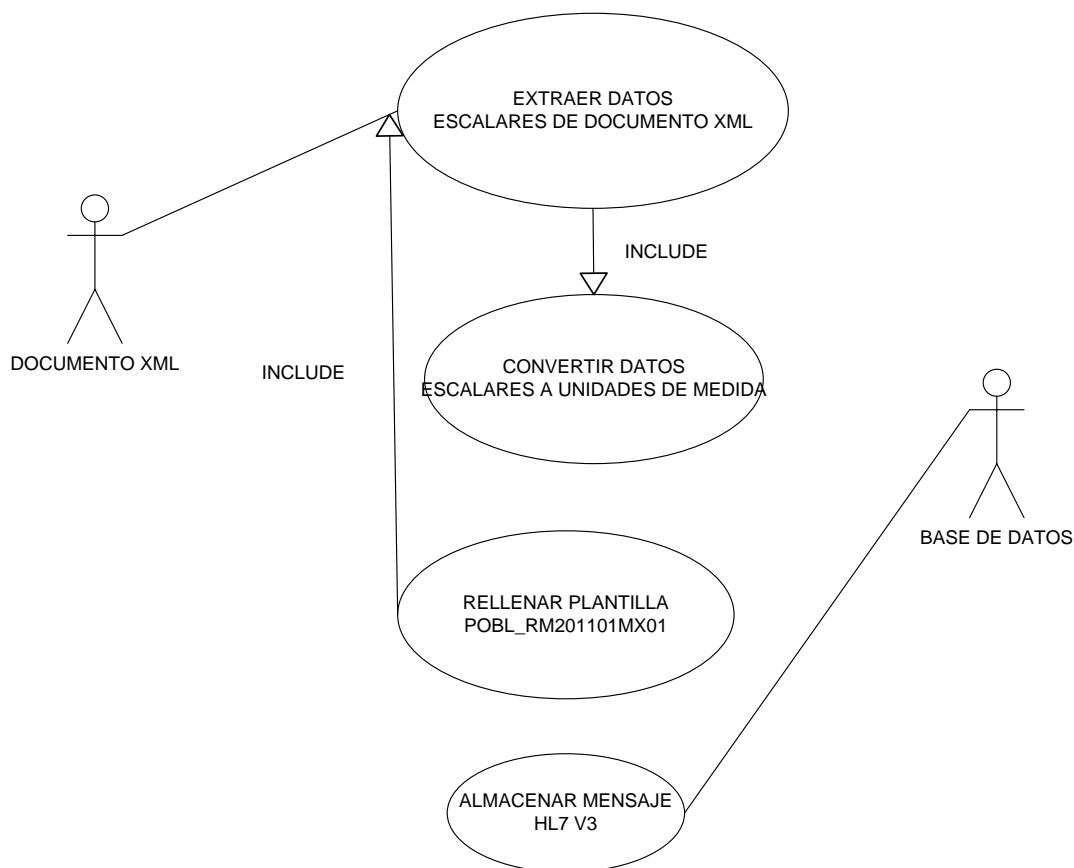
Este caso de uso permitirá al actor paciente recopilar de forma automática (mediante sensores médicos) la lectura de cada variable fisiológica, las cuales serán enviadas a un servidor Web. Los datos escalares leídos por los sensores se incrustarán en sus respectivos documentos electrónicos XML junto con los datos del sensor y del paciente.



**Figura 6.5.** CU Recopilar variables fisiológicas.

#### 6.3.1.4 Diagrama del caso de uso “Crear Mensaje HL7 V3”

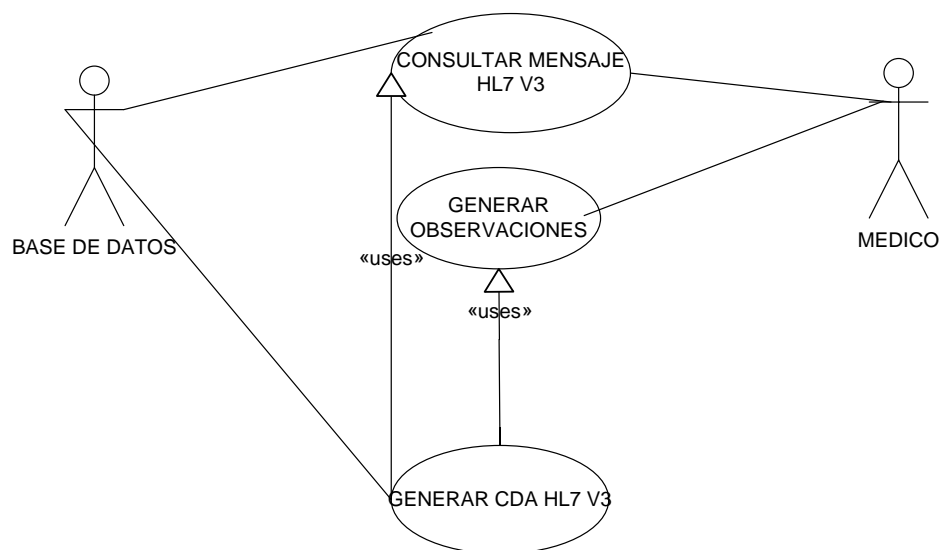
En este caso de uso, a los datos escalares contenidos en un archivo XML se les dará tratamiento para convertirlos a grados centígrados para que por medio de este software intermediario se cree un mensaje HL7 V3 el cual será almacenado en una base de datos. Debido a la naturaleza del caso de estudio, los datos son de temperatura, pero el método fácilmente puede ser adaptado para cualquier tipo de sensor.



**Figura 6.6.** CU Crear Mensaje HL7 V3.

### 6.3.1.5 Diagrama del caso de uso “Administrar Mensaje HL7 V3”

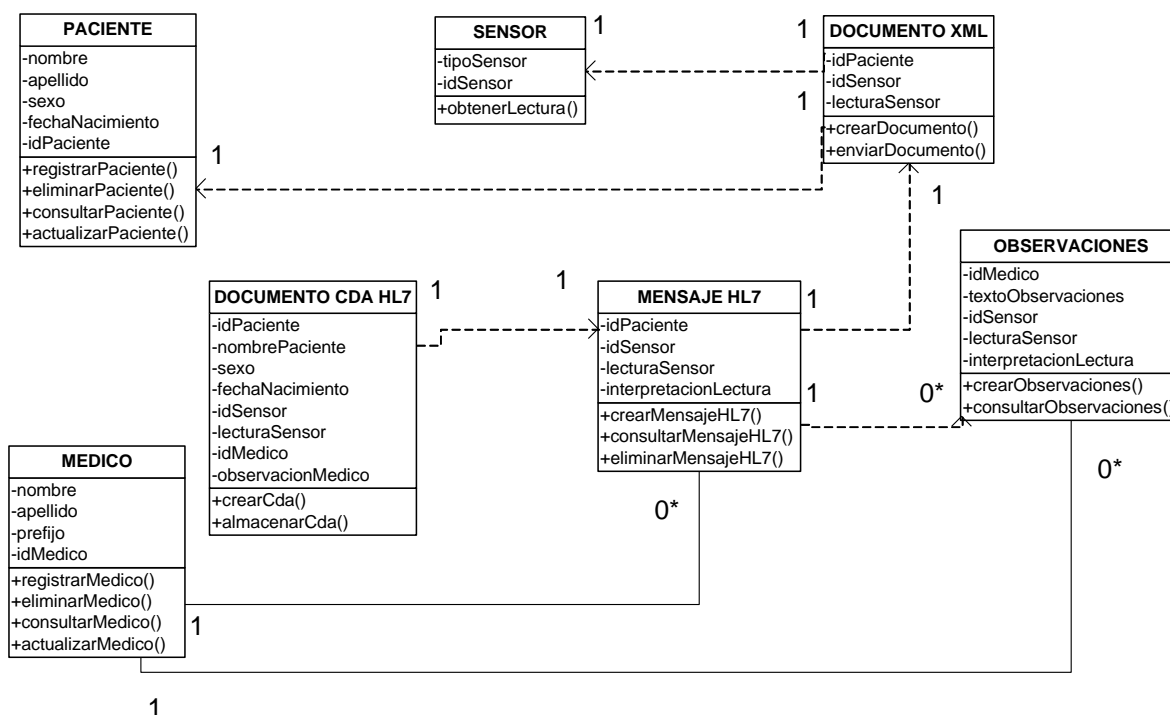
En este caso de uso, un médico realiza observaciones sobre los datos contenidos en un mensaje HL7 V3. Si el médico aprueba los datos contenidos en el mensaje, entonces se puede crear una hoja clínica del paciente siguiendo el esquema del estándar CDA HL7 V3 y obteniendo así un documento para después ser almacenado en una Base de datos. Los mensajes serán consultado siguiendo la estructura de datos primero en entrar, primero en salir (FIFO, First In, First Out).



**Figura 6.7.** CU Administrar Mensaje HL7 V3.

### 6.3.1.6 Diagrama de clases

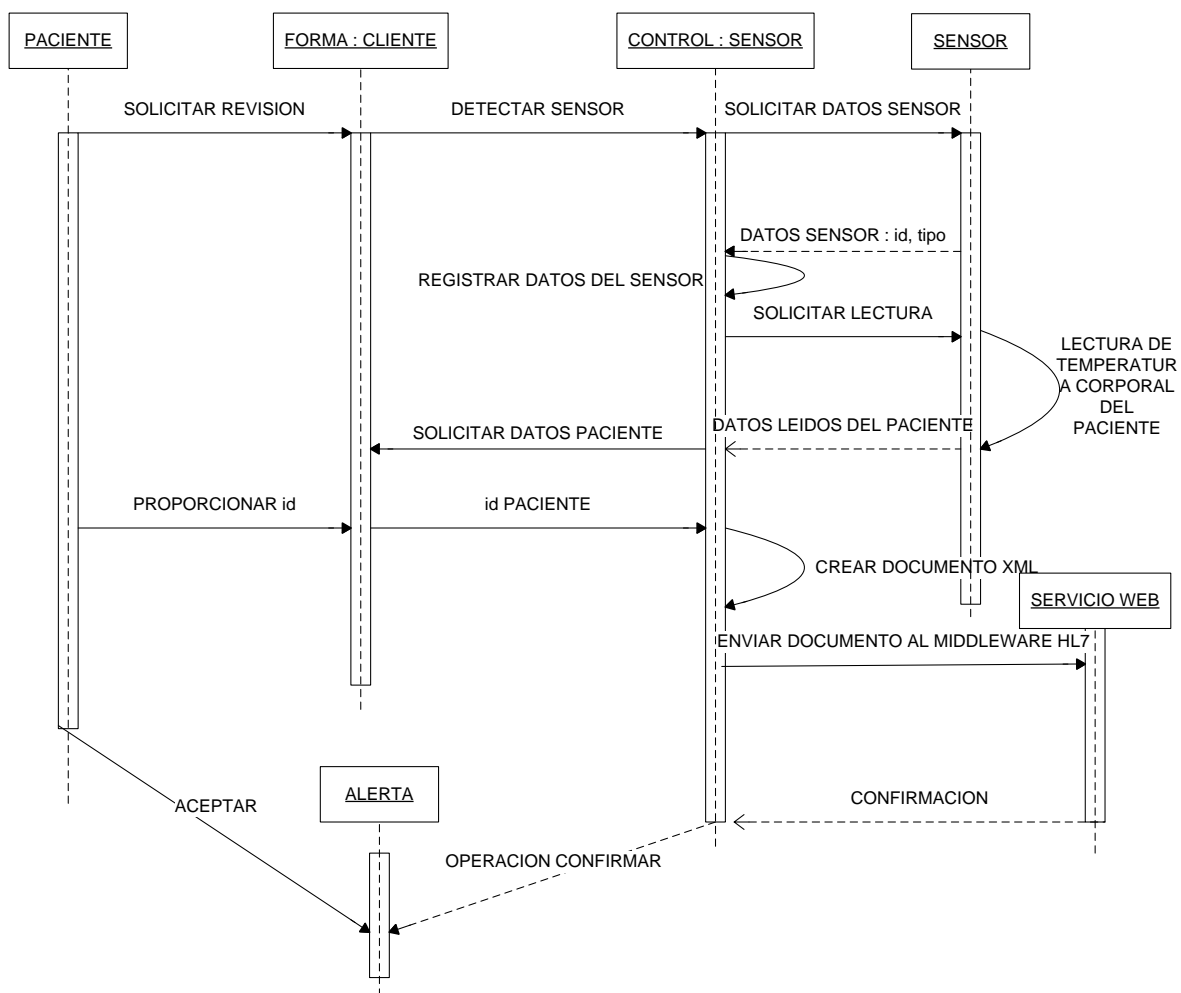
Un diagrama de clases es un tipo de diagrama que describe la estructura de un sistema mostrando sus clases, atributos y las relaciones entre ellos. Este diagrama de es útil para conceptualizar la información que se manejará en el sistema. La Figura 6.8 muestra el diagrama de las principales clases del sistema de monitorización a distancia de variables fisiológicas.



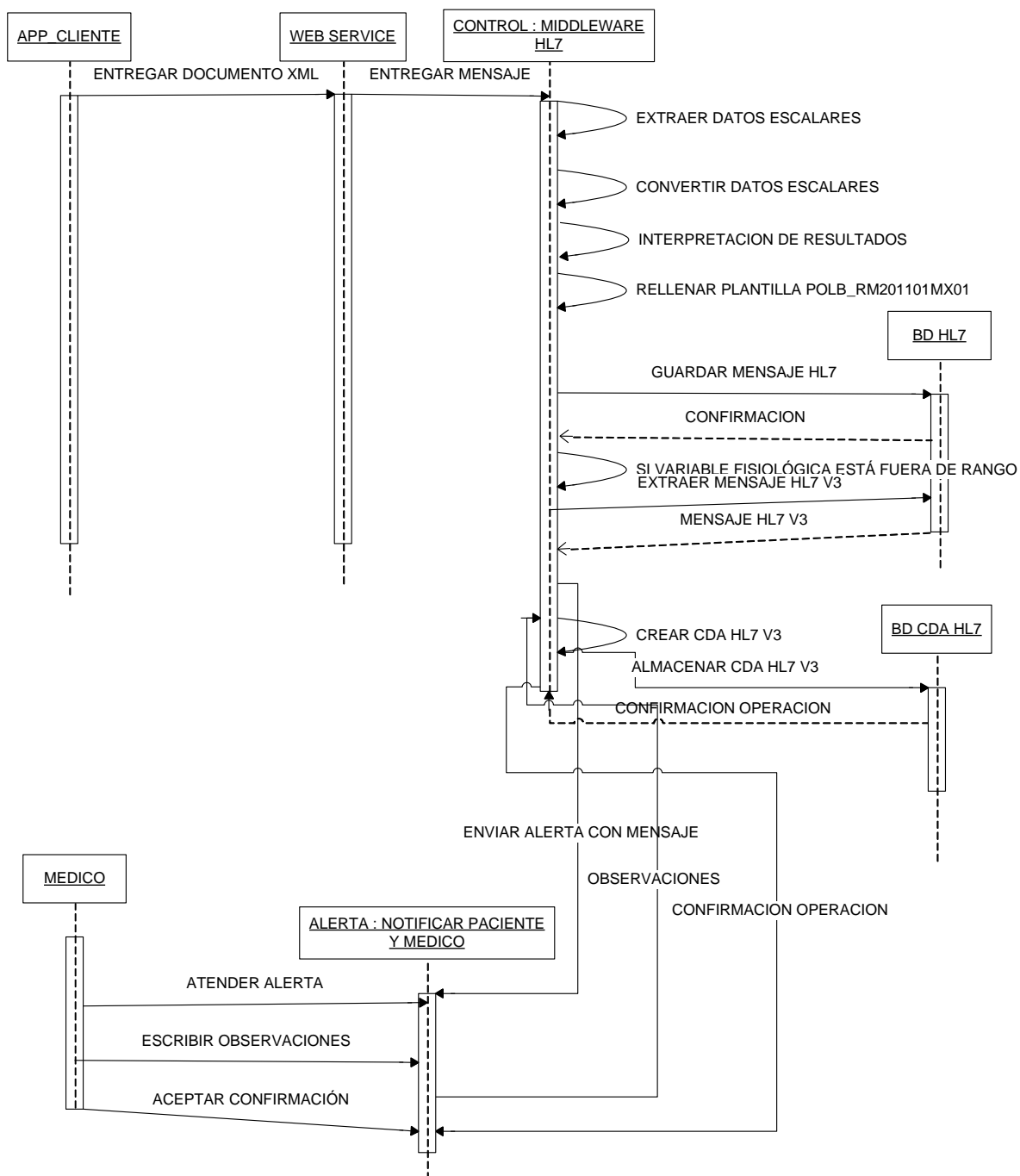
**Figura 6.8.** Diagrama de Clases.

### 6.3.1.7 Diagrama de secuencia

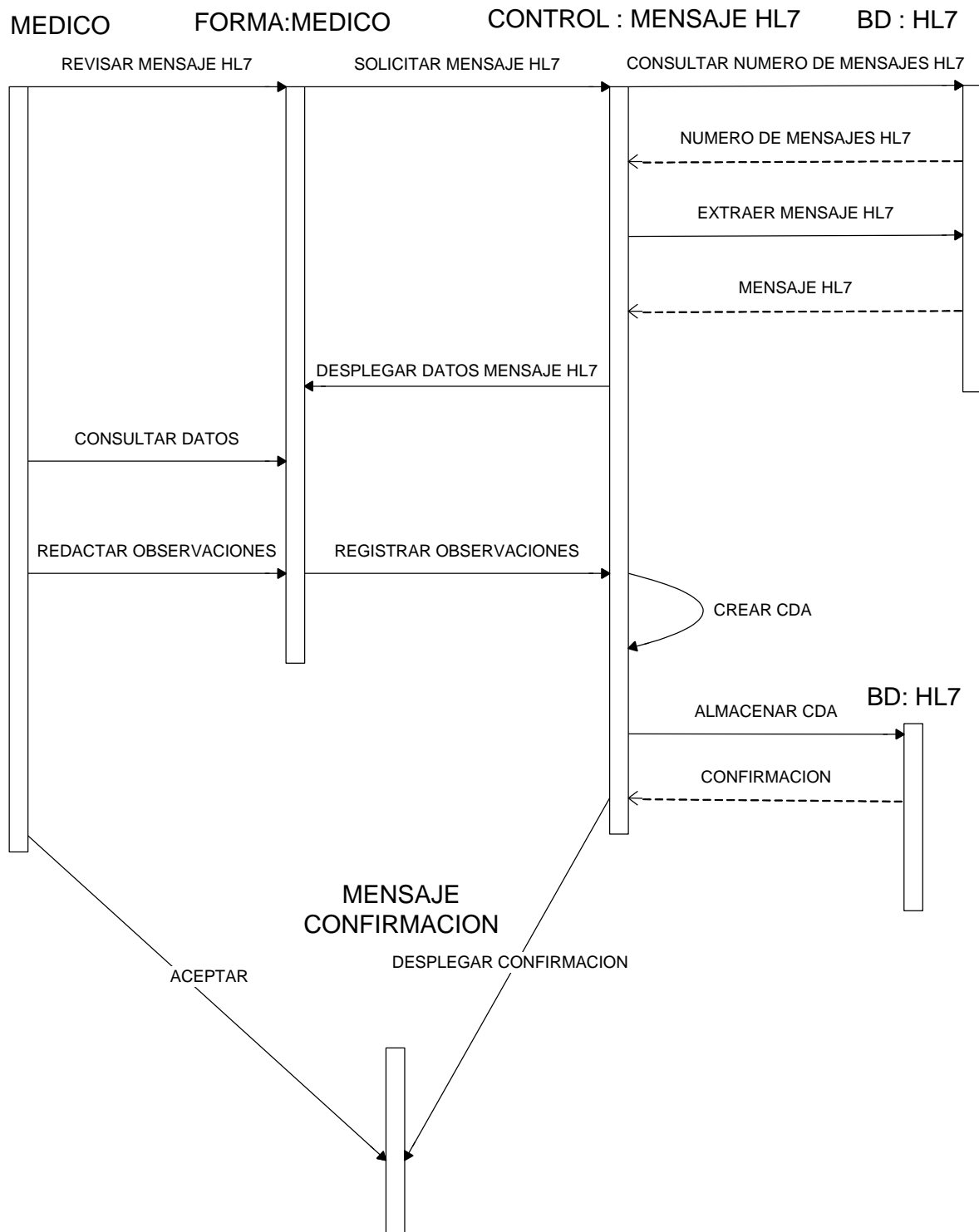
Este tipo de diagrama nos sirve para modelar la interacción entre los objetos a través del tiempo de un sistema. En esta sección se presenta los diagramas de secuencias de las principales actividades, los cuales son a) la lectura de la variable fisiológica por un sensor y cómo este es empaquetado en un documento XML para enviarlo a la aplicación servidor, b) el proceso que el Middleware HL7 lleva a cabo para convertir los datos escalares a un unidades entendibles por el ser humano y estandarizado según HL7, y c) el proceso de consulta de un mensaje HL7 V3 y cómo es procesada para construir un CDA con dichos datos.



**Figura 6.9.** Diagrama de secuencia para recopilar variables fisiológicas.



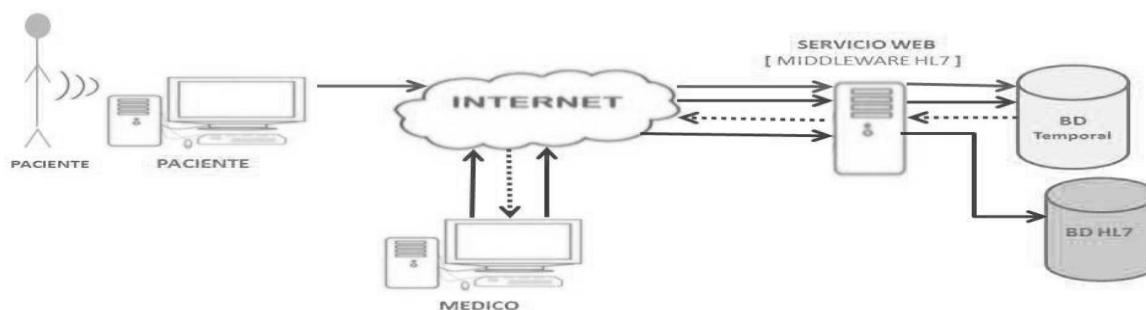
**Figura 6.10.** Diagrama de secuencia para Crear Mensaje HL7 V3.



**Figura 6.11.** Diagrama de secuencia para administrar mensaje HL7 V3.

### 6.3.2 Arquitectura general

Una persona se colocará uno o varios sensores fisiológicos (solo o con ayuda de alguna persona capacitada para realizar dicha actividad). Los sensores leerán los datos fisiológicos del paciente y los enviarán a un nodo Coordinador, el cual a su vez enviara esta información a través de un cable serial (RS-232C) a una aplicación de lado del paciente que estará ejecutándose sobre una computadora. Esta aplicación creara un archivo con el formato XML para cada lectura (datos escalares) de cada sensor, el archivo será enviado a un servidor web sobre el cual se ejecuta la aplicación servidor, el cual tiene como uno de sus componentes un Middleware HL7 desarrollado con el método propuesto. La Figura 6.12 presenta la arquitectura general del sistema desarrollado.



**Figura 6.12.** Arquitectura general del sistema de monitorización.

Sobre el servidor web se estará ejecutando el Middleware HL7, a la cual le llegarán los datos escalares de las lecturas que realizaron los sensores para convertirlos a sus unidades de medida (por ejemplo la temperatura tiene como unidad de medida a los grados centígrados) y poder así crear un Mensaje HL7 V3 para cada lectura de sensor, dicho mensaje será almacenado en una base de datos en la cual permanecerá hasta que sea necesario enviar algún Mensaje HL7 V3 al médico o especialista en salud.

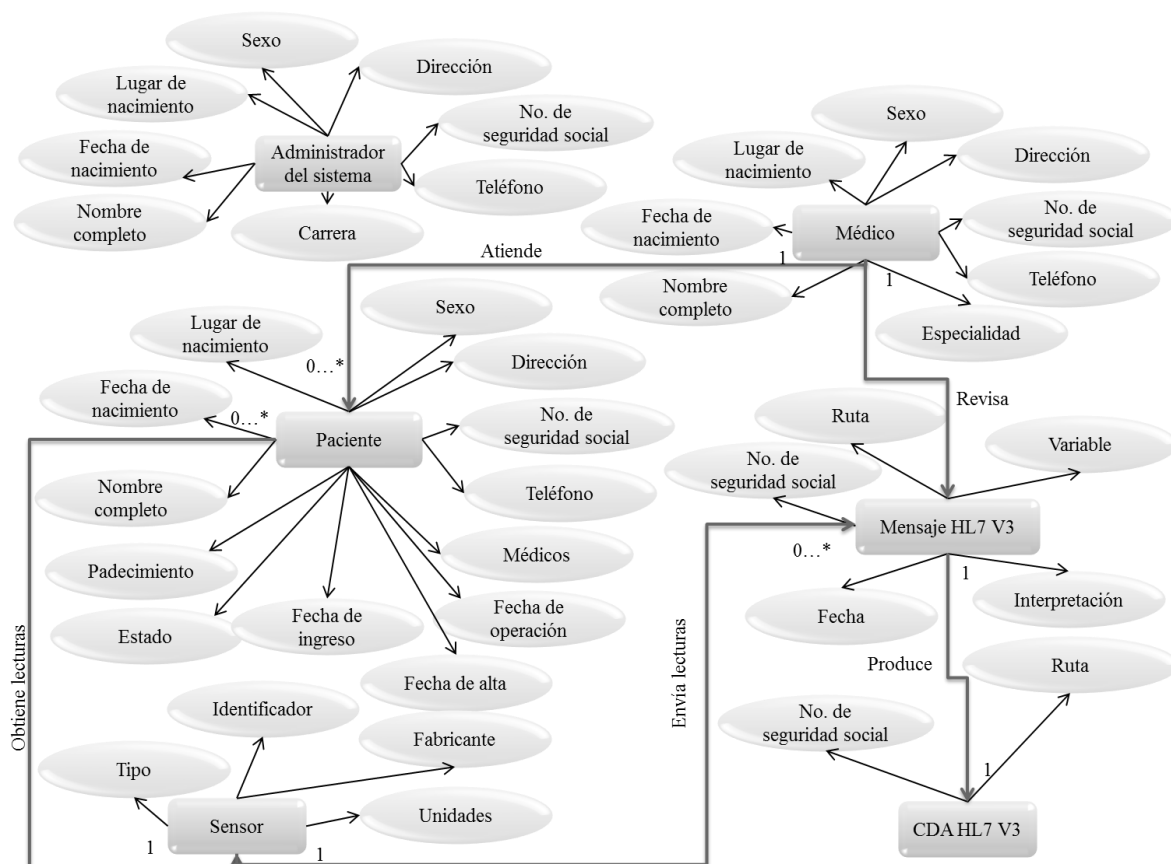
Cuando se envíe un mensaje HL7 V3 al médico o especialista en la salud por medio de la aplicación que se ejecuta sobre su computadora, ésta aplicación muestra los datos e inicia la revisión de los parámetros fisiológicos de pacientes por parte del médico. En base a los resultados de este mensaje, el médico o especialista en la salud podrá realizar sus

observaciones, las cuales serán enviadas al servidor web junto con otros datos extraídos del mensaje HL7 V3 en un archivo con formato XML. Dicho documento al llegar al servidor web, el Middleware HL7 procederá a extraer todos los datos del archivo incluidas las observaciones para a partir de estos poder crear un documento clínico siguiendo la estructura del estándar CDA HL7 V3 y almacenar dicho documento en una base de datos formando así una hoja clínica del paciente en cuestión.

La comunicación entre la aplicación cliente y la aplicación servidor se realiza mediante el consumo de un servicio web, el cual usa el protocolo http como protocolo de transporte de datos a través de la red de internet.

### **6.3.3 Modelado de la Base de datos**

En la figura 6.13 se muestra el diagrama de entidad-relación para describir la base de datos del sistema de monitorización. Los diagramas entidad-relación describen el esquema de una base de datos considerando entidades con atributos y la relación existente entre las entidades.



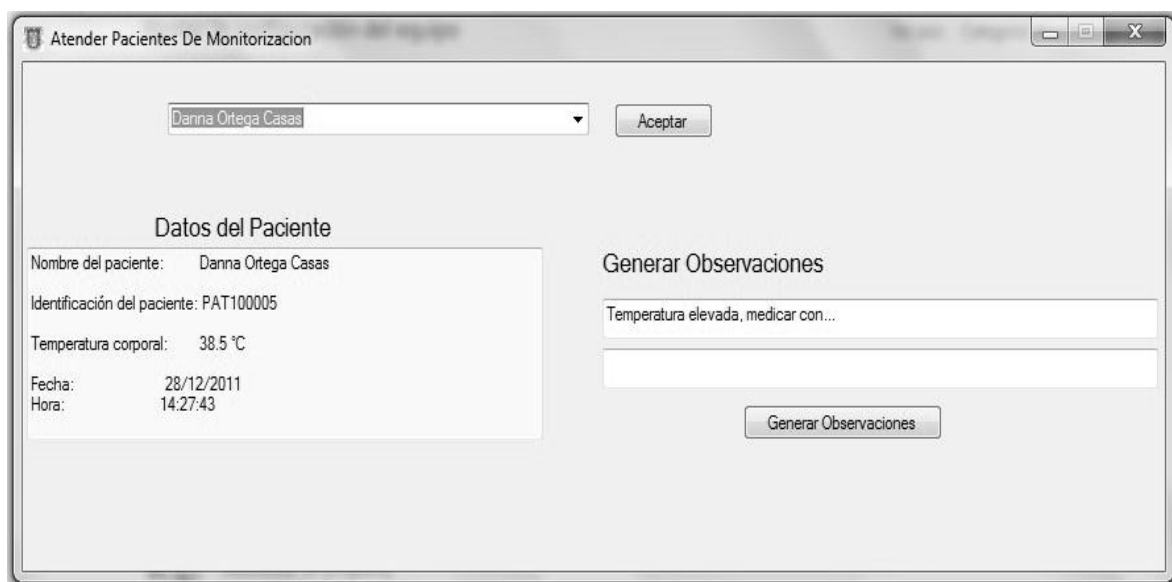
**Figura 6.13** Diagrama entidad-relación de la Base de datos para el sistema de monitorización

#### 6.4 Sistema de monitorización a distancia de variables fisiológicas

Para la implementación del sistema de monitorización se eligió el entorno de desarrollo integrado Visual Studio 2008 y el lenguaje de programación C Sharp (C#) donde se desarrollaron 3 aplicaciones. Una de lado del paciente, otra de lado del médico/especialista en la salud y otra que es el Middleware HL7.

Se eligió al lenguaje de programación C# el cual es orientado a objetos por que ofrece una amplia gama de servicios de sistema operativo y clases útiles para el sistema desarrollado, también C# permite trabajar con los servicios web que necesita el Middleware de una forma sencilla. La aplicación de lado del paciente toma las lecturas de las variables fisiológicas y envía cada una en un documento electrónico con estructura XML al Middleware HL7 junto con datos relevantes del paciente y del dispositivo que se utilizó para la toma de lectura.

En la aplicación del lado del médico como podemos ver en la Figura 6.14 se podrán utilizar los Mensajes HL7 V3 que han sido almacenados en una Base de datos donde se visualizaran solo los mensajes HL7 V3 de los pacientes que presenten un incremento o decremento del nivel de temperatura para que el médico analice mensaje por mensaje y haga sus observaciones, para lo cual la misma aplicación le dará la opción de escribir en texto plano sus observaciones, cuando el médico haya terminado de realizar estas acciones, las observaciones junto con los datos del paciente y del sensor con el que se realizó la toma de la lectura, entre otros datos se registrarán en un documento clínico que sigue la estructura del estándar CDA HL7 V3, la cual se almacenará en una base de datos para uso futuro.



**Figura 6.14.** Pantalla de la aplicación de lado del médico.

El uso del sistema de monitorización de variables fisiológicas se explica en el siguiente procedimiento:

1. El usuario se coloca los sensores.
2. Selecciona en el sistema la opción de iniciar lectura (iniciar la monitorización).
3. Cada sensor traerá por default un identificador así como el tipo de sensor. Esta información será proporcionada a la aplicación cliente cuando se inicie una conexión.
4. El sistema lee los datos fisiológicos del paciente mediante los sensores y los despliega en la pantalla del paciente.

5. El sistema automáticamente creará un documento electrónico con estos datos y los enviará a la aplicación servidor.

El médico por su parte, usará su aplicación con el siguiente procedimiento:

1. El médico solicita iniciar a monitorizar pacientes.
2. El sistema despliega los datos del mensaje.
3. El médico consulta los datos y redacta su observación en caso de ser necesario.
4. El médico aprueba los datos contenidos el mensaje.
5. El sistema automáticamente genera un CDA con estos datos (del mensaje y la observación).

El sistema empieza a funcionar cuando una persona se coloca uno o varios sensores fisiológicos. Los sensores leerán los datos fisiológicos del paciente y los enviarán a un nodo Coordinador el cual a su vez enviará esta información a través de un cable serial (RS-232C) a una aplicación de lado del paciente que estará ejecutándose sobre una computadora. Esta aplicación creará un archivo con el formato XML conteniendo los datos escalares de la lectura realizada por el sensor, el archivo será enviado a un servidor web, sobre el cual se estará ejecutando una herramienta intermediaria entre aplicaciones denominada Middleware HL7 a la cual le llegarán los datos escalares de la lectura realizada por el sensor para convertirlos grados centígrados y poder así crear un Mensaje HL7 V3 en el cual estarán incrustados la lectura convertida del sensor y datos relevantes del paciente y dicho mensaje será almacenado en una base de datos en la cual permanecerá hasta que sea necesario enviar un Mensaje HL7 V3 a la aplicación que se ejecuta del lado del médico/especialista en salud. Éste procedimiento se resume en la Figura 6.15.

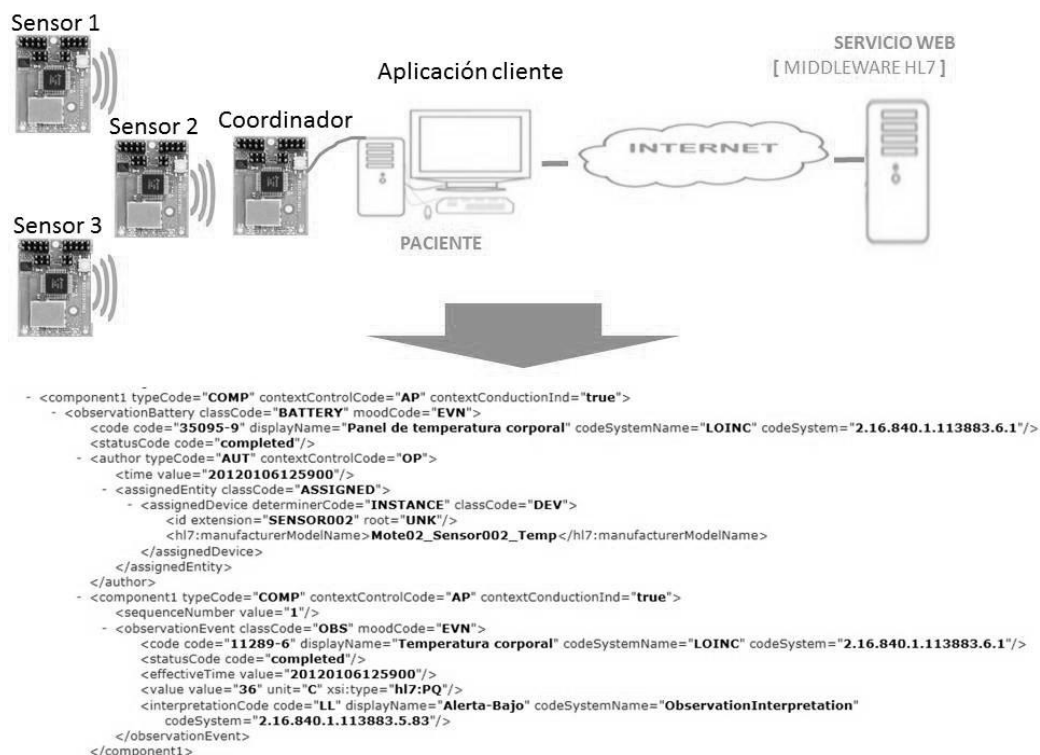
Cuando el médico o especialista en la salud por medio de la aplicación que se ejecuta sobre su computadora inicie la revisión de los parámetros fisiológicos de pacientes, se desplegará ante su aplicación los datos provenientes de un mensaje HL7 V3 y en base a los resultados de este mensaje el médico o especialista en la salud podrá realizar sus observaciones, las cuales serán enviadas al servidor web junto con otros datos extraídos del mensaje HL7 V3 en un archivo con formato XML. Al llegar al servidor web el

Middleware HL7 procederá a extraer los datos del archivo con observaciones para a partir de estos poder crear un documento clínico siguiendo la estructura del estándar CDA HL7 V3 y almacenar dicho documento en una base de datos formando así una hoja clínica del paciente en cuestión.

El proyecto de monitorización de variables fisiológicas es un sistema que funciona de forma transparente tanto para el paciente como para el médico o especialista de salud, ya que contando con sistemas como éste, el paciente se mantendrá monitorizado a distancia sin perder la calidad del servicio que ofrece el médico o especialista en la salud.

Para evaluar el método se armó una red estrella con los 3 nodos RFD y con el nodo FFD, este último se conectó a través de un cable serial (RS-232C) a una computadora de lado de la aplicación cliente.

Los sensores tomaron lectura cada 22 segundos, las lecturas resultantes se enviaron al Middleware HL7, para darles el tratamiento en base al método propuesto en este documento de tesis.



**Figura 6.15.** Sistema de Monitorización: recolección de lecturas y creación de mensaje HL7 V3.

## 6.5 Aplicación para el seguimiento de pacientes post-cirugía

Cuando un paciente es dado de alta después de una cirugía, es necesario mantener monitorizado alguna de sus variables fisiológicas mediante el sistema presentado en la sección 6.4 por un corto periodo de tiempo. Después de este periodo de monitorización se espera que el paciente se encuentre recuperado, sin embargo, es necesario darle seguimiento por otro periodo de tiempo hasta estar completamente seguro de que esta fuera de cualquier riesgo. Una de las maneras más prácticas es a través de un dispositivo móvil, en este caso en específico se usa un teléfono inteligente, los parámetros que nos van a permitir darle seguimiento al paciente son temperatura, glucosa y presión arterial, los cuales van a ser introducidos manualmente por el mismo paciente o por otra persona que auxilie al paciente, dichos datos serán enviados al Middleware HL7 para ser tratados y estandarizados siguiendo el estándar de mensajería HL7 V3 produciendo un mensaje HL7 V3 el cual se almacenará para futura referencia.

Esta aplicación tiene una gran utilidad en el seguimiento del paciente, pues el Middleware HL7 tiene la capacidad de interpretar los datos recibidos, y en caso de alguna anomalía con los datos se emite la alarma correspondiente para que se tomen las medidas necesarias. Las alarmas se emiten cuando algunos de los parámetros recibidos estén fuera de un intervalo normal.

El sistema fue desarrollado en la plataforma Android para dispositivos móviles y se le dio soporte a interoperabilidad. Esta aplicación fue desarrollada en el entorno de desarrollo integrado Eclipse utilizando la librería KSOAP para consumir un servicio web y utilizando http como protocolo de transporte.

Los datos introducidos manualmente en la aplicación son empaquetados en un documento XML que contiene los datos de identificación del paciente, dispositivo móvil, así como las lecturas y la fecha en que éstas fueron capturadas. Los datos contenidos en este documento son estandarizados por el Middleware HL7 en base a las especificaciones de los estándares HL7.

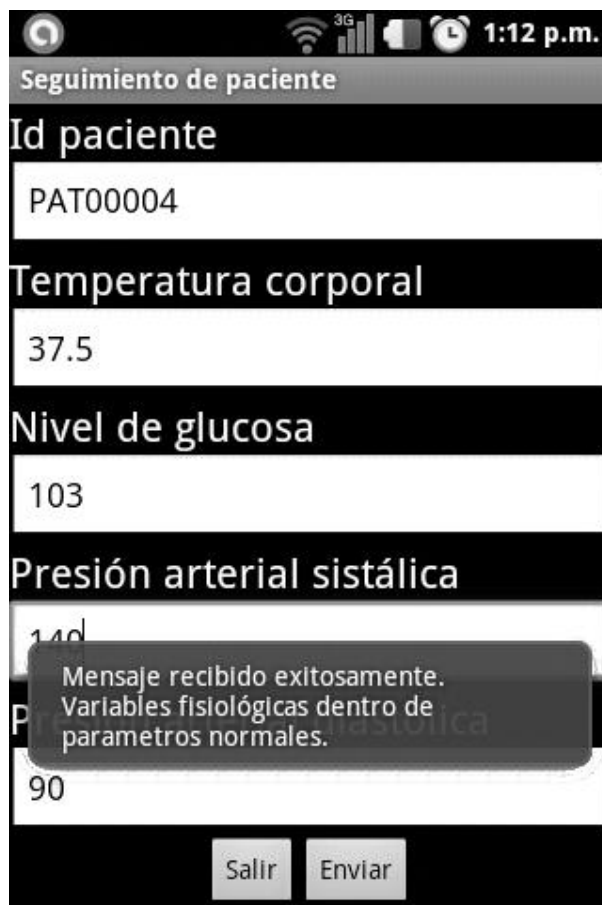
La aplicación se instaló en un teléfono inteligente LG-P500h con sistema operativo Android versión 2.3.3. Este dispositivo cuenta con conexión WiFi el cual fue aprovechado para la comunicación con la aplicación servidor instalado sobre una PC.

En la Figura 6.16 se muestra el inicio de sesión en la aplicación ya instalada en el dispositivo móvil. Los datos se introducen como se muestra en la Figura 6.17. Los datos a introducir son el id del paciente y las lecturas fisiológicas del paciente. Los datos del teléfono se obtienen de forma automática.



**Figura 6.16.** Inicio de sesión en el sistema de seguimiento de pacientes post-cirugía.

Cuando el usuario captura todos los datos y selecciona el botón enviar, el sistema automáticamente empaqueta los datos en un documento XML y lo envía al Middleware HL7 para su estandarización e interpretación. En caso de que no exista ninguna anomalía, el usuario del dispositivo móvil recibe un mensaje de confirmación como el que se presenta en la Figura 6.17. En caso de que exista alguna anomalía con alguno de los datos, el usuario recibirá un mensaje de alerta que indica brevemente las medidas a tomar.



**Figura 6.17.** Mensaje de confirmación de parámetros normales.

Esta pequeña aplicación evidencia la interoperabilidad técnica y semántica entre sistemas heterogéneos a través del uso del Middleware HL7 al tratar los datos provenientes del dispositivo inteligente para estandarizarlos y poder intercambiar dicha información entre sistemas de información clínicos.

## Capítulo 7

### 7. Conclusiones y trabajo futuro

En este documento se presentó un trabajo de investigación que logra la convergencia de las redes inalámbricas de sensores fisiológicos y sistemas de información clínica con soporte a HL7. Se solucionaron dos problemáticas principales. La primera fue la falta de estandarización de los datos provenientes de sensores fisiológicos. Este problema se solucionó a través de un software intermediario denominado Middleware HL7 a través del cual se procesan datos provenientes de sensores fisiológicos estandarizando la información al convertir los datos escalares a unidades de medición entendidas por el ser humano. Segundo, los estándares HL7 no fueron diseñados para trabajar con datos provenientes de sensores inalámbricos. Este problema se resolvió mediante un Middleware que integra en mensajes y documentos HL7 V3 los datos de los sensores, para lo cual se crearon plantillas conforme a las especificaciones del estándar HL7 V3. Con la resolución de estos dos problemas se logró la interoperabilidad técnica y semántica entre sistemas de información clínica heterogéneos que usan datos provenientes de sensores fisiológicos. Pero el logro más importante es la convergencia entre estas dos tecnologías con el trabajo realizado.

#### 7.1 Principales contribuciones y conclusiones

A continuación se describen las principales contribuciones de este trabajo de tesis, así como las conclusiones obtenidas en cada una de ellas:

- 1) Método para la estandarización de los datos provenientes de sensores fisiológicos siguiendo las especificaciones de los estándares HL7.
  - a. Los datos escalares provenientes de sensores fisiológicos, convertidos en unidades entendibles por el ser humano son compatibles con los estándares HL7.
  - b. La integración de los datos escalares en un mensaje HL7 V3; permite que éstos sean usados, compartidos y entendidos por sistemas heterogéneos.

- c. La estandarización de los datos provenientes de sensores fisiológicos logra la convergencia entre sistemas de información de salud y redes de sensores fisiológicos.
  - d. El método propuesto es capaz de estandarizar datos fisiológicos provenientes de redes de sensores y otras fuentes, por ejemplo teléfonos inteligentes.
- 2) Middleware HL7, el cual es un software intermediario entre las redes inalámbricas de sensores y los sistemas de información clínica, al convertir los datos de algún sensor fisiológico a mensajes HL7 V3 para que ésta información pueda ser usada y compartida entre sistemas de información clínicos heterogéneos.
- a. Con un software intermediario que estandarice los datos escalares provenientes de sensores fisiológicos se logra la convergencia entre éstos y sistemas de información clínica.
  - b. El procesamiento de los datos escalares provenientes de sensores diferentes por una sola entidad, permite el ahorro de recursos computacionales en el procesamiento y envío de los datos entre los dispositivos involucrados.
  - c. Un Middleware HL7, construido con el método propuesto, puede procesar datos escalares provenientes de sensores diferentes (temperatura, glucosa, presión arterial, entre otros), de tal forma que los datos procesados puedan ser usados, intercambiados y entendidos de la misma forma en cualquier ambiente heterogéneo.
  - d. Un Middleware HL7, construido con el método propuesto, puede generar documentos CDA usando la carga útil de mensajes HL7.
- 3) Sistema de monitorización a distancia de parámetros fisiológicos. Una herramienta que puede ser usada para monitorizar a una persona que necesita ser vigilada por un médico. El uso de este sistema de monitorización permite el ahorro de recursos y un mejor servicio al habilitar que el médico pueda ver estos datos en cualquier momento y en cualquier instante.
- a. El uso de sensores fisiológicos en el monitoreo a distancia de pacientes permite la optimización de los recursos tanto materiales como económicos.

- b. La interoperabilidad entre sistemas de información clínica que usen datos provenientes de sensores fisiológicos permite que las instituciones de salud tengan un mayor alcance es sus servicios.
- 4) La plantilla POBL\_RM201101MX01 que sigue la estructura de la mensajería HL7 V3 y que fue un refinamiento del RIM, la cual puede ser modificada para integrar nuevos sensores en ella.
- a. La plantilla POBL\_RM201101MX01 puede ser usada para datos provenientes de sensores de diferentes tipos, por ejemplo, puede contener lecturas de un sensor de temperatura, glucosa, presión arterial u otras.
  - b. La plantilla POBL\_RM201101MX01 puede contener datos provenientes de otras fuentes, como pueden ser dispositivos móviles.
- 5) La plantilla POCD\_RM201101MX01 que sigue la estructura de la arquitectura de documentos clínicos HL7 V3 y que también es producto del refinamiento del RIM.
- a. La plantilla POCD\_RM201101MX01 puede contener datos de mensajes HL7 V3 y observaciones realizadas por el médico.
  - b. Los documentos CDA creados con la plantilla POCD\_RM201101MX01 permiten construir el historial clínico del paciente.

Lo más importante de este trabajo de tesis es el logro de la convergencia entre sistemas de información clínica y redes inalámbricas de sensores. Con el método propuesto para la construcción de un Middleware HL7 permite el desarrollo de sistemas computacionales que mejoren la calidad de vida del ser humano mediante el uso de los más grandes avances en tecnologías de salud.

## **7.2 Trabajo futuro**

Como trabajo futuro se desea modificar el sistema de monitorización de variables fisiológicas para ser multi-plataforma y poder trabajar en otros entornos y no solo en el de Windows. También es necesario llevar esta aplicación a entornos móviles, tales como teléfonos inteligentes utilizando tecnologías como Android, por ejemplo, para tener un mayor alcance del servicio y apoyar en el desempeño del profesional de la salud para mejorar la calidad del servicio.

## Bibliografía

- [1] Telemedicina De México, Org. Recuperado el 3 de Marzo del 2010, de <http://www.telemedicina.org.mx>
- [2] Serie: Tecnologías En Salud Volumen 3, Recuperado el 2 de Febrero del 2011, <http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/TecnologiasSaludV3.pdf>
- [3] Choi, Y. B., Krause, J. S., Seo, H., & Capitan, K. E. Telemedicine in the USA : Standardization through Information Management and Technical Applications. IEEE Communications Magazine, pp 41-48, 2006.
- [4] Talha, M. U., & Ahmad, J., Network, BODY AREA NETWORKS ( BANS ) – AN OVERVIEW WITH SMART SENSORS BASED TELEMEDICAL MONITORING SYSTEM, 2001.
- [5] Nikolidakis, S. A., Georgakakis, E., Giotsas, V., & Vergados, D. D., A Secure Ubiquitous Healthcare System Based on IMS and the HL7 Standards. Security, 2010.
- [6] Data salud IT Ltda. Desarrollo y consultoría informática para la salud, Recuperado el 9 de Febrero del 2011. [http://www.datasalud.net/home/index.php/info/biblioteca/cat\\_view/25-hl7-varios](http://www.datasalud.net/home/index.php/info/biblioteca/cat_view/25-hl7-varios)
- [7] Kim W., Lim S., AhnJ., Nah J. & Kim N., “ Integration of IEEE 1451 and HL7 Exchanging Information for Patients ’ Sensor Data”, Journal of Medical Systems, pp. 1033-1041, 2010.
- [8] Health Level Seven International, Recuperado el 14 de Diciembre del 2010, <http://www.hl7.org/about/index.cfm?ref=nav>
- [9] Pindter J., Gonzalez V., Tovar C., Desarrollo, C., & Comunicaciones,.Proposal for an m-Health JOURNAL System.System, pp55-59, 2009.
- [10] Wikipedi, Recuperado el 3 de Febrero del 2011, <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>
- [11] Krol M., Telemedicine - IEEE Potentials., pp29-31, 1997.
- [12] Zach, S.,Telemedicine overview and summary. Development, pp 409-410, 1996.
- [13] Jones, V. a. MobiHealth: Mobile Health Services based on Body Area Networks. In S. L. Robert H. Istepanian, M-Health: Emerging Mobile Health Systems Springer. p.624, 2006.

- [14] Istepanian R., Jovanov E. & Zhang Y., Transactions, I., & Information, Guest Editorial Introduction to the Special Section on M-Health : Beyond Seamless Mobility and Global Wireless Health-Care Connectivity. Technology, pp 405-414, 2004
- [15] Chris O., Aleksandar M., Corey S., and Emil J., “System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring”, Journal of Mobile Multimedia, Rinton Press, pp. 307- 326, 2006.
- [16] HL7 Argentina, Recuperado el 9 de Febrero del 2011, <http://hl7.org.ar/>
- [17] Datasalud IT Ltda. Desarrollo y consultoría informática para la salud, Recuperado el 3 de Febrero del 2011,  
[http://www.datasalud.net/CDA\\_examples/laboratory/hl7\\_v3mssg\\_1\\_v1.pdf](http://www.datasalud.net/CDA_examples/laboratory/hl7_v3mssg_1_v1.pdf)
- [18] HL7 Reference Information Model, Recuperado el 3 de Febrero del 2011,  
<http://www.hl7.org/implement/standards/rim.cfm>
- [19] HL7 Version 3 Standard and to this ballot of the Version 3 (V3) messaging standard, Recuperado el 23 de Mayo del 2011,  
<http://www.hl7.org/v3ballot/html/welcome/environment/index.html>
- [20] Data salud IT Ltda. Desarrollo y consultoría informática para la salud, Recuperado el 7 de Mayo del 2011, [http://www.datasalud.net/home/index.php/info/biblioteca/cat\\_view/18-hl7-v3-laboratorio-clinico](http://www.datasalud.net/home/index.php/info/biblioteca/cat_view/18-hl7-v3-laboratorio-clinico)
- [21] Data salud IT Ltda. Desarrollo y consultoría informática para la salud, Recuperado el 3 de Febrero del 2011,  
[http://www.datasalud.net/CDA\\_examples/laboratory/hl7\\_v3mssg\\_2\\_v1.pdf](http://www.datasalud.net/CDA_examples/laboratory/hl7_v3mssg_2_v1.pdf)
- [22] Data salud IT Ltda. Desarrollo y consultoría informática para la salud, Recuperado el 7 de Mayo del 2011  
[http://www.datasalud.net/home/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=18&limit=5&limitstart=0&order=hits&dir=DESC&Itemid=22](http://www.datasalud.net/home/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=18&limit=5&limitstart=0&order=hits&dir=DESC&Itemid=22)
- [23] RIM VERSION: 2.20, Descargado el día 11 de Mayo del 2011,  
<http://www.hl7.org/implement/standards/rim.cfm>
- [24] HL7 V3 Guide, Recuperado el 3 de Febrero del 2011,  
<http://www.hl7.org/v3ballot2010MAY/html/help/v3guide/v3guide.htm>

- [25] HL7 España, Recuperado el 5 de Mayo del 2011,  
<http://www.hl7spain.org/Ficheros/0/Documentos/Gu%EDa%20de%20utilizaci%F3n%20y%20propuesta%20de%20Gesti%F3n%20de%20OIDs.pdf>
- [26] HL7 Standards, Recuperado el 15 de Febrero del 2011,  
[http://www.hl7.org/documentcenter/public\\_temp\\_932BF439-1C23-BA17-0C1D24312CA4266B/wg/marketing/3-REPERTORIO%20DE%20ESTANDARES.pdf](http://www.hl7.org/documentcenter/public_temp_932BF439-1C23-BA17-0C1D24312CA4266B/wg/marketing/3-REPERTORIO%20DE%20ESTANDARES.pdf)
- [27] Redes de Sensores, Recuperado el 19 de Mayo del 2011,  
<http://usuario.cicese.mx/~cruiz/>
- [28] Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G, The Internet of Things : A survey. Computer Networks, pp 2787-2805., 2010.
- [29] IEEE: "IEEE Standard 802.15.4: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low rate wireless personal area networks (LR-WPANs)," New York, 2003.
- [30] HL7, Transport Specifications, Recuperado el 23 de Mayo del 2011,  
<http://www.hl7.org/v3ballot/html/infrastructure/transport/transport-intro.html>
- [31] HL7, Web Services Profile, Recuperado el 23 de Mayo del 2011,  
<http://www.hl7.org/v3ballot/html/infrastructure/transport/transport-wsprofiles.html>
- [32] Martínez, I., Escayola, J., Serrano, L., Ieee, S. M., Trigo, J. D., Led, S., Implementation Experiences of ISO/IEEE11073 standard Applied to New Use Cases for e-Health Environments. Blood, pp 1679-1682, 2009.
- [33] Hospital: Hermanos Ameijeiras, Recuperado el 3 de Febrero del 2011  
<http://www.hospitalameijeiras.sld.cu/hha/mpm/documentos/CIRUGIA%20CARDIOVASCULAR/PA/POST%20OPERATORIO%20DE%20CIRUGIA%20CARDIOVASCULAR.pdf>
- [34] Craig Larman, UML y patrones: una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y al proceso unificado, Prentice Hall, segunda edición, pp 10-189, 2002.