

PI163-2-SICOBIO

**MODELO Y SISTEMA DE ANÁLISIS, GENERACIÓN Y ENTREGA DE
INFORMACIÓN, PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES A PARTIR DE
DATOS OBTENIDOS DE PACIENTES REMOTOS DE LA TERCERA EDAD CON
NEUMONÍA ADQUIRIDA EN LA COMUNIDAD (NAC)**

William Enrique Parra Alba

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
BOGOTÁ, D.C.
2016**

PI163-2-SICOBIO

MODELO Y SISTEMA DE ANÁLISIS, GENERACIÓN Y ENTREGA DE INFORMACIÓN, PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES A PARTIR DE DATOS OBTENIDOS DE PACIENTES REMOTOS DE LA TERCERA EDAD CON NEUMONÍA ADQUIRIDA EN LA COMUNIDAD (NAC)

Autor:

William Enrique Parra Alba

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO DE LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

Directora

Ing. Alexandra Pomares Quimbaya, PhD

Comité de Evaluación del Trabajo de Grado

Leonar Giovanni Aguiar Martinez

Rafael Andres Gonzalez Rivera

Página web del Trabajo de Grado

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI163-2-SICOBIO>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
BOGOTÁ, D.C.
Octubre, 2016

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**

Rector Magnífico

Jorge Humberto Peláez Piedrahita, S.J.

Decano Facultad de Ingeniería

Ingeniero Luis David Prieto Martínez

Director Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación

Ingeniera Angela Cristina Carrillo Ramos

Director Departamento de Ingeniería de Sistemas

Efraín Ortiz Pabón

Artículo 23 de la Resolución No. 1 de junio de 1946

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la Justicia”

AGRADECIMIENTOS

A mis hijos William, Gabriel y Sarita, a mi esposa Nancy, por su paciencia y apoyo durante todo el proceso, a mi directora Alexandra Pomares, quién con su sabiduría y experiencia, me condujo con pasos firmes hacia la meta. A Los doctores Carlos Cano, Rafael Samper y Diego Chavarro de La Dirección de Envejecimiento, por sus aportes y realimentación. Al proyecto "APP CODIFICO Aplicación didáctica móvil para desarrollar capacidades de codificación diagnóstica en profesionales de medicina. Bogotá D.C, Colombia 2015 - id 6891" por su apoyo en el proceso de validación, y al ingeniero biomédico Luis Humberto Corso de La Oficina de Gestión Biomédica por su disposición y apoyo durante el proyecto.

Contenido

I.	INTRODUCCIÓN.....	11
II.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	12
A.	PROBLEMÁTICA Y OPORTUNIDAD.....	13
B.	OBJETIVO GENERAL	14
C.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
D.	FASES DE DESARROLLO.....	15
III.	ESTADO DEL ARTE	15
A.	SENSORES PARA LA OBTENCIÓN DE SEÑALES BIOMÉDICAS.....	15
1)	<i>Sensores de signos vitales</i>	<i>16</i>
2)	<i>Redes de sensores.....</i>	<i>16</i>
3)	<i>Sensores en teléfonos inteligentes</i>	<i>17</i>
4)	<i>Análisis comparativo de sensores para la obtención de señales biomédicas.....</i>	<i>17</i>
5)	<i>Síntesis.....</i>	<i>18</i>
B.	SISTEMAS PARA EL CUIDADO DE LA SALUD EN CASA	18
1)	<i>Sistemas de telemedicina.....</i>	<i>19</i>
2)	<i>Sistemas de monitoreo para el hogar.....</i>	<i>19</i>
3)	<i>Sistemas de obtención, análisis y toma de decisiones</i>	<i>19</i>
4)	<i>Sistemas de generación de alertas.....</i>	<i>20</i>
5)	<i>Análisis comparativo de sistemas para el cuidado de la salud en casa.....</i>	<i>21</i>
6)	<i>Síntesis.....</i>	<i>23</i>
IV.	SISTEMA DE CONSOLIDACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS - SICOBIO.....	24
A.	ARQUITECTURA	24
1)	<i>Esquema general de la solución.....</i>	<i>24</i>
2)	<i>Arquitectura técnica</i>	<i>26</i>
3)	<i>Flujo del proceso.....</i>	<i>29</i>
B.	MODELO DE CONSOLIDACIÓN	31
1)	<i>Solución a la integración de nuevos dispositivos.....</i>	<i>32</i>
2)	<i>Solución a la heterogeneidad de los datos</i>	<i>32</i>
3)	<i>Solución a la consolidación de los datos por paciente.....</i>	<i>33</i>
4)	<i>Solucionar el manejo de la seguridad de los datos</i>	<i>33</i>
C.	MODELO DE ANÁLISIS	34
1)	<i>Análisis síncrono</i>	<i>35</i>

2) <i>Análisis asíncrono</i>	39
V. PROTOTIPO	41
A. COMPONENTE DE CONSOLIDACIÓN	42
1) <i>Integración con dispositivos remotos</i>	43
2) <i>Componentes de consolidación</i>	46
B. COMPONENTE DE ANÁLISIS	49
1) <i>Componente de análisis síncrono</i>	50
2) <i>Componentes para análisis asíncrono</i>	51
3) <i>Componentes para la entrega de alertas</i>	59
4) <i>Componente de alta temprana</i>	60
VI. VALIDACIÓN	61
A. VALIDACIÓN DEL MODELO DE CONSOLIDACIÓN	61
1) <i>Integración de datos desde Fitbit</i>	61
2) <i>Integración de datos desde Smartphone</i>	63
B. VALIDACIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS	64
VII. CONCLUSIONES	66
VIII. TABLA DE ANEXOS	67
IX. REFERENCIAS	68

ABSTRACT

The increase in life expectancy, financing problems, mobility and displacement limitations in elderly, implies that the governments assume the growing demand for health services. This work proposes a System of Consolidation and Analysis of Biomedical Information (SICOBIO) from heterogeneous sensors installed in patients who are being cared at home. It can be used in early discharge programs, designed to decongest and reduce treatment costs in medical centers. The scalability and utility of the system was validated using real data and the Technological Acceptance Model (TAM), for its consolidation and analysis components.

RESUMEN

El aumento en la esperanza de vida, problemas de financiación, movilidad y limitaciones de desplazamiento en ancianos, implican que los gobiernos asuman la demanda creciente de servicios de salud. Este trabajo propone un Sistema de Consolidación y Análisis de Información Biomédica (SICOBIO) proveniente de sensores heterogéneos instalados en pacientes que están siendo cuidados en casa. Este sistema puede ser usado en programas de alta temprana, diseñados para descongestionar y disminuir costos de tratamiento en centros médicos. La escalabilidad y utilidad del sistema, se validó con datos reales y mediante el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM), para sus componentes de consolidación y análisis.

RESUMEN EJECUTIVO

El aumento en la esperanza de vida, problemas de movilidad en las ciudades, limitaciones de desplazamiento en personas de la tercera edad, contagio de enfermedades, congestión en los centros de atención debido a la falta de personal y equipo médico, y problemas de financiación de los servicios de salud, por alta informalidad en el empleo, generan la necesidad de idear herramientas tecnológicas que contribuyan con la solución a esta problemática. Para aliviar la congestión en los centros médicos, se han ideado programas de alta temprana, mediante los cuales, el paciente es enviado a casa a finalizar su tratamiento. Durante este tiempo, el paciente es visitado periódicamente por parte del personal de la institución prestadora del servicio de salud. En esas visitas, se miden señales como la temperatura, frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria, presión arterial, peso, actividad física, entre otras.

Frente a este modelo de atención, se ha planteado la necesidad de priorizar las visitas del personal, de acuerdo con el nivel de prioridad del paciente, y de mejorar la información disponible para el personal que lo cuida. Esto implica, que se deben encontrar alternativas de seguimiento remoto del paciente, mediante el seguimiento de algunas señales de interés, obtenidas automáticamente por sensores instalados en su cuerpo, u obtenidas manualmente, mediante la medición directa con algún dispositivo análogo¹. Frente a esta necesidad, se llevó a cabo una investigación sobre trabajos relacionados con la obtención y análisis de señales provenientes de pacientes remotos, para un adecuado seguimiento y control del riesgo. Los trabajos revisados, han empleado tecnologías para la obtención de señales, como las redes de sensores, sensores en teléfonos inteligentes, sensores con tecnologías propietarias y con usos específicos, sensores con capacidades de parametrización remota, teléfonos inteligentes como instrumentos para el envío de señales a servidores de procesamiento, entre otros. En estos trabajos, cada fabricante o investigador, se ocupó de resolver sus propias necesidades de obtención y transmisión de datos, y en algunos casos, incluso, del procesamiento y análisis de los mismos. Sin embargo, en ninguno de los trabajos se contempló la consolidación y homogenización de datos provenientes de dispositivos heterogéneos.

Frente a estos antecedentes, se descubrió la necesidad de generar un Sistema de Consolidación y Análisis de Información Biomédica proveniente de sensores heterogéneos (SICOBIO), el cual solucione la heterogeneidad de los formatos de intercambio de información, y de heterogeneidad de los datos. Este sistema sirve de plataforma para la ampliación de servicios de alta temprana, ideados para descongestionar los servicios de salud, y como un instrumento de seguimiento remoto de pacientes. Los datos que recién llegan del seguimiento remoto, son objeto de análisis síncrono (ligero), y los datos históricos, son analizados más exhaustivamente tanto a nivel individual del paciente, como a nivel del conjunto de pacientes.

¹ Por ejemplo, la presión arterial, la cual puede ser medida automáticamente, por algunos dispositivos, pero implica la fijación de algunos dispositivos invasivos al paciente.

El modelo de análisis, funciona en dos modos; un modo síncrono, que se ejecuta en el momento en que llega un nuevo dato al sistema y mediante el cual se hace un análisis síncrono (ligero) para identificar signos de alarma o de riesgo de la salud del paciente, y un análisis asíncrono (exhaustivo), que funciona por demanda, dado que procesa algoritmos de minería que son costosos en procesamiento y que por tanto son inviables para un análisis en casi tiempo real. Para el análisis síncrono (ligero), se ha usado lógica difusa para determinar el nivel de riesgo de un paciente, a partir de la combinación de determinadas señales de signos vitales o fisiológicas. Para el análisis asíncrono (exhaustivo), se han propuesto algoritmos de clasificación basados en densidad. Este análisis, sirve a dos propósitos distintos; por un lado, sirve a los médicos y cuidadores del paciente, para encontrar atipicidades en las lecturas de un mismo paciente, y para la toma de decisiones con base en los datos que les aportan estos descubrimientos; y de otro lado, sirve al personal administrativo y también médico, para descubrir fenómenos que pueden estar sucediendo en la población, mediante el análisis de datos en un conjunto de pacientes.

Las atipicidades encontradas por los mecanismos de análisis del sistema, deben ser gestionadas y entregadas a los distintos interesados, y para este propósito, se ha creado un componente de alertas que, dependiendo del nivel de riesgo del paciente, busca la tecnología de entrega más adecuada (SMS, Email, JMS, Bases de Datos). De esta forma, la red de cuidadores, puede estar enterado del estado de salud del paciente, y reaccionar con el nivel de urgencia correspondiente. Para mantener todo integrado, el sistema contiene un módulo de Alta Temprana en el que los administradores técnicos y funcionales, pueden efectuar la creación de usuarios, equipos, pacientes, personal médico, programas, asignación de equipos a pacientes, configuración de umbrales, etc. De esta manera, se tiene todo lo necesario para que el modelo de consolidación y análisis pueda ser implementado en ambientes productivos.

Para situaciones en las que no es viable, o no se cuenta con los equipos disponibles para el paciente, el personal médico y personal al cuidado del paciente, cuenta con una herramienta adicional desde la cual pueden reportar lecturas de todas las señales que consideren necesarias. El prototipo funcional de esta herramienta, se ha construido en Android, y puede ser instalada en un teléfono móvil que cuente con este sistema operativo. Esta APP, se integra al módulo de Alta Temprana, para la obtención de las señales y unidades aceptadas por el sistema, de manera que las lecturas obtenidas manualmente y reportadas por este medio, puedan ser integradas al sistema sin ningún problema.

Como resultado del proceso de construcción del prototipo, quedaron catorce componentes de software, cinco correspondientes al modelo de consolidación, ocho al modelo de análisis, y un componente independiente para Smartphone, que se integra al componente de consolidación (ver anexo 11). Así mismo, queda una máquina virtual, con toda la configuración del sistema funcionando, y las memorias de todos los procesos de integración realizados, que pueden servir como referencia para otros trabajos.

En general, se ha logrado modelar y construir un prototipo funcional de consolidación y análisis de información proveniente de sensores heterogéneos y remotos, que genera alertas basado en el análisis que el sistema hace sobre los datos de un paciente, y que está abierto para extender su funcionalidad a nuevos dispositivos remotos, a nuevos algoritmos de análisis, y a nuevas tecnologías de entrega de alertas.

I. INTRODUCCIÓN

El cuidado de la salud en casa, surge como una alternativa para mejorar la atención y seguimiento de pacientes. Este modelo de atención, puede facilitar la vida a pacientes de la tercera edad, quienes experimentan riesgos de caídas, altos costos de desplazamiento, inseguridad, problemas de movilidad, contagio de enfermedades, baja disponibilidad y calidad de servicios médicos[1], y debilidades en cuanto a sistemas de información [2], entre otros problemas relacionados con la prestación de servicios de salud [3]. Estas problemáticas son acrecentadas por el aumento de la demanda de servicios debido al incremento en la esperanza de vida de las personas[3], y problemas de financiación del sistema de salud [4]. Frente a esta situación, se propone un sistema de consolidación y análisis de datos biomédicos heterogéneos, provenientes de sensores instalados en pacientes remotos (SICOBIO), que han sido enviados a casa en programas de alta temprana, para continuar en observación y tratamiento por parte del prestador del servicio de salud.

El sistema SICOBIO está conformado por dos componentes; un componente de consolidación que resuelve problemas de heterogeneidad tanto de formatos, como de datos, y un componente de análisis que, mediante lógica difusa y algoritmos de segmentación, sirven de apoyo para que el personal médico y de cuidado del paciente pueda tomar decisiones. Se proponen tres estilos de análisis; un análisis síncrono para los datos reportados en casi tiempo real, un análisis asíncrono (exhaustivo), para los datos históricos, y un análisis del consolidado de datos de distintos pacientes. El primer análisis, permite generar alertas según el nivel de criticidad identificado y ajustar las prioridades en los itinerarios de visitas al personal que se encuentra al cuidado del paciente, el segundo análisis, sirve de apoyo a los médicos tratantes, para comprender la evolución del paciente a lo largo del tiempo, y en caso de ser necesario, recomendar ajustes al tratamiento. El tercer tipo de análisis, busca encontrar tendencias relacionadas con la enfermedad basadas en los datos obtenidos en un conjunto de pacientes.

Para sustentar la propuesta, se ha realizado un análisis de trabajos que proponen tecnologías para el seguimiento de pacientes, y a partir de los cuales se han identificado los cinco procesos que se describen en la figura 1.

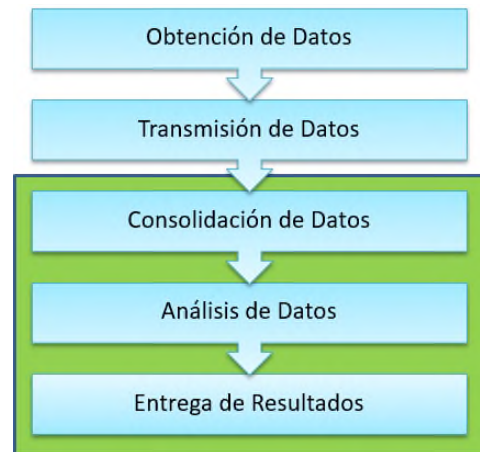


Figura 1: Procesos identificados para el seguimiento remoto de pacientes.

El primer proceso es la **obtención de datos** del paciente que puede ser soportado por herramientas como redes de sensores, sensores comerciales, sensores a la medida, y sensores instalados en teléfonos inteligentes. El segundo es el proceso de **transmisión de datos**, conformado por tecnologías necesarias para que los datos obtenidos en los sensores, puedan ser transmitidos a una central de procesamiento. Algunas tecnologías disponibles son: *GSM*, 3G, 4G, *WiFi*, *Bluetooth*, *ZigBee* y *wireless*. El tercer proceso es la **consolidación de los datos** obtenidos en los pacientes remotos. En este proceso, se deben construir los adaptadores para interpretar los formatos de cada fabricante, para homogenizar los datos de las lecturas que llegan en esos formatos y para separar la información de cada paciente. El cuarto proceso es el **análisis de datos**, en el cual se debe hacer la explotación informática para convertir los datos en información útil que pueda ser aprovechada por los distintos interesados en el cuidado de la salud de un paciente. El quinto y último elemento, es la **entrega de resultados** obtenidos del proceso de análisis. Este último proceso es muy importante, dado que se asegura de entregar los resultados del proceso de análisis a los distintos interesados en el cuidado de paciente. SICOBIO se centra en los procesos de consolidación, análisis y entrega de resultados.

Este trabajo se encuentra organizado en secciones así: inicialmente en la sección I, la introducción, en la sección II, la descripción del proyecto, en la sección III, el estado del arte, luego en la sección IV, se presenta SICOBIO, posteriormente en la sección V, se presenta el prototipo de la solución, en la sección VI, la validación realizada al sistema, y finalmente en la sección VII, las conclusiones y trabajo futuro.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

A. Problemática y oportunidad

Mejorar los sistemas de información [2], y garantizar el acceso a servicios de salud a los ciudadanos en condiciones de igualdad y calidad, son algunos de los desafíos actuales [1]. El aumento en la esperanza de vida [3], el incremento de la informalidad en el empleo, y un bajo porcentaje de aportantes a los fondos que sostienen los servicios de salud, ponen en riesgo la sostenibilidad del sistema [4]. De otro lado, el envejecimiento de las personas, produce un incremento en la demanda de servicios de salud. Las personas de la tercera edad deben incurrir en costos de desplazamiento, exponerse a situaciones de inseguridad, a la congestión en el transporte público, a riesgos de caídas, al contagio de enfermedades en los centros de atención [5],[6], y a largas esperas por la congestión que experimentan los centros de atención en salud.

En algunos casos, los pacientes que ingresan a centros de atención, no tienen la necesidad de permanecer hospitalizados, sin embargo, son dejados en salas de observación debido a que se debe mantener una vigilancia respecto a la evolución de sus signos vitales [7], situación que genera mayores costos al sistema [8], que si se hubiera enviado a casa con equipos para el seguimiento de signos vitales.

Para esta problemática se han ideado formas alternativas para mejorar el esquema de atención en salud, que aprovechan las recientes innovaciones tecnológicas, desarrolladas para el cuidado de la salud en casa [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25]. Países desarrollados como Francia y Australia, han implementado servicios para el cuidado remoto de la salud, apoyados en la tecnología [11], [23], [26]. Estos sistemas utilizan equipos para el seguimiento remoto de pacientes, a quienes se les instalan dispositivos sensores de signos vitales los cuales reportan las lecturas a centros de procesamiento donde pueden ser utilizados para el seguimiento y control por parte del personal médico [27].

Para las distintas necesidades de cuidado en casa, se han desarrollado diversos trabajos. Unos enfocados en la electrónica para la obtención y transmisión de datos [9], [13], [15], [16], [20] y otros enfocados en el análisis y procesamiento de datos [11], [19], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36]. Los trabajos revisados, muestran que la oferta de sensores no es muy amplia en cuanto a la cantidad de signos que se pueden monitorear, sin embargo, hay interés y muchas investigaciones en curso que permiten inferir una tendencia a aumentar la oferta de sensores y por tanto el número de enfermedades que pueden ser tratadas mediante tecnología para seguimiento remoto de pacientes. Empresas como *Fitbit*², *iHealth*

² <http://www.fitbit.com/>

*Lab*³, *MIR*⁴, *Activ8rlives*⁵, *OMRON*⁶, *NONIN*⁷, *A&D Medical*⁸, *BEURER*⁹, *Vitaphone*¹⁰, *Movisens*¹¹ entre otras, disponen de equipos para lectura de signos vitales, algunos de estos equipos, se integran con teléfonos inteligentes para la sincronización y envío de datos a sus propios servidores, otros producen directamente archivos con reportes de los datos obtenidos. En la práctica, estas tecnologías pueden ser utilizadas en conjunto por un mismo centro de atención en salud, situación que supone un desafío respecto a la consolidación y homogenización de los datos generados en las lecturas de las distintas señales fisiológicas, tomadas en distintos pacientes.

De acuerdo con lo anterior, se encuentra la oportunidad de construir SICOBIO, un Sistema de Consolidación y Análisis de información Biomédica proveniente de sensores heterogéneos (frecuencia respiratoria, frecuencia cardiaca, tensión arterial, temperatura, oximetría, actividad física y peso entre otros), que resuelva el problema de la heterogeneidad de los formatos de cada fabricante, el problema de la heterogeneidad de los datos obtenidos en las lecturas, y que garantice la consolidación de datos de cada paciente, para facilitar el análisis y apoyo a la toma de decisiones por parte de los profesionales de la salud y el apoyo a los pacientes y sus cuidadores.

B. Objetivo general

Definir un modelo y construir una solución informática para el análisis, generación y entrega de información de apoyo a la toma de decisiones, y su validación con datos obtenidos de pacientes remotos de la tercera edad con Neumonía Adquirida en la Comunidad (NAC).

³ <https://ihealthlabs.com/>

⁴ <http://www.spirometry.com/>

⁵ <http://www.activ8rlives.com/>

⁶ <http://www.healthcare.omron.co.jp/bt/english/index.html>

⁷ <http://www.nonin.com/>

⁸ <http://www.andonline.com/medical/>

⁹ <https://www.beurer.com/web/en/index.php>

¹⁰ <http://www.vitaphone.de/us-en/home.html>

¹¹ <http://www.movisens.com/en/>

C. Objetivos específicos

1. Diseñar un modelo de consolidación de información biomédica proveniente de sensores fisiológicos en pacientes remotos de la tercera edad con NAC.
2. Diseñar un modelo de análisis de información proveniente de pacientes remotos que genere y entregue alertas personalizadas y reportes para apoyar la toma de decisiones de los profesionales de la salud.
3. Construir un prototipo que implemente los modelos diseñados.
4. Efectuar la validación de los modelos implementados a partir de un caso de estudio dentro del programa de “Extensión Hospitalaria” del Hospital San Ignacio.

D. Fases de desarrollo

Para completar este proyecto, se definieron las siguientes fases las cuales se desarrollaron de manera iterativa.

Fase 1 - Rigor: Durante esta fase se realizó la búsqueda de trabajos relacionados con la problemática de los sistemas de salud, población de la tercera edad con NAC, y modelos tecnológicos para el seguimiento y cuidado de la salud en casa.

Fase 2 - Relevancia: Durante esta fase se documentaron los requerimientos que dan alcance a la oportunidad identificada y se verificó la aplicabilidad del sistema.

Fase 3 – Diseño y desarrollo del prototipo y validación: Durante esta fase se construyeron y validaron técnicamente los prototipos que conforman la solución.

Fase 4 – Validación con un caso de estudio: Durante esta fase se eligió un caso de estudio y se realizó la validación del sistema en conjunto con el área de Geriatria del Hospital Universitario San Ignacio, dentro del programa de “Extensión Hospitalaria”.

III. ESTADO DEL ARTE

A. Sensores para la obtención de señales biomédicas

En esta sección se revisa el grupo de trabajos para la obtención de señales biomédicas provenientes de pacientes remotos. La búsqueda de estos trabajos, se ha efectuado en bases de datos académicas especializadas como IEEE Xplore, EBSCO, SCOPUS, SpringerLink y Web of Science. Se tomaron en cuenta trabajos que fueron publicados en los últimos cinco años, de los cuales cerca del 60%, fueron publicados en los últimos tres. Se inició una exploración con palabras clave sobre las bases de datos y según las temáticas (problemática de los sistemas de salud, Neumonía Adquirida en la comunidad y tecnologías de sensores, sistemas de transmisión, procesamiento, análisis y generación de alertas), y luego de encontrar varios artículos

relacionados, de autores referenciados y con las más altas cualificaciones, se procedió a profundizar la búsqueda buscando otros trabajos relacionados, y siguiendo las referencias citadas en cada trabajo encontrado. Para el análisis, se construyó una matriz de caracterización, que facilitó la identificación de los criterios de clasificación (Anexo12¹²) mediante los cuales se evaluaron los trabajos.

En esta sección, primero se revisan trabajos básicos para obtención de signos vitales, luego se presentan trabajos que utilizan redes de sensores, posteriormente, trabajos que presentan aplicaciones prácticas para los sensores incorporados en teléfonos inteligentes y finalmente se presenta un cuadro comparativo de los distintos trabajos revisados.

1) Sensores de signos vitales

Se han desarrollado diversos sensores de signos vitales tanto a nivel investigativo, como con propósito comercial. Dentro de estos trabajos, encontramos un prototipo funcional no comercial, para el monitoreo de la presión arterial [9], y a nivel comercial, encontramos un módulo sensor de signos vitales inteligente (electrocardiograma, lector de pulso, temperatura corporal y movimientos) desarrollado por la empresa japonesa *Toshiba* [15], el cual además puede enviar las lecturas a un teléfono inteligente. Así mismo, existen empresas dedicadas a la venta de sensores fisiológicos *wearables*¹³ que se pueden llevar como parte del vestido o como accesorios en forma pulseras. Estos sensores miden distintas variables como el gasto de energía, los pasos realizados, niveles de conductancia de la piel y el ritmo cardíaco. Ejemplos de estas empresas son: *Fitbit*¹⁴ y *movisens*¹⁵. Al interés de las personas por hacer seguimiento a sus variables fisiológicas, se le ha llamado “*Quantified self*”. Alrededor de este concepto, hay trabajos recientes que abordan la problemática asociada con la gestión de información proveniente de sensores remotos [37].

2) Redes de sensores

Las redes de sensores inalámbricos (*WSN*) son otra tecnología que se viene desarrollando. Se trata de sensores distribuidos para monitorear condiciones físicas o ambientales. Las señales obtenidas del ambiente, son enviadas a un *Gateway* desde el cual se transmiten a un servidor para su análisis y procesamiento. Algunas aplicaciones de *WSN*, han sido pensadas para el monitoreo remoto de pacientes [10], y otras para obtención de señales biomédicas [17].

¹² Documento de trabajo matriz de caracterización de trabajos

¹³ Tecnologías que se llevan puestas, como una prenda o un complemento (<http://www.abc.es/tecnologia/informatica-hardware/20140107/wearables-complementos-201401071108.html>).

¹⁴ <https://www.fitbit.com/es/>

¹⁵ <http://www.movisens.com/en/>

Estas redes son especialmente útiles en el seguimiento, porque ayudan a validar el comportamiento de un paciente basado en sus hábitos. Por ejemplo, se puede verificar los horarios de comida, de ejercicio, de descanso y ocio. En caso de identificarse un cambio en dichos hábitos, se puede generar una señal de alerta o advertencia hacia su red de cuidadores.

3) Sensores en teléfonos inteligentes

Con la aparición de los teléfonos inteligentes, han surgido aplicaciones prácticas basadas en los sensores preinstalados en estos dispositivos. Algunas aplicaciones son: detección de caídas, malas posturas, problemas oculares e incluso la detección de problemas respiratorios [20]. Otros usos son: como instrumento para la transmisión de datos provenientes de sensores fisiológicos hacia servidores de procesamiento [13], como instrumento portátil de visualización de las señales de signos vitales obtenidas en sensores instalados en un paciente [16], y como herramienta para mejorar los tiempos de respuesta del personal médico en un servicio de urgencias, al permitir digitalizar los síntomas directamente en el sistema, en el mismo momento de la visita al paciente.

4) Análisis comparativo de sensores para la obtención de señales biomédicas

A continuación, se presenta un análisis comparativo de los distintos trabajos revisados en esta sección, y que fueron observados bajo los siguientes criterios:

- **Tipo de trabajo:** Clasifica al trabajo según si es un sensor biomédico para la obtención de señales de un paciente, una red de sensores, sensores incorporados en el teléfono inteligente o sensores con soporte de visualización en teléfonos inteligentes.
- **Protocolo:** Clasificación de los protocolos que usa el sensor para enviar los datos obtenidos.
- **Wearable:** Indica si el sensor puede hacer parte del vestido.
- **Signos Monitoreados:** Proporciona los datos de los signos vitales monitoreados por el sensor.
- **Gateway:** Dispositivo usado para obtener los datos del sensor y enviarlos a un componente de procesamiento o visualización.
- **Multiusuario:** Si el sistema es compatible con un entorno multiusuario.

Tabla 1: Comparativo de sensores para obtención de señales

Trabajo	Tipo de Trabajo	Protocolo	Wearable	Signos Monitoreados	Gateway	Multiusuario
[9] – 2010	Sensor Biomédico	ZigBee	NO (Brazaletes inflable)	Presión arterial	Coordinador en área local	NO

[13] - 2014	Sensores con visualización en <i>Smartphone</i>	WiFi	NO	Pulsioximetría, capnografía	<i>Smartphone</i>	NO (Base datos local)
[15] – 2013 Sensor Toshiba	Sensor Biomédico	Bluetooth	SI	ECG ¹⁶ , pulso, temperatura corporal, movimientos	<i>Smartphone</i>	NO
[16] – 2014	Sensores con visualización en <i>Smartphone</i>	WiFi, WiFly	NO	ECG, temperatura corporal	<i>Smartphone</i>	SI (Multipaciente)
[20] -2015	Sensores en <i>Smartphone</i>	WiFi, 4G, Bluetooth, Infrarojos	NO	Caídas, malas posturas, problemas oculares, Pulsioximetría	<i>Smartphone</i>	NO

De acuerdo con la tabla anterior (tabla 1), se puede observar que la mayoría de los trabajos, usan un *Smartphone* como *Gateway* entre el sensor y el sistema de procesamiento de los datos. Así mismo, se puede ver que no existen muchos sensores *wearables*. En cuanto a los protocolos, los trabajos presentan una relativa distribución, siendo común en varios trabajos el uso de *bluetooth* y *WiFi*. En cuanto a los signos vitales, es común el *ECG*, la pulsioximetría y la temperatura corporal. Es importante resaltar el potencial que tienen los sensores instalados en teléfonos inteligentes, los cuales pueden ser utilizados para la detección de caídas, malas posturas y problemas oculares [20]. En cuanto a la relación de estos trabajos con los cinco procesos propuestos en el comienzo de esta sección, podemos identificar que pertenecen principalmente al proceso de obtención y parcialmente al proceso de transmisión de datos.

5) Síntesis

En esta sección se revisaron trabajos para la obtención de señales de signos vitales, redes de sensores, sensores instalados en teléfonos inteligentes y al finalizar, un análisis comparativo de estos trabajos. Con esto, se han cubierto los procesos de **obtención** y **transmisión** de señales biomédicas, que constituyen el punto de partida de este trabajo. En el siguiente capítulo, se presentan trabajos más especializados que incluyen el envío de señales a un servidor de procesamiento y análisis.

B. Sistemas para el cuidado de la salud en casa

En esta sección se presentan trabajos especializados de telemedicina, sistemas de monitoreo para el hogar, sistemas para la obtención, transmisión y procesamiento de signos vitales, siste-

¹⁶ Electro Cardiograma

mas de análisis para el apoyo a toma de decisiones, sistemas de generación de alertas y finalmente, un análisis comparativo de estos trabajos.

1) Sistemas de telemedicina

Los sistemas de telemedicina son utilizados para el monitoreo y seguimiento remoto de pacientes. Algunos trabajos revisados, están enfocados en enfermedades cardiacas para las cuales el paciente tiene instalado un marcapasos o un desfibrilador automático y son monitoreados mediante sistemas de vigilancia remota satelital [26] [11]. En estos trabajos, los datos obtenidos del paciente, son transmitidos a una central de servicios en donde son procesados y analizados por parte del personal médico. Allí se puede efectuar una detección temprana de arritmias, se puede transmitir una orden hacia el dispositivo para ajustar determinado parámetro (por ejemplo el ritmo cardiaco) [25], o simplemente mejorar la calidad del diagnóstico.

En estos sistemas, la transmisión de los datos hacia la central, se hace de dos formas. Los datos usuales, son transmitidos en *batch* una vez al día; y los datos inusuales de acuerdo con la parametrización del sistema, se transmiten en casi tiempo real para garantizar la oportuna reacción del personal de apoyo.

Para enfermedades crónicas y de tratamiento más complejo, se están desarrollando sistemas como *Home Hemodialysis Technology (HHT)* [21] que permiten la limpieza de exceso de fluidos en sangre y purificación de agua mediante equipos que el paciente puede tener consigo en la casa. Estas tecnologías, evitan desplazamientos innecesarios y permiten tratamientos que antes solo eran posibles dentro de las instalaciones de un hospital.

2) Sistemas de monitoreo para el hogar

Como complemento a los sistemas de seguimiento remoto de pacientes, se vienen desarrollando tecnologías para el monitoreo del hogar [18]. Estos sistemas, identifican patrones de comportamiento en las personas, y con el tiempo puede inferir comportamientos inusuales para la generación de mensajes de recordatorio, advertencia o peligro [28]. Otros sistemas estudiados, hacen uso de la tecnología celular y los Smartphone, para realizar un monitoreo remoto del hogar [14].

3) Sistemas de obtención, análisis y toma de decisiones

Estos trabajos ofrecen una perspectiva más amplia de un sistema de cuidado en casa debido a que se ocupan tanto de la obtención y transmisión de los datos, como de su análisis y procesamiento. Para la obtención de señales de signos vitales, se están desarrollando tecnologías *wearables* que le permitan al paciente pasar desapercibido de que cuenta con un sistema de monitoreo [22]. Estos sistemas obtienen los datos y los remiten mediante un *Gateway* hacia un servidor central de procesamiento [19]. Estas tecnologías aún plantean desafíos importantes como la falta de aceptación por parte de los pacientes, la corta vida útil de las baterías y la problemática alrededor de la seguridad de los datos.

Para el cuidado de algunos pacientes, es necesario disponer de canales de comunicación redundante que garanticen que las señales de alerta, lleguen a sus destinatarios y se pueda asegurar

una reacción inmediata. En este sentido, se han desarrollado prototipos [29] de sensores *ECG* (Electrocardiograma), *SPO2* (Saturación de Oxígeno Arterial), temperatura y presión arterial. Que reportan datos a un ordenador central para el diagnóstico de enfermedades crónicas. El sistema usa dos canales dependiendo del tipo de información que va a transmitir. Si se va a transmitir información de lecturas normales, el sistema usa la red de datos estándar; pero si el sistema identifica lecturas por fuera del rango normal, usa la red *GSM/GPRS* para el envío de mensajes de alerta hacia los servicios de emergencia, cuidadores y familiares del paciente.

En cuanto al análisis de datos, se han estudiado un conjunto de artículos que presentan resultados, tanto en el análisis sincrónico de datos, como del análisis asincrónico. En estos trabajos, se aplican técnicas de minería de datos para el análisis de los datos obtenidos en pacientes. En [32], presentan la aplicación de un algoritmo de clúster *K-Means* para el análisis de bases de datos con información médica de pacientes con cáncer. En [34], se presenta un análisis comparativo de algunos algoritmos de clúster (*DBSCAN*, *K-Means*, and *Quadratic Variation*) basados en densidad, para el análisis en pacientes con dificultades para deglutir. En [35], presentan cómo los administradores pueden usar nuevas técnicas de minería para la resolución de problemas relacionados con los riesgos individuales de contraer neumonía nosocomial.

En [36], presentan un estudio sobre la evaluación de la eficacia de las herramientas de soporte de decisiones, en la reducción de prescripción de antibióticos para las infecciones del tracto respiratorio en la atención primaria. en [33], presentan una investigación sobre la utilidad de los algoritmos de clasificación, clúster, asociación y regresión en el cuidado de la salud. Plantean la utilidad de técnicas de minería predictiva, para identificar a pacientes que se encuentren en alto riesgo de enfermar, para validar distintas opciones de tratamiento y ayudar a identificar cuáles resultan más efectivos.

Otras técnicas estudiadas para el análisis de datos, se basan en la aplicación de lógica difusa [31], y en la utilización de motores de reglas en los cuales los médicos fijan los parámetros del sistema de acuerdo con cada paciente [23]. Cuando el sistema de monitoreo detecta señales que sobrepasan los umbrales configurados, el sistema puede generar alertas, y reportes de calificación de riesgo del paciente, o generar cambios en el flujo de trabajo diseñado para su cuidado. Para disminuir errores en los diagnósticos médicos y mejorar la efectividad en los tratamientos [27], se pueden realizar análisis asíncronos basados en datos obtenidos en determinados intervalos de tiempo, o información proveniente de la historia clínica del paciente. Éstas técnicas se pueden aplicar también, como herramienta de ayuda para los procesos de planeación de políticas de salud tendientes a la reducción de costos [8].

El objetivo de estos trabajos es presentar información de utilidad a los profesionales de la salud para que tengan cómo evaluar y ofrecer recomendaciones de tratamiento, o ajustes de parámetros [26], y que el paciente pueda llevar una vida independiente mientras recibe atención y seguimiento remoto.

4) Sistemas de generación de alertas

Luego que los datos son consolidados y analizados y se han convertido en información útil, pueden ser pasados por sistemas de reglas que encuentren condiciones inusuales susceptibles

de ser notificadas a los interesados en el cuidado de la salud de un paciente. Estos sistemas de generación de alertas, existen tanto intrahospitalarios como extra hospitalarios.

Un sistema de monitoreo intrahospitalario puede generar señales de alerta cuando los instrumentos de monitoreo detectan signos anormales. Para mejorar los tiempos de reacción del personal, la entrega de estas alertas se puede hacer de forma inmediata mediante *SMS*. Estos sistemas se pueden integrar con otros sistemas mediante formatos estándar de intercambio de información como el *Health Level Seven (HL7)*¹⁷, utilizado en [30] para el intercambio de información con otros sistemas interhospitalarios.

Para el seguimiento de pacientes en una unidad de cuidado intensivo, en [31] plantean un sistema de generación de alertas basado en lógica difusa, que las envía a dispositivos móviles o computadores personales de los médicos que se encuentran al cuidado del paciente. Mediante este sistema, lograr priorizar a los pacientes que realmente necesitan estar en estas camas y mejorar la disponibilidad del servicio para otros pacientes que están esperando ingresar al servicio.

Para el seguimiento extra hospitalario de pacientes, se han ideado sistemas basados en redes de sensores que de forma pasiva monitorean patrones de comportamiento y actividad. Los cambios de comportamiento detectados generan alertas que luego de ser analizadas permiten la identificación temprana de problemas de salud de modo que se pueda atacar la enfermedad antes de que se convierta en catastrófica. Las alertas son analizadas y calificadas por profesionales de la salud, respecto a su relevancia clínica, y luego determinan si la alerta es buena o mala [24].

5) Análisis comparativo de sistemas para el cuidado de la salud en casa

A continuación, se presenta un análisis comparativo de los trabajos revisados en esta sección que cumplen con la mayoría de los siguientes criterios:

- **Transmisión tiempo real:** Indica si el sistema tiene soporte para transmisión en tiempo real o en *batch*.
- **Protocolo:** Clasificación de los protocolos que usa el sensor para enviar los datos obtenidos.
- **Wearable:** Indica si el sensor puede hacer parte del vestido.
- **Signos monitoreados:** Proporciona los datos de los signos vitales monitoreados por el sensor.
- **Gateway:** Consiste en el dispositivo usado para obtener los datos del sensor y enviarlos a un dispositivo de procesamiento o visualización.
- **Consolida datos de terceros:** Si el sistema está habilitado para consolidar y homogenizar datos de terceros.

¹⁷ <http://www.hl7.org/>

Sistema de Análisis de Información: Si el sistema contiene un servidor que efectúe procesamiento y análisis de la información recolectada.

Tabla 2: Comparativo sistemas para el seguimiento remoto de pacientes

Trabajo	Transmisión Tiempo Real	Protocolo	Wearable	Signos Monitoreados	Gateway	Consolidada Datos Terceros	Análisis de Info.
[26] - 2011	SI Y Batch Cada 24 Horas	Wireless GPRS/ GSM/SMS	SI (Implante)	Ritmo Cardíaco (Desfibrilador / Marcapasos)	CardioMessenger (BIOTRONIK Alemania)	NO	SI
[11] - 2009	SI Y Batch Cada 24 Horas	Wireless GPRS/ GSM/SMS	SI	Ritmo Cardíaco (Desfibrilador / Marcapasos)	CardioMessenger (BIOTRONIK Alemania)	NO	SI
[25] - 2013	SI y Batch	Bluetooth/ ADSL/GSM /GPRS /SMS	NO	Chronic Heart Failure (CHF)	Computador Personal	NO	SI
[28] - 2014	SI	Bluetooth / WiFi	NO	(Simulados) Presión arterial, frecuencia respiratoria, pulso, temperatura y saturación de oxígeno	SMA (Sistema multiagentes)	NO	SI
[19] - 2015	SI	WiPort Wireless Ethernet (WLAN)	NO	Temperatura / Tensión Sanguínea	Wireless Ethernet	NO	NO
[29] - 2014	SI Y Batch (Estudio comparativo de tecnologías)	GSM/GPRS	NO	Temperatura y presión arterial	Mobile-Care Unit	NO	SI
[23] - 2010	NO Diseño de Sistema Soporte a toma de decisiones	Internet	NO	Enfermedad Crónica Obstructiva Pulmonar, Insuficiencia Cardíaca Congestiva	Phone	NO	SI
[27] - 2006	NA Sistema para generar sugerencias de tratamiento.	NA	NO	Dyslipidemia (Enfermedades Crónicas)	NA	-	SI

[30] - 2009	SI	SMS HL7	NA	Resultados de Laboratorio	NA	NO	SI
[24] - 2014	SI	Infrarrojo	NA	Detección temprana de Enfermedades en adultos mayores	Red de Sensores.	NO	SI
[31] - 2011	SI	SMS, Email	NA	Mean blood pressure, systolic, blood pressure, diastolic blood pressure and oxygen saturation	NA (Aplicado en una Unidad de Cuidado intensivo)	NO	SI

En la tabla 2, se puede observar que existen *Gateway*, de tecnologías propietarias como el *CardioMessenger* de origen alemán y de tecnologías abiertas como equipos celulares basados en *Android*, computadores portátiles y las mismas redes de sensores. Se puede ver que los protocolos de comunicación móvil se usan para aquellos sistemas en los que la transmisión de la señal es crítica como los *ECG* y marcapasos. La mayoría de trabajos tienen transmisión en tiempo casi real y solo pocos trabajos son *wearables*. En cuanto a los signos monitoreados, se pueden observar marcapasos, desfibriladores, equipos para detectar falla crónica del corazón y presión arterial.

Se pudo advertir también que todos los trabajos consolidan datos y formatos propietarios, pero ninguno consolida datos de tecnologías de terceros. Y es precisamente en este punto en el que se centrará el siguiente capítulo de este trabajo.

6) Síntesis

En esta sección se revisaron trabajos de telemedicina, sistemas para el monitoreo de la salud en el hogar, para la obtención y análisis de señales, de apoyo a la toma de decisiones, y de generación de alertas. Al finalizar se presentó un análisis comparativo de las distintas soluciones. De este análisis, se evidencia que cada uno de estos trabajos han implementado por su cuenta los procesos de obtención, transmisión, consolidación, análisis y generación de alertas, lo que deja abierta la necesidad de una solución de consolidación de datos heterogéneos, provenientes de soluciones igualmente heterogéneas.

Los avances tecnológicos y el interés por el seguimiento extra-hospitalario de pacientes, es un tema en auge encaminado a encontrar un modelo de atención eficaz. Para lograr esta eficacia, no basta con disponer de la tecnología necesaria para la obtención y transmisión de señales por separado, sino que hace falta una integración de datos, lo más cercana al tiempo real, que permita a los profesionales de la salud tomar decisiones rápidas, basados en una vista integrada y cronológicamente articulada de los datos de un paciente, que les evite recurrir a distintas fuentes de información para la obtención y consolidación de información de apoyo. En el siguiente capítulo, se presenta la arquitectura y los modelos de consolidación y análisis de información.

IV. SISTEMA DE CONSOLIDACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS - SICOBIO

El objetivo de este sistema, es permitir la integración, consolidación y análisis de datos biomédicos provenientes de dispositivos heterogéneos y remotos. Para cubrir este objetivo, el sistema debe resolver los requerimientos de consolidación y análisis, consignados en el documento Anexo 1, y que buscan resolver los siguientes puntos:

1. La heterogeneidad de formatos: Es la capacidad del sistema para resolver el formato en el que vienen encapsulados los datos provenientes de los pacientes. Estos pueden presentarse en formatos *JSON*, *XML*, *CSV*, entre otros. Estos formatos, pueden entregar uno o varios datos a la vez, y el sistema debe estar en capacidad de procesarlos.
2. La heterogeneidad de los datos: Es la capacidad del sistema de identificar las unidades en las que vienen los datos, y convertirlos a las unidades aceptadas por el sistema. Esto para asegurar la homogeneidad de los datos que serán procesados en el modelo de análisis.
3. Permitir la integración de datos: Es la capacidad para integrar distintas señales, tanto de signos vitales, como de actividad física, provenientes de servidores remotos, teléfonos inteligentes, o cualquier otra aplicación que sea integrable al servidor mediante la generación de un adaptador y la aceptación de los contratos que le exige el sistema.
4. El análisis de datos: Es la capacidad del sistema de realizar análisis tanto síncronos (ligeros) como asíncronos (exhaustivos) sobre los datos recibidos, y establecer el nivel de riesgo del paciente.
5. Generar alertas a partir de los datos analizados: Dependiendo del nivel de riesgo del paciente, el sistema debe generar y entregar la alerta correspondiente a los interesados, y con la prioridad y medio de entrega que le corresponda.
6. Almacenamiento y recuperación de datos: Es la capacidad de persistir los datos consolidados, y brindar las facilidades para su posterior recuperación.
7. Garantizar la seguridad de los datos: Es la capacidad para asegurar que solo los interesados y autorizados en la información del paciente, tengan acceso a la información.

El análisis de trabajos relacionados permitió evidenciar que no existe un sistema que permita de manera integrada lograr la consolidación de datos heterogéneos y el análisis para fortalecer el cuidado en casa de los pacientes, garantizando los siete requerimientos planteados previamente. Adicionalmente, los modelos de análisis vigentes no incorporan de manera conjunta los análisis síncronos y asíncronos para beneficiar el correcto seguimiento al paciente.

A. Arquitectura

1) Esquema general de la solución

La figura 2, presenta el esquema general de la solución propuesta para el seguimiento y cuidado de la salud de pacientes en casa. Del esquema propuesto es importante diferenciar dos bloques; el bloque “A. *Medios Para cuidado en Casa*”, representa a los pacientes en su hogar, con sus

distintos dispositivos de seguimiento, y los diferentes protocolos que pueden tener estos equipos, para la transmisión de las lecturas al servidor. En algunos casos, los datos pasan primero por el servidor de un tercero (usualmente el fabricante del equipo), y de allí, deben ser tomados para su integración y consolidación en el sistema. El bloque de la derecha “*B. Consolidación y Análisis*”, representa el sistema de consolidación y análisis SICOBIO en el cual se centra este trabajo. Está compuesto por interfaces que se integran a servidores de terceros para recuperar los datos de las lecturas que previamente se han sincronizado, y por interfaces que de manera directa reciben las señales que pueden ser remitidas por teléfonos inteligentes, o incluso por los propios equipos de lectura, siempre que estos tengan manera de conectarse al servicio. Una vez que los datos se han consolidado en el servidor, el control pasa al servidor de análisis y alertas. En este componente, se llevan a cabo dos tipos de análisis, análisis ligeros para identificación temprana de signos de riesgo, y análisis asíncronos (exhaustivos), sobre datos particulares de cada paciente, o sobre el conjunto de datos de varios pacientes. En caso de que el paciente presente riesgo, el sistema notifica una señal de alerta al grupo de personas responsables de su cuidado.

Es importante resaltar que para que un paciente inicie su cuidado en casa, debe contar con el concepto médico, la autorización del responsable del paciente, y de su familia (ver Anexo 3, ítem d). Una vez se tenga este consentimiento, se registran en el sistema los datos del paciente, los datos de los sensores mediante los cuales se le va a monitorear, y los datos de las personas que conforman su red de cuidadores. Cumplido este registro, el paciente es enviado a casa, para que continúe con su proceso de recuperación, apoyado en el seguimiento remoto por parte de la institución a cargo de su cuidado¹⁸.

¹⁸ Se identificaron dos programas para este seguimiento. Alta temprana bajo la responsabilidad del Hospital Universitario San Ignacio (HUSI), y Alta temprana bajo la responsabilidad de la Empresa Prestadora de Servicios de Salud (EPS). Más detalles sobre estas modalidades, se pueden encontrar en el Anexo 3.

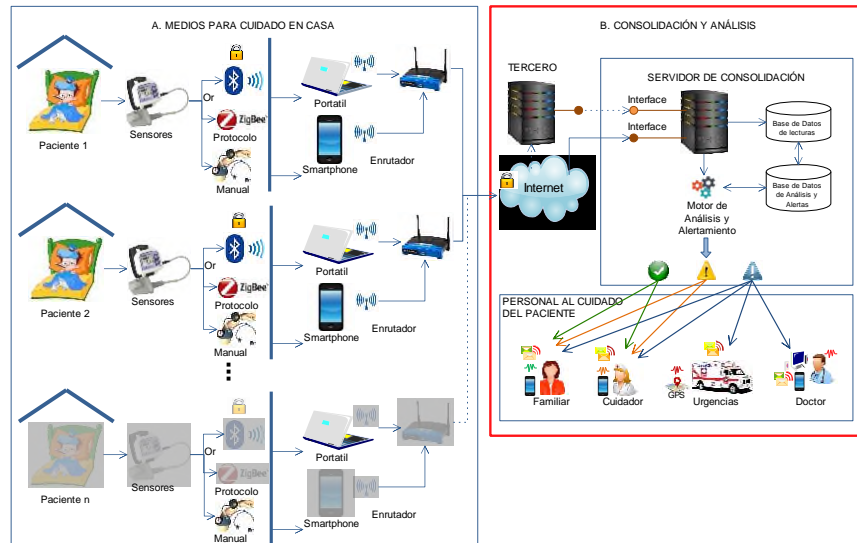


Figura 2: Esquema de un sistema de apoyo al cuidado de la salud en casa.

2) Arquitectura técnica

SICOBIO se ha diseñado bajo una arquitectura orientada a capas (Figura 3). La capa de obtención, representa a los dispositivos y componentes que obtienen y transmiten los datos del paciente. La capa de consolidación, contiene los componentes que procesan los datos recibidos del componente de obtención, y el componente de análisis, que contiene los componentes el análisis de los datos.

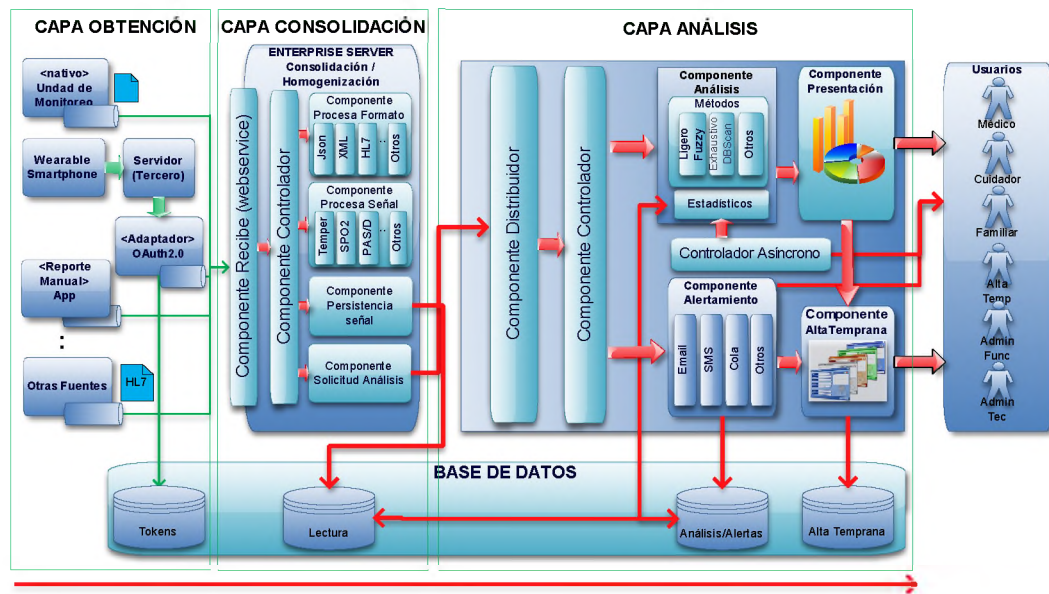


Figura 3: Modelo de Consolidación y Análisis de SICOBIO

Para resolver el problema de consolidación y análisis, se ha propuesto el modelo de la Figura 3. Este modelo se lee de izquierda a derecha, y presenta el flujo de los datos desde la obtención, consolidación, análisis y resultados presentados a los interesados. La obtención de los datos se puede lograr mediante la utilización de sensores, fisiológicos *wearables*, sistemas de monitoreo especializados, sensores en teléfonos inteligentes, o información registrada manualmente. Algunos sensores estudiados envían los datos de las lecturas hacia servidores propietarios desde los cuales se deben descargar para su consolidación y análisis.

Para la consolidación de los datos, se construyó un componente que exige unas condiciones específicas (cumplimiento de un contrato) a las cuales se deben adherir los interesados en integrar datos al sistema. Cuando llega un nuevo dato, el servicio que lo recibe lo remite a un controlador de recepción en el cual se identifica el formato de origen del dato, y se instancian las estructuras apropiadas para su tratamiento. Luego de obtenido el dato o el conjunto de datos, el sistema identifica el tipo de señal al que pertenece cada dato, y ejecuta las tareas de homogenización y validación, para garantizar que los datos se encuentren en las unidades aceptadas por el sistema. Luego de completados estos pasos, el sistema persiste los datos en la base de datos y envía un mensaje de solicitud de análisis, al componente de análisis.

El componente de análisis, recibe la notificación con los detalles de los datos procesados y dependiendo de la configuración de señales que reciba, instancia el método de análisis más apropiado; por ejemplo, si se recibe una combinación de datos de presión arterial sistólica y de oximetría, instancia el análisis basado en lógica difusa. Los métodos de análisis con que cuenta el sistema, han sido catalogados así:

- **Análisis síncrono (ligero):** con el cual se identifican señales de riesgo y se generan alertas que son enviadas al componente de alertas, para que éste la entregue a los interesados. Aquellas señales de cuyo análisis no se generen alertas, son guardadas en el sistema, para mantener el registro de los datos procesados por el sistema y para alimentar posteriormente el método de análisis asíncrono.
- **Análisis asíncrono (exhaustivo):** Este análisis se puede hacer sobre la información consolidada de varios días de un paciente, o sobre la información consolidada de muchos pacientes. En el primer caso, es útil para que el médico tratante, pueda verificar la evolución del paciente respecto al tratamiento dado, y en el segundo caso, puede ayudar a comprender fenómenos relacionados con la enfermedad. Esta información está disponible desde el componente de presentación.

El controlador de alertas, recibe la alerta, identifica y recupera los datos de los interesados en recibir la notificación según el nivel de urgencia (Alto, Medio, Bajo), instancia el componente especializado en la entrega de la alerta según el nivel de riesgo, y la envía. Así, por ejemplo, para un nivel de urgencia Alto, se instancia el componente de entrega de alertas por SMS, para un nivel de urgencia Medio, se instancia el componente basado en el correo electrónico, y para un nivel de urgencia Bajo, se instancia el componente de persistencia de alertas, para una revisión asincrónica posterior por parte de los interesados.

Toda la configuración del sistema, como datos de pacientes, médicos, cuidadores, equipos, unidades de medida, patologías, programas y usuarios del sistema y lecturas estandarizadas y clasificadas, se encuentran en el componente de alta temprana.

A continuación, se presentan los componentes que conforman cada una de las capas del sistema y una descripción de sus responsabilidades:

- **Capa de obtención:**
 - **Componentes nativos:** Se encargan de transmitir los datos al servicio de consolidación en su formato nativo (el servidor debe tener el componente de procesamiento del formato correspondiente).
 - **Componentes adaptadores:** Se encargan de conectarse a servidores de terceros, recuperar la información de las lecturas de un dispositivo instalado en un paciente, y transmitirlo al servicio de consolidación¹⁹.
 - **Componentes de reporte manual:** Encargados de registrar manualmente las lecturas efectuadas por cuidadores con dispositivos que no están conectados, y transmitirlas al servicio de consolidación.
- **Capa de consolidación:**
 - **Componente de recepción de datos:** Servicio web encargado de recibir el mensaje en el formato original.

¹⁹ Algunos proveedores mantienen cerrados los protocolos de transmisión de datos de sus dispositivos sensores, y e limitan a dar acceso a la información una vez consolidada en sus propios servidores.

- Componente Controlador: Encargado de resolver el tipo de formato del mensaje y de pasarlo al componente adecuado para su procesamiento.
- Componentes de procesamiento de formatos: Encargado de procesar el formato correspondiente.
- Componente de procesamiento de datos: Encargado de recuperar los datos del formato procesado, y aplicar la homogenización y validación correspondiente.
- Componente de persistencia de datos: Encargado de persistir los datos homogenizados y validados.
- Componente de envío de solicitudes de análisis: Encargado de enviar un mensaje al componente de análisis, con los detalles del dato o conjunto de datos que se han procesado.
- Capa de análisis:
 - Componente de Distribución: Encargado de recibir los mensajes de solicitud de análisis que llegan desde el componente de consolidación, y pasarlos al componente controlador.
 - Componente controlador: Encargado de determinar el tipo de análisis síncrono (ligero) que se puede aplicar a los datos que se reciben.
 - Componente controlador asíncrono: Encargado de controlar y disparar los procesos asíncronos de análisis de datos.
 - Componentes de análisis de datos: Encargado de ejecutar los análisis de datos síncronos y asíncronos (ligeros y exhaustivos) y de generar la calificación del nivel de riesgo del paciente.
 - Componente de alertas: Encargado de enviar las alertas según el nivel de riesgo del paciente y transmitirla por el canal más adecuado, según la urgencia.
 - Componente de presentación de datos: Encargado de mostrar amigablemente, el resultado de los análisis de datos.
 - Componente de alta temprana: Encargado de registro de los procesos de alta temprana, y de mantener la configuración del sistema (médicos, cuidadores, equipos, usuarios, etc).

3) Flujo del proceso

A continuación, se explica con mayor detalle los procesos de consolidación y de análisis del sistema (Figura 4 y Figura 5).

a) Proceso de consolidación

El proceso inicia cuando es invocado el servicio *recibe* del servidor de Consolidación, el cual dispara una actividad “*Recibir Mensaje*”. En esta actividad se identifica el tipo de mensaje que se ha recibido, y se invoca a la fábrica que instancia al objeto que sabe interpretar el formato del mensaje (Figura 4). Con la instancia del objeto interpretador, se determina el tipo de dato que viene en el mensaje, y se invoca la fábrica que instancia al objeto que interpreta el formato del dato. En caso que el mensaje contenga más de un dato, el proceso de instanciación, se repite por cada uno de los registros que contenga el mensaje. Finalmente, y luego de haber identificado los formatos y tipos de datos, el sistema

procede con las tareas de homogenización, validación y persistencia de datos. Los datos que estén dentro de los rangos esperados por el conector, se marcan como normales, y los que no, se marcan como atípicos. Después de esta marcación, cada dato se escribe en la base de datos y se agrega a un objeto “mensaje²⁰”. Cuando se ha finalizado de procesar todos los datos, el “mensaje” es enviado a una cola JMS del componente de análisis.

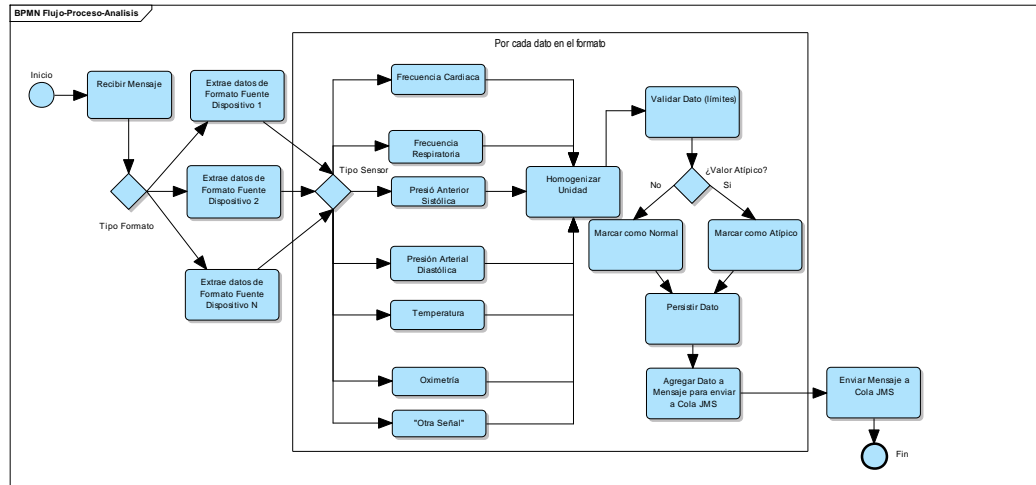


Figura 4: Flujo del proceso de consolidación de un dato

b) Proceso de análisis

El flujo de análisis presentado en la figura 5, inicia cuando se recibe un mensaje desde el componente de consolidación. Este mensaje se pasa al controlador de recepción de mensajes, quien se encarga de determinar mediante los datos contenidos en el mensaje, y la configuración previa de seguimiento que se encuentra registrada en el sistema, el tipo de análisis que se le puede aplicar al conjunto de datos recibidos. Por ejemplo, si el sistema recibe una combinación de señales de PAS y SPO2, y adicionalmente había una configuración de seguimiento sobre estos dos signos para este paciente, el sistema ejecuta un análisis síncrono (ligero) mediante lógica difusa. En caso de que los datos recibidos no correspondan con una combinación previamente configurada, o que el proceso de análisis no genere ninguna alerta, los datos de la señal son persistidos para un análisis posterior o asíncrono. Cuando se produce un análisis síncrono, si el sistema determina que existe riesgo sobre la salud del paciente, genera una alerta y la envía al controlador de alertas, quien, dependiendo del nivel de riesgo de la alerta, determina el canal más adecuado mediante el cual debe ser entregada. Así, por ejemplo, una alerta de nivel crítico o alto, debe ser enviada como un SMS, y una alerta de nivel medio o bajo, puede ser enviada al correo electrónico. Todas las alertas generadas son persistidas, para verificaciones y análisis posteriores.

²⁰ Este objeto es distinto al objeto del mensaje original que se recibe en el servicio.

Los procesos de análisis asíncrono diseñados para el seguimiento tanto individual como de la población, pueden ser generados a demanda desde el componente de Alta Temprana. Con el seguimiento individual de pacientes, los cuidadores pueden identificar alertas y sus calificaciones de riesgo, el comportamiento día a día de las señales monitoreadas, comparativos semanales de las últimas lecturas con respecto a las primeras, comparativos de las lecturas con respecto a los valores mínimos y máximos especificados por los especialistas, y la identificación de atípicos en las lecturas de las señales monitoreadas. Esto último, gracias a la implementación de un algoritmo de segmentación basado en densidad. Con el seguimiento a la población, se puede identificar atípicos mediante técnicas estadísticas que utilizan las variables de edad y género del paciente, con respecto a determinado signo, y la identificación de atípicos basado en técnicas de minería, en este caso, mediante el uso de algoritmos de segmentación basados en densidad.

El modelo de análisis propuesto, se ha diseñado de manera que pueda ser extendido a otros algoritmos de análisis, para lo cual el modelo general, se basa en componentes abstractos que pueden ser extendidos. El desarrollador solo debe implementar sus códigos adherido a los contratos que le impone el sistema mediante un archivo .jar que se distribuye. La instalación de los nuevos algoritmos de procesamiento, solo requieren de una configuración básica en uno de los archivos de configuración del sistema. Para este componente, nuevamente se ha usado la técnica de inyección de dependencias y el principio abierto cerrado [38], con el que se logra escalar la funcionalidad del sistema, sin tener que hacer cambios en código.

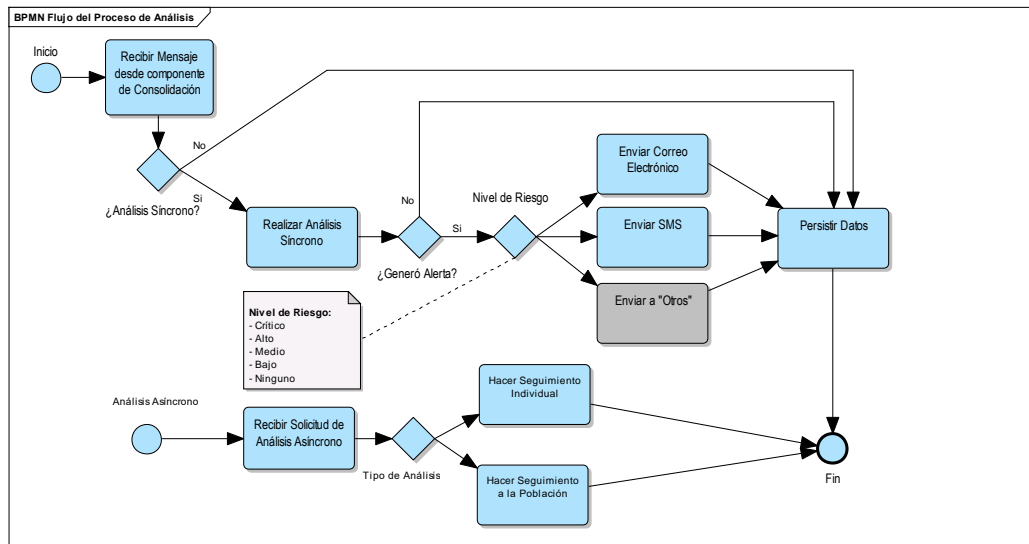


Figura 5: Flujo del proceso de análisis de un dato

B. Modelo de consolidación

A continuación, se presenta en detalle la forma como el sistema de consolidación resuelve la heterogeneidad de dispositivos y la heterogeneidad de datos.

1) Solución a la integración de nuevos dispositivos

Para resolver el problema de integración con tecnologías de terceros, primero se van a presentar dos escenarios en los que se aplica esta configuración:

Un primer escenario corresponde al caso en el cual los datos pasan por el servidor de un tercero (**Figura 2**), antes de ser entregados a SICOBIO. Estos terceros²¹, usualmente obtienen los datos de los sensores, y los transmiten a un teléfono inteligente, el cual debe contar con una aplicación que los recibe (usualmente propietaria del proveedor del sensor), y de ahí, esta aplicación envía los datos a un servidor central. Para acceder a los datos cargados en dicho servidor central, se debe contar con un conector que puede estar instalado en el mismo servidor de consolidación (o en cualquier otro servidor que se pueda comunicar con el servidor de consolidación). Este conector se encarga de obtener las concesiones de acceso, solicitar los datos, y pasarlos al servicio de consolidación. Una vez el servicio de consolidación recibe el mensaje, busca un adaptador para que interprete el contenido del mensaje. Los mensajes pueden llegar en formatos *JSON*, *XML*, texto plano, etc.

Un segundo escenario, se da cuando el servicio de consolidación, recibe un mensaje directamente desde un cliente, que puede ser un Smartphone, un pc o cualquiera otro dispositivo en capacidad de invocar servicios web. Al igual que para el caso anterior, el servicio de consolidación, busca un adaptador para que interprete el contenido del mensaje, y lo pase al formato aceptado por el servidor de consolidación.

Para que el sistema pueda integrar cualquier tecnología, el servidor de consolidación, se ha diseñado para que permita acoplar adaptadores de distintas tecnologías. El requisito para que funcione el sistema, es que estos adaptadores se hayan registrado previamente en los metadatos del *componente de consolidación*, para que éste los pueda instanciar cuando se reciba un mensaje que requiera ser procesado con ese conector. Para la construcción del componente de consolidación, se utilizó un *Abstract Factory* [39] que instancia la fábrica concreta correspondiente, la cual, a su vez, conoce qué objetos concretos instanciar. Una vez que se tienen las instancias, estas se vinculan al proceso mediante la técnica de inyección de dependencias [40]. Con esto se garantiza que el sistema cumple con el principio abierto cerrado [38], bajo el cual los sistemas deben estar abiertos para su extensión, y cerrados para su modificación.

2) Solución a la heterogeneidad de los datos

Luego que el sistema ha resuelto el formato en el cual vienen los datos y lo ha pasado al formato aceptado por el servidor de consolidación, cada uno de los datos recibidos, es procesado individualmente. Por cada dato, el servidor busca el adaptador correspondiente, instancia los objetos que saben procesar el dato y los pone en el proceso mediante una inyección de dependencias

²¹ www.fitbit.com.co

[40]. Estos objetos deben adherir a un contrato que les obliga a implementar los métodos de homogenización y validación de los datos [41].

La homogenización se encarga de asegurar que el dato siempre se guarde en una misma unidad de medida (por ejemplo, si se está midiendo la temperatura, se debe asegurar que el dato siempre se guarde en grados Celsius, independiente que la medida haya llegado en grados *Fahrenheit* o *Réaumur*). La validación del dato consiste en determinar que se encuentra en el intervalo o escala de valores aceptada para un determinado signo vital. Así, por ejemplo, el pulso, debería ser menor de 60 pulsaciones por minuto para un anciano, mientras que, para un recién nacido, debería estar entre 100 y 160 pulsaciones por minuto [7]. Aquellos valores que no se encuentren dentro de los intervalos correspondientes a la unidad de medida, serán marcados y guardados como datos atípicos y deben ser objeto de verificación posterior.

3) Solución a la consolidación de los datos por paciente

Para identificar a qué paciente pertenecen los datos consolidados, se ha diseñado un módulo para alta temprana, en el cual se configura la información del paciente, su médico tratante, sus familiares y cuidadores, y los id de los equipos de monitoreo que se va a llevar el paciente para la finalización de su tratamiento en casa. Durante el registro del equipo, el funcionario a cargo de esta tarea, ingresa las fechas de inicio y finalización del seguimiento, los valores mínimo y máximo esperados como normales para cada uno de los signos que se van a monitorear al paciente, (estos parámetros son imprescindibles durante el proceso de análisis de los datos), la periodicidad de la toma de los datos, entre otros. Con las fechas de inicio y fin de seguimiento al paciente, se puede establecer qué paciente tiene qué equipo en determinado momento, y por tanto asumir que las lecturas son de esa persona²².

Para identificar al paciente, durante un proceso de reporte manual de datos (desde una app), se ha diseñado un servicio que devuelve la lista de pacientes asignados a un cuidador, y la lista de señales y unidades de medida disponibles en el sistema. Estos datos son cargados en una app cliente, desde la cual el cuidador efectúa el registro de las señales del paciente (puede elegir uno a la vez, de su lista de pacientes asignados). Cuando el cuidador ha completado el registro de todas las lecturas, envía los datos al servidor. Y, dado que el registro se efectuó para un paciente elegido de una lista, la información de su identificación, viaja junto con los datos de las lecturas registradas.

4) Solucionar el manejo de la seguridad de los datos

Una vez los datos han pasado por el sistema de consolidación, quedan habilitados para ser analizados por el componente de análisis. Dado que los datos consolidados en el sistema corresponden a información de un paciente y que por tanto se debe garantizar su seguridad, el acceso a sistema se ha segregado en roles que manejan distintos niveles de seguridad [42]. Los

²² Para asegurar que las lecturas corresponden al paciente, el programa de alta temprana, debe solicitar el compromiso expreso de un familiar del paciente, quien debe estar a su cuidado durante el tiempo de tratamiento y recuperación.

roles definidos son: Médico, cuidador, familiar, alta temprana, administrador funcional y administrador técnico (Figura 3). El rol médico, es el profesional encargado del tratamiento y responsable de la salud del paciente, el cuidador, es el encargado de hacer las visitas de seguimiento para verificar presencialmente el estado de salud del paciente, el familiar, es el responsable de asegurar que se cumplan las recomendaciones de cuidado en casa, el rol de alta temprana, es el encargado de efectuar el registro de los datos tanto del paciente, como de su círculo de cuidadores y equipos de seguimiento²³. Los administradores funcionales y técnicos, están encargados de la parametrización del sistema, de la gestión de usuarios, gestión de equipos, gestión de especialidades, gestión de profesionales, médicos, registro de patologías, y de la disponibilidad del servicio y mantenimiento de la aplicación respectivamente.

C. Modelo de análisis

Para asegurar un adecuado seguimiento del paciente, se ha establecido que luego que el modelo de consolidación finaliza su tarea, envía un mensaje con las señales procesadas al modelo de análisis, para que éste las evalúe y determine si hay algún nivel de riesgo de la salud del paciente, en cuyo caso, se debe enviar una alerta al grupo de cuidadores. A este proceso inicial del cual se espera un resultado rápido, se le ha llamado análisis síncrono (ligero), en razón a que se da “casi en tiempo real”²⁴. A los análisis posteriores, se les ha llamado análisis asíncronos (exhaustivos), en razón a que tienen lugar en otro momento, y son usados para otro tipo de análisis.

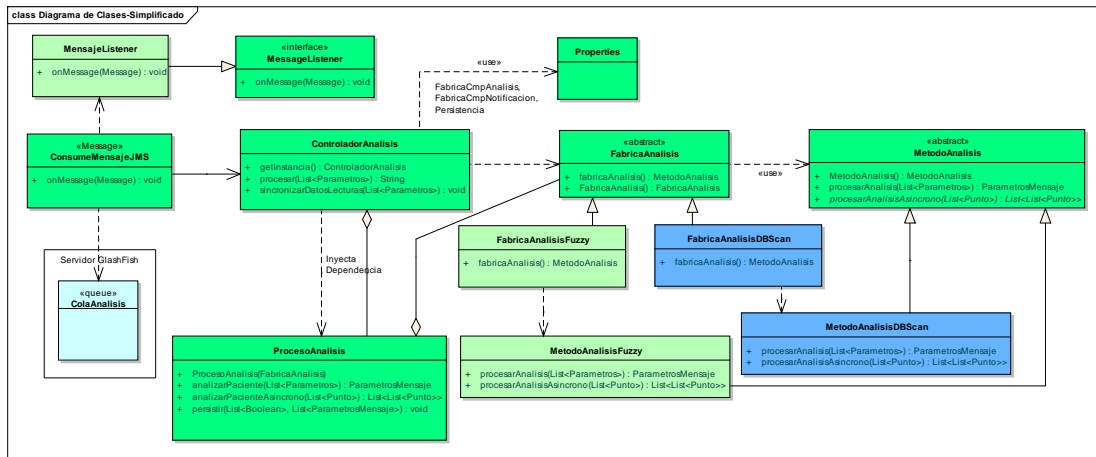


Figura 6: Modelo de clases de Análisis

²³ El rol de alta temprana, puede tener otras funciones relacionadas con su cargo, y que quedan fuera del alcance de este trabajo.

²⁴ Tener en cuenta que el sistema está habilitado para manejar distintas frecuencias de lectura y por tanto, algunos datos consolidados al sistema, pueden haber sido obtenidos varios minutos antes.

La figura 6 presenta el diagrama de clases del modelo de análisis. La clase *ConsumeMensajeJMS*, está escuchando la cola de mensajes *ColaAnálisis*, a la cual llegan los mensajes provenientes del modelo de consolidación. Esta obtiene una instancia de la clase *ControladorAnálisis*, e invoca el método *procesar*, al cual le pasa el mensaje que acaba de recibir de la cola. Este mensaje lo conforma una lista de objetos de la clase *Parametros*, que encapsula la información de una lectura. El *ControladorAnálisis*, identifica si existen configuraciones de análisis ligero que puedan ser aplicadas a los datos recibidos. Por cada configuración encontrada, el sistema recupera de la base de datos el identificador del algoritmo de análisis que se va a aplicar; con esta identificación, se instancia la clase concreta de *FabricaAnálisis*, y con la fábrica instanciada, se puede recuperar la instancia concreta del *MetodoAnálisis* que se va a aplicar a los datos. En el diagrama de clases de la figura 6, se presenta una fábrica concreta *FabricaAnálisisFuzzy*, encargada de llevar a cabo los análisis ligeros con *FuzzyLogic*, y una clase concreta *MetodoAnálisisFuzzy*, que implementa el comportamiento de este tipo de análisis. Luego de instanciar la clase que contiene el método de análisis, se instancia la clase *ProcesoAnálisis*, y se le pasa al constructor una instancia concreta de *MetodoAnálisis*. De esta forma, se inyecta la dependencia a *ProcesoAnálisis*, para que las invocaciones a métodos de esta clase, apliquen el comportamiento del objeto que se le inyectó. De esta manera, el sistema es capaz de escalar a otros tipos de análisis, siempre que se implemente el comportamiento definido por las clases *FabricaAnálisis* y *MetodoAnálisis* respectivamente.

De manera similar funciona el controlador para los análisis asíncronos, la única variación es que la solicitud de ejecución del análisis proviene de la interface de usuario del módulo de Alta Temprana. A continuación, se presentan los análisis síncrono y asíncrono.

1) Análisis síncrono

Con este análisis, se busca encontrar situaciones anormales en las señales biomédicas, o signos vitales del paciente. Dependiendo del nivel de riesgo detectado, se debe reportar una alerta a los interesados en el cuidado del paciente. Lo primero que resuelve el sistema, es si el conjunto de señales reportadas tiene un algoritmo o técnica de análisis con la cual procesarlo. Así, por ejemplo, si el conjunto de señales que se ha reportado contiene una combinación de señales de presión arterial sistólica y oximetría, se puede usar un componente de lógica difusa, que evalúe el nivel de riesgo del paciente basado en estos dos parámetros [31]. Otro caso, puede ser la detección de una variación considerable en la medida de peso del paciente, con la cual, el especialista podría evaluar si el paciente está presentando una retención de líquidos. Algunos otros valores obtenidos del paciente como la latitud y longitud de ubicación desde donde se tomó la lectura, pueden ayudar a explicar variaciones en las lecturas, por ejemplo, si es una persona de piso térmico bajo, que se va a una ciudad de mayor altura, puede experimentar variaciones en su nivel de saturación de oxígeno[43].

Modelo de análisis Basado en lógica difusa

Para ilustrar con mayor detalle la funcionalidad del análisis síncrono, se va a presentar un modelo basado en lógica difusa, inspirado en [31]. Lo primero que se debe comprender es la

relación que existe entre las variables que se van a combinar, y el nivel de riesgo resultante de algunas de las combinaciones más importantes.

Tabla 3: Nivel de prioridad de acuerdo con niveles de SPO2 y PAS

PRESIÓN ARTERIAL SISTÓLICA (PAS)	SATURACIÓN DE OXÍGENO SPO2	
	BAJA	NORMAL
BAJA	Urgencia de Prioridad Alta (Situación Clínica Inestable) Enviar Alerta al Medico	Urgencia de Prioridad Baja (Paciente con Baja Presión Arterial)
NORMAL	Urgencia de Prioridad Alta (Hipoxemia) Enviar Alerta al Cuidador	Estable (Ninguna anormalidad)
ALTA	Urgencia de Prioridad Media (Situación Clínica Inestable) Enviar Alerta al Medico	Urgencia de Prioridad Baja (Presión en sangre es alta)

De acuerdo con la Tabla 3, un nivel bajo en la presión arterial sistólica (PAS), y un nivel bajo de saturación de oxígeno (SPO2), constituyen una señal de alerta de prioridad alta, que debe ser enviada al médico tratante para que se tomen las medidas correspondientes. De igual modo, si la PAS es alta, y el nivel de SPO2 es bajo, se debe enviar una señal de alerta. En estos dos casos la alerta se envía, porque el paciente presenta alteración de los signos vitales. En el primer caso, el nivel de urgencia es de prioridad es alta, y en el segundo caso, el nivel de urgencia es de prioridad media. En caso de que la PAS sea normal, pero se tenga un nivel bajo de SPO2 en sangre, el nivel de urgencia es de prioridad alto, y se debe enviar alerta al cuidador. La combinación de PAS baja y SPO2 normal, junto con PAS alta y SPO2 normal, son de nivel de urgencia de prioridad baja. Los casos de prioridad alta y media, producen alertas que se deben enviar inmediatamente, a los responsables del paciente. Las alertas de prioridad baja, se dejan registradas en el sistema para una consulta posterior por parte del médico tratante y cuidadores.

Para la obtención de los intervalos de fusificación, se ha revisado la propuesta planteada en [44], que presenta los niveles de riesgo mediante convenciones de colores, con rangos máximos y mínimos, y la presentada en [7], en la cual se relaciona la edad con algunos signos vitales.

Los intervalos generados para el fusificador de oximetría, para un nivel de saturación de oxígeno bajo, están dados por los puntos: (0,1) (90,1) (94,0), y para un nivel de saturación de oxígeno normal: (89.2,0) (96.2,1) (100,0). Ver Figura 7.

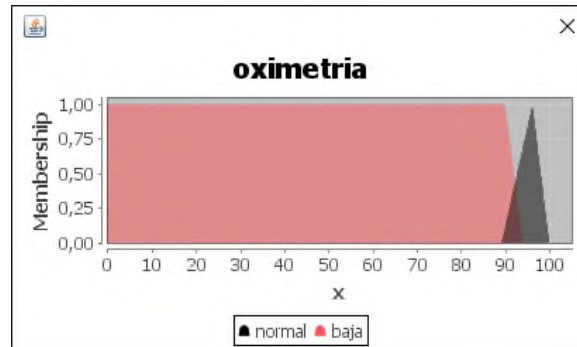


Figura 7: Intervalos del fusificador de saturación de oxígeno SPO2

Los intervalos generados para el fusificador (figura 7) de presión arterial sistólica (PAS), para un nivel bajo, están dados por los puntos (0,1) (60,1) (80,0), para un nivel de PAS normal: (75,0) (105,1) (130,0), y para un nivel de PAS alto por los puntos: (126,0) (138.7,1) (200,1).

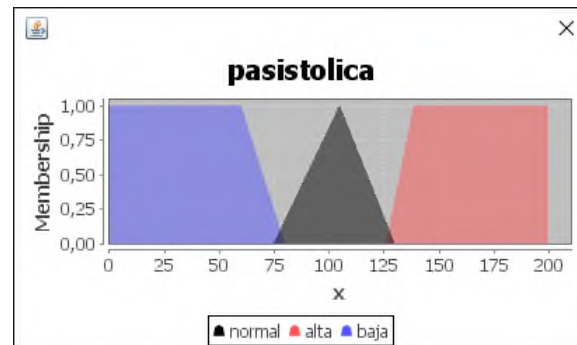


Figura 8: Intervalos del fusificador de presión arterial sistólica PAS

A partir de estos fusificadores, se propuso un defusificador para los niveles de prioridad de la urgencia Alta, Media y Baja. Los puntos del defusificador, se encuentran listados en la Tabla 4. La Figura 9, presenta la gráfica de los puntos. Se usó el método del centroide en el defusificador (COG), para que el algoritmo retornara el resultado del cálculo en un valor escalar entre 0 y 100. La tabla 4, presenta el detalle de los puntos que conforman cada una de las funciones del defusificador, y la figura 9, presenta su gráfica.

Tabla 4: Puntos del defusificador

<pre> DEFUZZIFY urgencia TERM prioriBaja := (0, 0) (10, 1) (25, 1) (40, 0); TERM prioriMedia := (30, 0) (50,1) (65, 1) (80, 0); TERM prioriAlta := (65, 0) (85, 1) (100, 0); // Usar método de defusificación 'Center Of Gravity' METHOD : COG; // Valor por defecto 0 (si no se activa reglas de defusificación) DEFAULT := 0; END_DEFUZZIFY </pre>
--

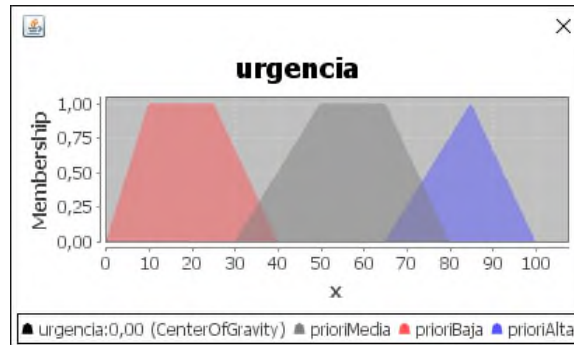


Figura 9: Defusificador para nivel de prioridad de la urgencia

Con base en la calificación obtenida por el defusificador, se han propuesto los siguientes niveles de clasificación de las alertas que genera el sistema, y los medios sugeridos de entrega de las alertas (tabla 5):

Tabla 5: Niveles de clasificación de las alertas

NIVEL CLASIFICACIÓN	DE	INTERVALO DE CALIFICACIÓN	MEDIO DE ENTREGA DE ALERTA
NINGUNO		SCORED < 20	Registro en Base de Datos
BAJO		SCORED >= 20 && SCORED < 40	Email
MEDIO		SCORED >= 40 && SCORED < 65	Email
ALTO		SCORED >= 65 && SCORED < 80	Email, SMS
CRÍTICO		SCORED >= 80 && SCORED < 100	Email, SMS, Llamada Telefónica

Esta propuesta, se ha inspirado en el mismo número de niveles de clasificación que se presenta en [45]. Al revisar los intervalos propuestos, contra la gráfica de la función de defusificación, se puede notar que la mayoría coinciden con los puntos de corte con el eje X.

La tabla 6, presenta las reglas que se han generado para el análisis ligero de los datos. En este caso, se cruzaron dos niveles de SPO2, contra tres niveles de PAS, lo que dio lugar a seis reglas, sin embargo, la combinación entre un nivel normal de SPO2, y un nivel normal de PAS, no genera alertas dado que corresponde a un paciente estable, y por esta razón se generaron solo cinco reglas.

Tabla 6: Reglas de calificación de nivel de prioridad de la urgencia

RULE 1 : IF paSistolica IS baja AND Oximetría IS baja THEN urgencia IS prioriAlta;
RULE 2 : IF paSistolica IS baja AND Oximetría IS normal THEN urgencia IS prioriBaja;
RULE 3 : IF paSistolica IS normal AND Oximetría IS baja THEN urgencia IS prioriAlta;
RULE 4 : IF paSistolica IS alta AND Oximetría IS baja THEN urgencia IS prioriMedia;
RULE 5 : IF paSistolica IS alta AND Oximetría IS normal THEN urgencia IS prioriBaja;

Para otras combinaciones de señales de interés médico, y que pueden aportar información sobre la urgencia y prioridad de atención que requiere un paciente, se puede proceder de manera similar. El sistema está diseñado, para que cada vez que se quiera adicionar una nueva parametrización basada en lógica difusa, o mediante cualquier otro método de análisis síncrono, el sistema esté en capacidad de incorporarlo mediante la configuración de un adaptador, que debe contener la lógica específica del caso.

Generación de alertas

Una vez el modelo de análisis ha finalizado de procesar los datos del paciente, y se ha clasificado la alerta de acuerdo con los niveles propuestos en la tabla 5, el sistema identifica el medio de entrega de la alerta, e instancia la *FabricaAlerta* correspondiente. Luego, mediante la fábrica concreta, genera una instancia de la *Alerta* concreta, e invoca los métodos *prepararAlerta* y *enviarAlerta*. De esta manera, el sistema es capaz de escalar a otros tipos de medios para la entrega de alertas, siempre que se implemente el comportamiento definido por las clases *FabricaAlerta* y *Alerta* respectivamente. La figura 10 presenta el modelo de clases para la entrega de alertas mediante mensajes SMS y correo electrónico.

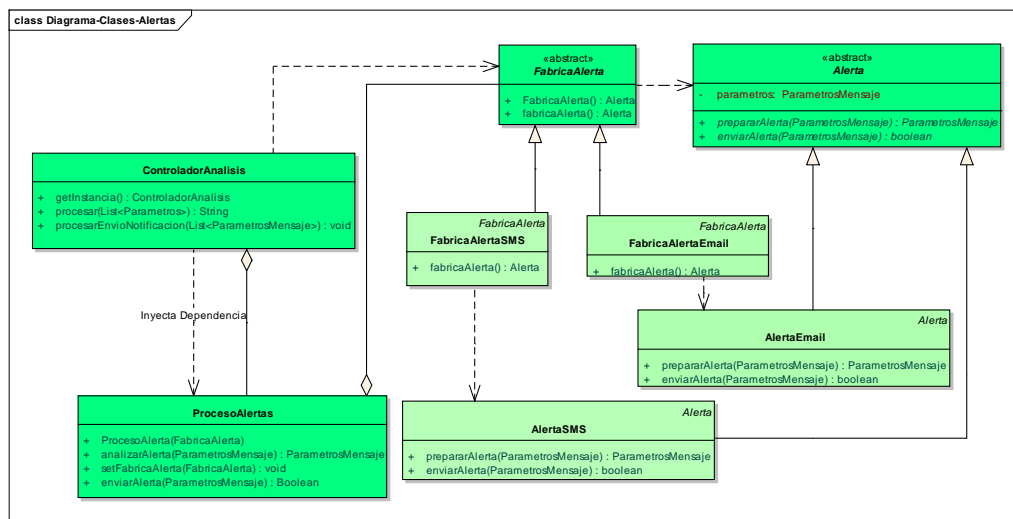


Figura 10: Modelo de clases para envío de alertas

La Tabla 5, presenta los distintos canales que se han dispuesto para la entrega de la alerta. El canal, o canales de entrega, depende del nivel de clasificación identificado de acuerdo con el puntaje que resultó del análisis de los datos del paciente. Las prioridades más altas, utilizan diversos canales de notificación (SMS, Llamada, email), las prioridades media y baja, utilizan mensajes de correo electrónico, y los casos calificados como NINGUNO, son registrados en la base de datos para consultas posteriores por parte del personal médico.

2) Análisis asíncrono

Este análisis tiene dos propósitos: Por un lado, se busca que el médico tratante, disponga de información consolidada sobre el paciente, y pueda identificar rápidamente la evolución que

ha tenido desde el momento en que fue enviado a casa, y de otro lado, servir a los administradores, investigadores y demás funcionarios interesados en la comprensión de los fenómenos conjuntos de las enfermedades, para que puedan diseñar programas de atención y/o como insumo para sus investigaciones.

Para facilitar las tareas de seguimiento y toma de decisiones, el sistema dispone de dos conjuntos de herramientas de análisis separadas; el primero, dedicado al análisis individual de los pacientes, y el segundo, al análisis del conjunto de pacientes. Dado que estos últimos, se realizan sobre conjuntos muy grandes de datos, son exhaustivos en el uso de recursos de procesamiento y memoria, y por tal razón, se recomienda que sean ejecutados durante las horas de menor uso del sistema (puede ser en las horas de la noche²⁵), o sean ejecutados haciendo uso de tecnologías con alto poder de procesamiento.

a) Presentación de información de seguimiento de un paciente

Dentro de este primer conjunto de herramientas para análisis, se tienen informes respecto a las señales de alerta que se han generado para un paciente, la puntuación de riesgo que le generó el algoritmo de lógica difusa, y el detalle de los datos que originaron la alerta. Así mismo, el sistema cuenta con herramientas de visualización que se alimentan de los modelos de análisis que se implementaron, mediante los cuales se permite cruzar los datos de varios signos vitales, y verificar gráficamente su comportamiento. Para cubrir el objetivo de seguimiento remoto de pacientes, se ha diseñado un modelo que integra en dos líneas de tiempo superpuestas, la información de la semana anterior contra la información de la semana actual. De esta manera, se pueden comparar los mismos días de la semana (lunes con lunes, martes con martes, etc.), para comprender si hay hábitos o actividades del paciente que producen variaciones de sus signos vitales en algunos días en especial. Por ejemplo, si el paciente hace deporte los fines de semana, el modelo puede mostrar una variación importante en las señales de frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria, para los días sábados y/o domingos según sea el caso. De igual modo, para identificar si el comportamiento de las señales, se mantiene dentro de los rangos especificados por el especialista, el sistema cuenta con un modelo que compara el comportamiento de los signos durante el tiempo de seguimiento, contra el comportamiento máximo y mínimo esperado. Así, gráficamente se puede identificar con facilidad si se encuentran controladas las señales en seguimiento, o si se han presentado eventos en los que éstas hayan estado por fuera de los rangos establecidos para el paciente.

Para algunos casos especiales, se ha creado un modelo de comparación entre la presión arterial sistólica, y la presión arterial diastólica, en el que además se visualiza la presión arterial media, para que el especialista pueda identificar rápidamente en qué momentos o fechas, se produjeron variaciones importantes en este par de signos, durante el proceso de tratamiento y recuperación.

²⁵ Estos procesos, pueden estar ejecutados desde la aplicación con la intervención de un ser humano, o lanzados como un proceso programado en *batch*.

Finalmente, se creó un modelo de segmentación que clasifica los datos de cualquier combinación de lecturas de signos de un paciente y presenta los resultados de las combinaciones en una interface gráfica de fácil interpretación²⁶. La flexibilidad de este modelo, permite analizar los datos desde distintas perspectivas y combinaciones, y se ha logrado gracias a las características de escalabilidad con la que se diseñó el sistema.

b) Presentación de información de seguimiento a la población

Para facilitar el análisis de la población en general, se propuso un modelo que combina la información de género, edad y cualquier señal que el especialista desee revisar. La salida, le presenta al usuario algunos estadísticos como, la media, promedio, valor mínimo, valor máximo, percentiles 25, 75, y valores atípicos. Estos datos pueden ser de gran valor para un rol tomador de decisiones o administrador del programa de alta temprana, dado que les facilita la identificación de tendencias o anomalías a nivel de la población. Para el seguimiento a la población, también se diseñó un modelo que presenta las últimas lecturas registradas de los pacientes para cualquier señal que el usuario desee revisar. Esto, gracias a que el modelo fue diseñado para que recalculase las salidas dependiendo de la señal de elección. La presentación de los datos facilita la interpretación y puede servir a un cuidador para cambiar o priorizar su itinerario de visitas, por ejemplo, puede elegir visitar primero a determinados pacientes, que de acuerdo con la salida del modelo, presentan mayor inestabilidad que otros. También se creó un modelo de segmentación a nivel de la población, que permite elegir cualquier combinación de signos que el usuario desee, y presenta gráficamente los resultados de los segmentos encontrados por el algoritmo de análisis. Este modelo, genera grupos de clasificación, de acuerdo con el comportamiento de la combinación de signos vitales que se esté viendo. De esta manera, se puede llegar rápidamente a identificar individuos que comparten alguna tipología de riesgo, o simplemente que comparten un comportamiento similar en sus signos vitales. Puede llegar a ser útil, para visualizar el comportamiento de la población en cuanto a su presión arterial sistólica contra su presión arterial diastólica, o para revisar la relación de peso con actividad física, entre otros. Finalmente, se ha creado un modelo que presenta una clasificación por paciente y de acuerdo a una combinación de signos, en la que se pueden ver los valores máximos, mínimos y promedios. Este modelo puede ser útil para identificar rápidamente aquellos pacientes que han tenido episodios extremos en algunas combinaciones de las señales monitoreadas. Por ejemplo, puede ayudar en los análisis entre la actividad física contra peso, presión arterial sistólica contra presión arterial diastólica, la presión arterial diastólica contra la oximetría.

V. PROTOTIPO

²⁶ Respecto a esta funcionalidad, los especialistas consultados, indicaron que de momento solo se conocen algunas relaciones entre signos, por lo que las demás deberán ser sujetas a una mayor investigación en el ámbito médico

Para el desarrollo del prototipo, se utilizaron herramientas basadas en tecnología java. El detalle de las consideraciones mediante las cuales se tomó esta decisión, se encuentran en el anexo 6, y la distribución de componentes se encuentra en el anexo 11. Este capítulo lo conforman dos secciones, una primera sección que contiene los detalles del prototipo desarrollado para el componente de consolidación, y una sección que detalla el componente de análisis.

A. Componente de consolidación

Una visión integrada del componente de consolidación, y de los componentes de obtención implementados para el prototipo, se pueden apreciar en la figura 11. El bloque A. *Dispositivos Remotos*, contiene los componentes remotos desde los cuales se integra la información al sistema. *ConsolidadorBiomedicoCliente*, es un componente de aplicación o APK²⁷ construido para instalar en un teléfono inteligente y que puede obtener y enviar datos ingresados manualmente por parte de un cuidador.

El bloque B. *Componentes de Consolidación*, contiene los componentes que hacen posible la integración de los datos. El componente *ConsolidadorBiomedicoServer*, define el comportamiento que deben implementar los adaptadores, y es responsable de la ejecución de estos comportamientos mediante la inyección de dependencias, y el componente de distribución (*ConsolidadorBiomedicoDist*), que contiene los contratos que deben implementar los clientes interesados en integrar sus datos al sistema de consolidación.

El componente *AdaptadorAppCliente*, fue creado para integrar los datos provenientes de la App, instalada en teléfonos inteligentes. Este adaptador implementa los contratos del servicio y debe estar registrado en el servidor de consolidación para el procesamiento de los formatos y señales del teléfono inteligente.

²⁷ Android Application Package

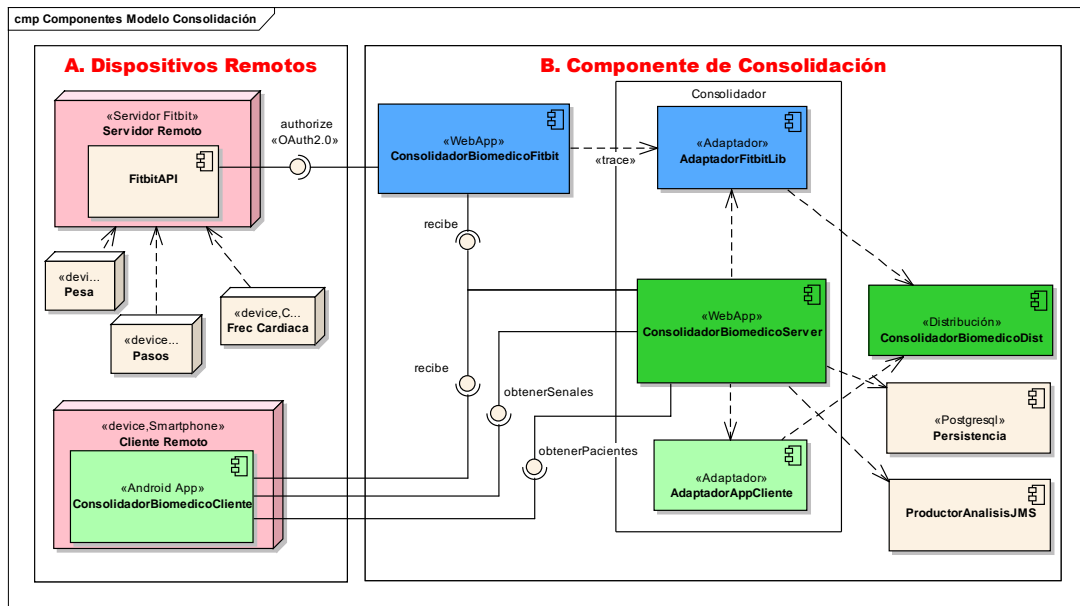


Figura 11: Componentes del Modelo de Consolidación

1) Integración con dispositivos remotos

El prototipo construido, funciona con dos fuentes de datos distintos: Una fuente proveniente de un servidor remoto *Fitbit*, el cual integra los datos de dos dispositivos *wearables* y una pesa. Estos dispositivos originan los datos de las lecturas obtenidas en los pacientes, y los sincronizan con su servidor, mediante una aplicación propietaria para teléfonos inteligentes, y mediante conexión directa al servidor²⁸. Con este modelo de trabajo, la empresa *fitbit*, brinda a los usuarios acceso ubicuo a sus datos y facilita la integración con otros componentes de software que requieren procesamiento y análisis de los datos. La segunda fuente de datos es un dispositivo para teléfono inteligente (App) que se conecta al servicio de consolidación para la entrega de datos obtenidos manualmente en pacientes remotos.

Integración con servidor Fitbit

La integración con el servidor *Fitbit*, se implementó con el protocolo *OAuth2.0*²⁹. Para lograrlo, fue necesario disponer de una cuenta de acceso, y la creación y configuración de un aplicativo cliente desde el cual se van a solicitar los datos. El detalle del paso a paso que se

²⁸ El equipo Aria, usado para medir el peso, reporta los datos directamente al servidor, para lo cual se debe hacer una configuración previa del dispositivo.

²⁹ <https://oauth.net/2/>

llevó a cabo para la configuración con el servidor *fitbit*, se encuentra documentado en el anexo 4.

Los componentes construidos para el adaptador de integración con el servidor de *fitbit*, se encuentran detallados en el diagrama de componentes de la Figura 12. Funciona así: El componente *ControladorOAuth2*, solicita un código de autorización al servidor (*authorize*), el servidor evalúa la solicitud, y en caso de que el dueño de los datos solicitados, haya dado su autorización, entrega el código de autorización al componente *ControladorFitbit*, en otro caso, antes de entregar el código, el servidor retorna una página de solicitud de autorización, para que el dueño de los datos ingrese sus credenciales. Con el código de autorización, se solicita un *token* de acceso al servidor (*token*). El servidor evalúa el código de autorización y retorna el *token* de acceso y un *token* de refresco (utilizado para solicitar un nuevo *token*, cuando el *token* de acceso ha caducado). Con el *token* de acceso, el componente *ControladorFitbit*, entrega el control al componente *Contenido*, quien se encarga de solicitar los recursos al servidor. El prototipo construido, está habilitado para solicitar información de actividad física, peso y frecuencia cardiaca. Una vez el servidor ha entregado la información solicitada, el control pasa al *ConsolidadorBiomedico*, encargado de enviar los datos al servicio *recibe*, desplegado en el componente *ConsolidadorBiomedicoServer*.

Cuando el *token* de acceso a los datos de un cliente ha caducado, el componente de *Contenido*, recibe una excepción del servidor de *Resources* de *Fitbit*. En este caso, el componente de *Contenido*, solicita al componente *DAOEntregaToken*, que devuelva el *token* de refresco guardado previamente, y mediante este último, solicita un nuevo *token* de acceso a los datos, y un nuevo *token* de refresco.

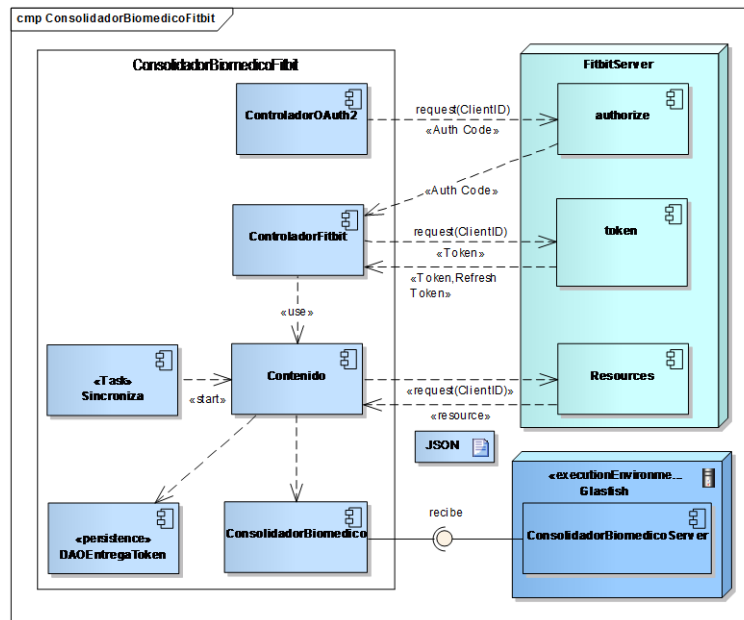


Figura 12: Componentes del Adaptador para integración con *Fitbit*

Para conseguir que las lecturas sean periódicas, se ha construido el componente *Sincroniza*, que cada cierto tiempo (paramétrico), dispara el proceso de solicitud de datos para cada uno de los dispositivos configurados, en este caso el dispositivo de actividad física *flex*, el dispositivo de medición de frecuencia cardíaca *HR*, y el dispositivo de medición de peso *Aria*.

Integración con App Android

Para el registro de datos de signos obtenidos manualmente por parte de los cuidadores del paciente, se ha diseñado y construido una aplicación en Android (*ConsolidadorBiomedico-Cliente*), que se integra con el componente de consolidación, para el envío de datos. Esta aplicación a su vez, obtiene del servidor de consolidación, la lista de pacientes, señales y unidades de medida.

La Figura 13, presenta el diagrama de componentes del aplicativo para Android. El componente de *login*, recupera los datos de configuración de conexión guardados localmente en el teléfono inteligente mediante el componente *PersistenciaUsuario*, y luego que se valida la información, el control pasa al componente *MenuActivity*. Este componente se conecta al servicio *obtener-Pacientes* del componente *ConsolidadorBiomedicoServer*, recupera la lista de pacientes asignados al cuidador³⁰ que está registrado en el teléfono inteligente, y carga estos datos a la interface gráfica, para que sean visualizados por el cuidador. Cuando el cuidador seleccione un paciente al cual registrar sus signos vitales, pasa el control al componente *IngresarSignoActivity*. Este componente obtiene las señales y sus correspondientes unidades de medida y las carga en la interface gráfica de usuario. El usuario registra los datos de una lectura, y las guarda en el componente de caché local llamado *PoolSignos*. Por cada signo agregado, el control pasa al componente *VistaPreliminar*. Allí los datos guardados en el componente *PoolSignos* son presentados al usuario. De allí, el control puede regresar al componente *IngresarSignoActivity*, para el registro de otro signo, o volver al componente *MenuActivity*, en cuyo caso se pierden los datos registrados sin enviar. Cuando todas las lecturas se han registrado, el usuario puede solicitar el envío de los datos al servidor, en este caso, el control pasa al componente *PersistenciaDatos*. Este último pasa los datos al servicio *recibe* del componente *ConsolidadorBiomedicoServer*. Si los datos se persisten sin problema, el control se devuelve al componente *MenuActivity*, para que el usuario intente el registro de datos para otro paciente. Si por alguna razón, los datos no se logran persistir, el control se mantiene en el componente *VistaPreliminar*, para que el usuario pueda efectuar nuevos intentos. Los dispositivos para lectura de señales y posterior envío manual a través del celular, son clasificados como equipos de soporte vital, dentro de los cuales se encuentran: monitores de frecuencia cardíaca, de respiración, de temperatura, de presión arterial o intracraneal, y pulsioxímetros para lectura del porcentaje de saturación de oxígeno. Las lecturas, se pueden reportar desde un equipo celular con conectividad a la red móvil de datos, o mediante conexión a una red *wifi*.

³⁰ El cuidador al que se hace referencia, debe ser la persona vinculada al servicio de salud que asiste al paciente en su lugar de residencia, y que debe estar en capacidad de tomar lecturas de signos vitales.

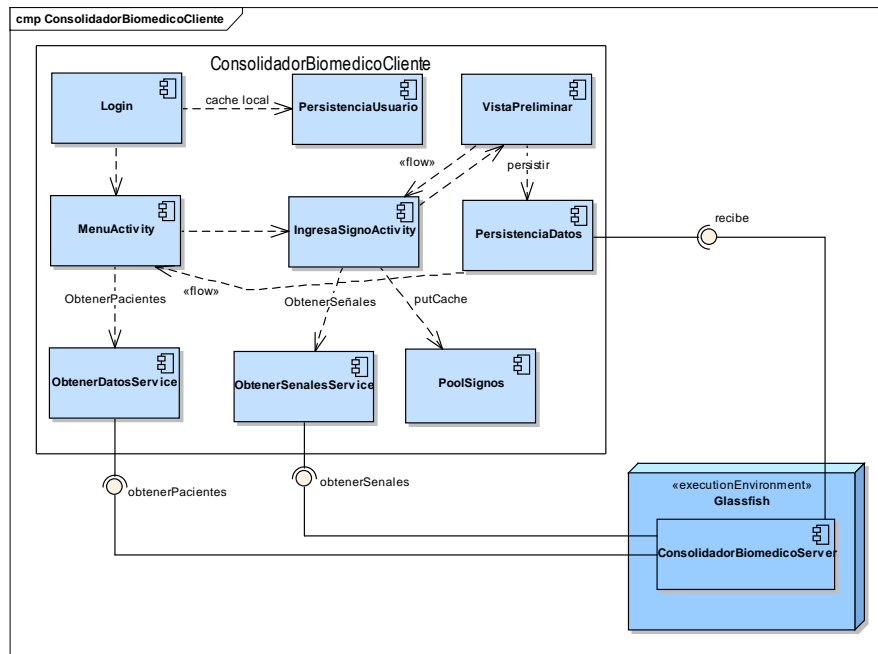


Figura 13: Componentes de la APP en Android para reporte manual de signos

2) Componentes de consolidación

El modelo de consolidación presentado en la figura 14, contiene un componente *ConsolidadorBiomedicoServer*, que presenta el servicio *recibe*, mediante el cual se reciben los datos provenientes de dispositivos remotos. Un componente *AdaptadorAPP*, quien debe implementar los contratos entregados en el componente de distribución *ConsolidadorBiomedicoDist*. Los contratos son implementados de manera particular para cada uno de los tipos de dispositivos remotos que se integran al sistema. Lo que quiere decir que el componente *AdaptadorAPP*, es abstracto, y se implementa según las necesidades de cada tecnología que se integra³¹. El componente *AdaptadorAPP*, lo conforman a su vez dos componentes, *ProcesaFormato*, encargado del procesamiento del formato en el que son entregados los datos, y un componente *ProcesaSeñal*, encargado de homogenizar y validar los datos. El componente *Persistencia*, es el encargado de persistir los datos procesados en la base de datos; y el componente *ProductorAnalysisJMS*, es el encargado de construir y poner un mensaje en la cola de análisis.

³¹ El proceso consiste en fijar el .jar en el CLASSPATH y escribir los nombres canónicos de las clases de fábrica en las entradas en los archivos de propiedades.

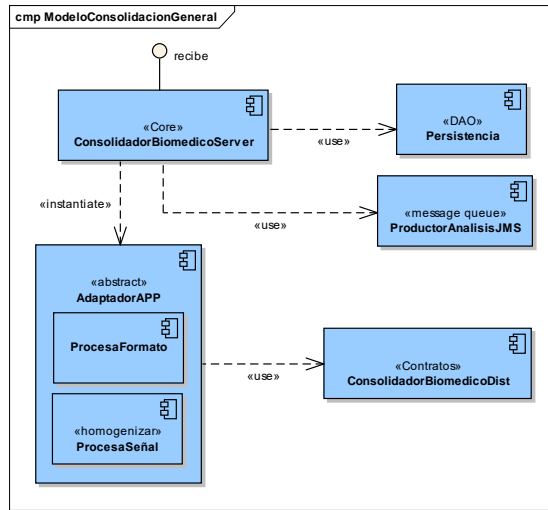


Figura 14: Modelo de consolidación

A continuación, se van a detallar algunos componentes y servicios del sistema.

Servicio recibe

Está diseñado para recibir cuatro parámetros así:

Tabla 7: Parámetros del servicio recibe del servidor de consolidación

Nombre Parámetro	Tipo de Dato	Descripción
mensaje	String	Mensaje original en el formato de origen (JSON, XML, CSV, etc)
formatoMensaje	String	Nombre del formato en el que viene el mensaje. Requerido para instanciar los objetos adecuados para su procesamiento.
usuario	String	Usuario del sistema
clave	String	Clave del sistema

El parámetro *mensaje*, es una cadena que contiene los datos en el formato de origen. El parámetro *formatoMensaje*, debe contener el ID del tipo de mensaje que se está entregando, para que el sistema determine el tipo de adaptador con el cual va a procesar tanto el formato como los datos de las señales recibidas. Los parámetros *usuario* y *clave*, se han diseñado para apoyar la seguridad del sistema.

Procesar formato

El procesamiento del formato, es la funcionalidad que se encarga de convertir el formato nativo del mensaje, en un formato legible y aceptado por el sistema. La especificación abstracta de cómo se debe procesar el mensaje, se encuentra definida en el componente de distribución

ConsolidadorBiomedicoDist. El procesamiento del formato, debe retornar una lista de elementos de tipo *Parametros*³², que es la clase POJO³³, usada de manera predeterminada y estándar para pasar los parámetros entre los distintos componentes del sistema. En caso de que el mensaje solo contenga un único elemento, el adaptador puede retornar una lista con un único objeto. De esta forma, se garantiza que el sistema pueda procesar una o varias lecturas.

Parametros
- idSenal: String
- idDispositivo: String
- idPaciente: String
- idCuidador: String
- unidadesSenal: String
- valorSenal: String
- fechaHora: String
- comentarios: String
- indAutomatica: String
- idValidado: String
- latitud: String
- longitud: String

Figura 15: Diseño del POJO Parámetros.

La Figura 15, presenta la lista de atributos que conforman el objeto *Parametros*. No es requerido que todos los atributos se encuentren presentes en el mensaje, sin embargo, algunos deben ser diligenciados de forma obligatoria (marcados con asterisco en la tabla 8) para que el sistema pueda identificar al paciente del cual provienen. Existe un caso particular, cuando la señal proviene de una lectura manual generada por la aplicación Android (doble asterisco), en este caso, es obligatorio que el mensaje contenga el *idPaciente*. Para mayor detalle, se presenta una descripción de cada una de las columnas de la clase **Parametros** en la tabla 8:

Tabla 8: Tabla descriptiva del objeto Parámetros

Parámetro	Tipo de Dato	Descripción
idSenal*	String	Identificador del tipo de señal. Estos son algunos ejemplos de tipos de señal y sus ID. 1 → "Temperatura" 2 → "Frecuencia Cardiaca" 3 → "Frecuencia Respiratoria" 4 → "Presión Arterial Sistólica" 5 → "Presión Arterial Diastólica" 6 → "Oximetría" 7 → "Actividad Física - Pasos" 8 → "Actividad Física - Peso"
idDispositivo*	String	Identificador del dispositivo que genera la señal. Cada dispositivo que genere señal, deberá enviar un identificador único.
idPaciente**	String	Identificador del paciente a quien se le está realizando el monitoreo
idCuidador	String	Identificador del cuidador del paciente (En caso de que exista)
unidadesSenal*	String	Unidades en las que se envía el valor de la lectura
valorSenal*	String	Valor de la lectura del signo vital

³² Se ha definido en plural, porque contiene varios parámetros que en conjunto conforman la información de una señal para una persona.

³³ Plain Java Object

fechaHora*	<i>String</i>	Estampa de tiempo en la cual se produjo la lectura
Comentarios	<i>String</i>	Comentarios o aclaraciones que se pueden enviar, especialmente cuando la toma de lecturas se realiza manualmente.
indAutomatica	<i>String</i>	Indicador para determinar si una lectura reportada, fue tomada manual o automáticamente
idValidado	<i>String</i>	Valor 'S' o 'N', para marcar cuando una señal procesada se ha validado.
latitude	<i>String</i>	Valor de la latitud entregada por el GPS, del lugar donde fue tomada la señal.
Longitude	<i>String</i>	Valor de la longitud entregada por el GPS, del lugar donde fue tomada la señal.

Procesa Señal

El componente *ProcesaSenal*, realiza la homogenización de los datos que es el proceso mediante el cual cada una de las señales es convertida al formato de unidad recibido por el sistema. Así, por ejemplo, una señal de temperatura que es entregada al sistema en grados *Fahrenheit*, es convertida al formato aceptado que es grados *Celsius* o centígrados. Este componente también aplica un proceso de validación de datos, que consiste en verificar la consistencia de la información recibida respecto a las unidades de medida y rangos de datos permitidos. Por ejemplo, una señal de oximetría, debería ser reportada en una escala de 0 a 100, dado que su medida es un porcentaje. Los valores menores a 0 y mayores a 100, deberían ser marcados como atípicos.

Productor Análisis JMS

La implementación de este componente, se realizó con JMS³⁴. Esta tecnología está diseñada para ambientes de concurrencia en los que los datos de la cola pueden ser consumidos y procesados por más de un hilo a la vez³⁵.

B. Componente de análisis

En la figura 16, se presenta el esquema general del componente de análisis. El bloque de consolidación, no hace parte de este componente, sin embargo, se ha dejado para ilustrar la interrelación que existe entre este componente y el componente de análisis. Los mensajes que el componente de Consolidación pone en la cola de análisis, son tomados por un *MessageDrivenBean*, el cual invoca los servicios del *Controlador*, quien toma el mensaje y orquesta todo el flujo de eventos. Lo primero que hace, es identificar al paciente que ha enviado los datos, luego, busca si en el sistema se ha configurado algún análisis para este paciente. En caso de encontrar que la combinación de señales entrantes, o un subconjunto de las mismas, corresponde con alguna combinación configurada en el sistema, procede con la ejecución de un análisis ligero

³⁴ Java Message Queue

³⁵ «Introducción a JMS (Java Message Service)». [En línea]. Disponible en: <http://www.jtech.ua.es/j2ee/publico/mens-2010-11/sesion01-apuntes.html>. [Accedido: 18-sep-2016].

mediante el componente de *Análisis*. Este análisis devuelve al *Controlador* una calificación de nivel de riesgo del paciente, con el cual se determina el nivel de urgencia de la alerta. Dependiendo de este nivel, el sistema instancia la clase de entrega de *Alertas* correspondiente y efectúa el envío del mensaje. Luego que se entrega el mensaje, el sistema persiste los datos de la alerta enviada, para que estén disponible para los análisis o consultas posteriores que se hagan desde el componente de presentación. El sistema se puede extender a otros algoritmos de análisis y envío de alertas, mediante un archivo jar, siempre que el nuevo o nuevos componentes cumplan con los contratos establecidos en los componentes de distribución *AnalisisDis*, para vincular nuevos algoritmos de análisis, y/o *EntregaAlertasDist*, para habilitar nuevos canales de entrega de alertas.

El componente de *Alta Temprana*, ofrece las funcionalidades para que un usuario pueda solicitar la ejecución de análisis exhaustivos, sobre los datos de un paciente, o sobre los datos de la población en general. Como los resultados de estos procesos en su mayoría se presentan en forma de modelos gráficos, estas ejecuciones pasan primero por el componente de presentación, el cual, solicita servicios del componente controlador, quién a su vez, para ciertos casos, requiere de la ejecución de algoritmos de análisis de datos. El componente de alta temprana, también es responsable de ofrecer las funcionalidades de interacción con el usuario, tales como gestión de equipos, pacientes, cuidadores, familiares, unidades de medida, patologías, especialidades, algoritmos de análisis, entre otros. El modelo relacional completo que se diseñó para este componente, se presenta en el Anexo 8.

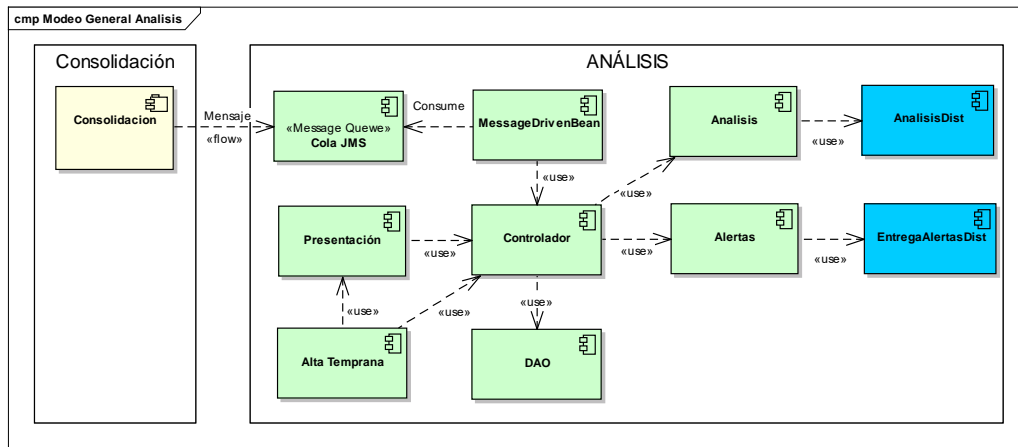


Figura 16: Esquema general del modelo de Análisis

1) Componente de análisis síncrono

El componente de **Análisis** de la figura 16, es una generalización que comprende tanto los análisis **síncronos**, como los análisis **asíncronos** figura 17. El componente de análisis Síncrono, tiene la responsabilidad de efectuar análisis muy rápidos sobre los datos que llegan a la cola de mensajes. Esta funcionalidad se implementó con la librería *jFuzzyLogic* [46], que da la posibilidad de combinar diferentes lecturas y ofrece tiempos de respuesta adecuados para los análisis en casi tiempo real. Así mismo, permite efectuar ajustes a las funciones de fusificación, defusificación y reglas, sin tener que alterar el código fuente de la aplicación. El prototipo

construido, procesa las señales de Oximetría y Presión Arterial Sistólica, mediante el algoritmo de fusificación, y genera una calificación o puntaje de riesgo (ver capítulo C. Modelo de Análisis), el cual es entregado al controlador para que determine la criticidad y riesgo de la alerta, y gestione su entrega a través del componente de Alertas.

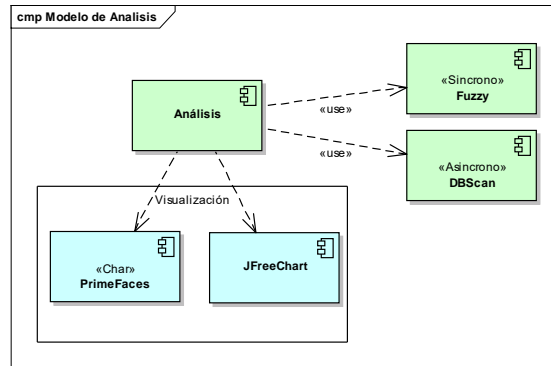


Figura 17: Componentes del modelo de análisis

2) Componentes para análisis asíncrono

El prototipo se ha implementado con la ayuda de varias tecnologías tanto de análisis, como de visualización de datos. Para los procesos de segmentación y detección de datos atípicos, se utilizó el algoritmo *DBScan* [34], y para la visualización de los datos, se utilizaron las librerías de software libre *chart* de *Primefaces*³⁶ y *JFreeChart*³⁷. Estas librerías, ofrecen capacidades de visualización de datos que pueden facilitar el seguimiento de pacientes y toma de decisiones, mediante gráficos de líneas que representan el comportamiento o tendencia de una señal determinada, gráficos combinados, para representar tendencias entre valores mínimos y máximos, nubes de puntos para identificar patrones a nivel de la población, y modelos de cajas y bigotes para ayudar a interpretar las características de un conjunto de datos. La elección de los modelos de visualización tuvo en cuenta, por un lado, la pertinencia y facilidad de interpretación ofrecida por cada modelo, y de otro lado, las capacidades ofrecidas por las librerías utilizadas. El prototipo permite realizar análisis individual a los pacientes, y análisis a la población en general. Estos análisis pueden ser generados por demanda, mediante el *Módulo de Alta Temprana* que cuenta con una interface gráfica de usuario, basada en menús, que se encuentra disponible en web. A continuación, se presenta con mayor detalle, las funcionalidades que conforman el seguimiento individual de pacientes y el seguimiento a la población.

Seguimiento individual de pacientes

³⁶ <http://www.primefaces.org/>

³⁷ <http://www.jfree.org/jfreechart/>

Estas funcionalidades apoyan el seguimiento y análisis individual que pueden hacer los especialistas y profesionales al cuidado del paciente. El primero de ellos es el tablero de seguimiento de alertas generadas por el proceso de análisis síncrono (figura 18). Este tablero muestra las calificaciones de riesgo que el fusificador generó para el paciente, y ofrece detalles sobre los valores que produjeron la calificación, y la fecha de generación de la alerta. Los datos se presentan ordenados desde la alerta más reciente, hasta la alerta más antigua. La funcionalidad construida, permite al especialista, elegir cualquiera de sus pacientes a cargo para verificar las alertas que ha generado, y en caso de que considere necesario, puede extraer los datos de detalle que se encuentran tabulados en la parte inferior de la pantalla.

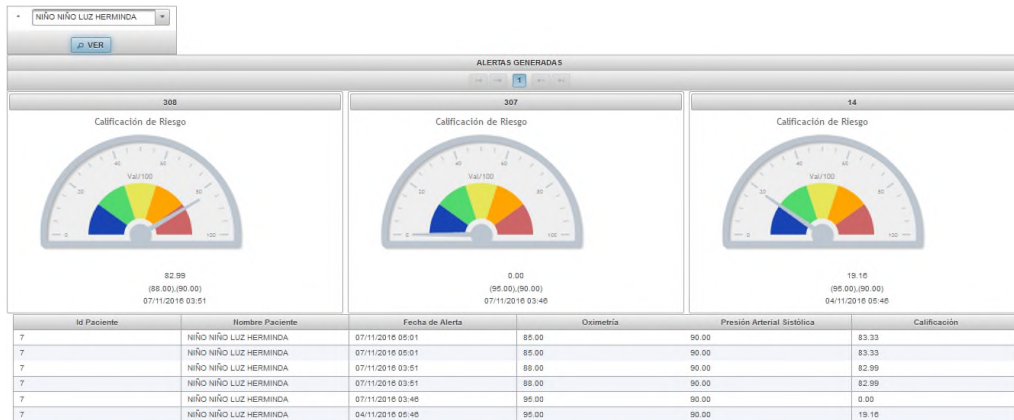


Figura 18: Gráfico para presentar las últimas señales de alerta generadas para un paciente

Para facilitar la identificación de atipicidades entre pares de señales, se ha construido una funcionalidad que utiliza el algoritmo de segmentación *DBScan*, y que presenta los resultados en un plano cartesiano. Cada uno de los segmentos que genera el algoritmo, es marcado y etiquetado con un color distinto. Para mayor facilidad en el análisis, el detalle de las alertas se presenta en la parte inferior de la pantalla. Esta funcionalidad, le permite al especialista, filtrar por cada uno de sus pacientes, y efectuar las combinaciones de señales que considere necesarias para sus análisis. En la figura 19, se puede ver con claridad, si el paciente ha mantenido estabilidad en sus signos vitales, y fácilmente, encontrar los valores de las atipicidades, dado que los resultados se presentan en un plano con escalas.

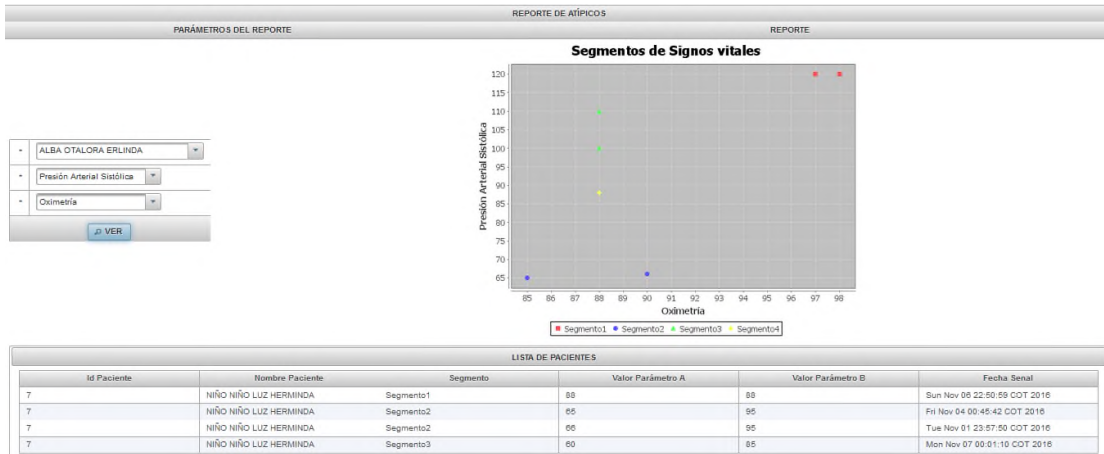


Figura 19: Reporte de atípicos para una combinación de señales.

Para ayudar a entender la evolución de los signos vitales de un paciente, se ha diseñado una herramienta que compara el comportamiento de la última semana, con respecto al comportamiento de la penúltima semana (figura 20), haciendo coincidir los mismos días, de manera que se pueda identificar si se presentan ciclos de actividad, o repetición de hábitos asociados a los días de la semana. Por ejemplo, si durante el fin de semana aumenta su actividad física, es posible que las lecturas de frecuencia respiratorio y frecuencia cardiaca, presenten variaciones importantes durante esos días.

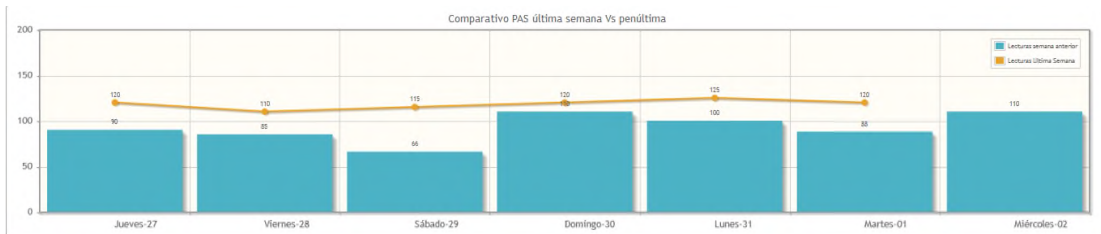


Figura 20: Gráfico de comparativo entre el comportamiento de los signos vitales de la semana anterior (barras) y las lecturas de la semana actual (línea).

De manera similar al caso anterior, se dispone de una gráfica (figura 21) que representa los valores mínimo y máximo que el especialista configuró en el sistema como parte del proceso de alta temprana, y frente a los cuales, se debe hacer igualmente seguimiento. El objetivo de establecer estos umbrales de manera manual, y no obedecer a las tablas de referencia, es dar al especialista la potestad de establecer un seguimiento, con el nivel de rigor que él considere más adecuado de acuerdo con las circunstancias del paciente.

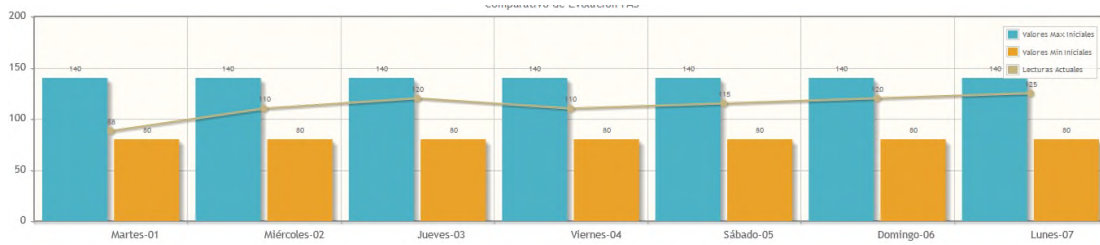


Figura 21: Gráfico de comparativo de señales mínima y máxima de un paciente (barras), versus las lecturas reales obtenidas (línea).

Para la visualización conjunta de los signos que se están monitoreando a un paciente, se ha construido una pantalla (figura 22) conjunta que puede presentar todos los signos en una sola salida. Esta funcionalidad permite a los especialistas, ocultar o mostrar determinadas curvas, de modo que le sea fácil aislar una o varias señales, para facilitar su interpretación.

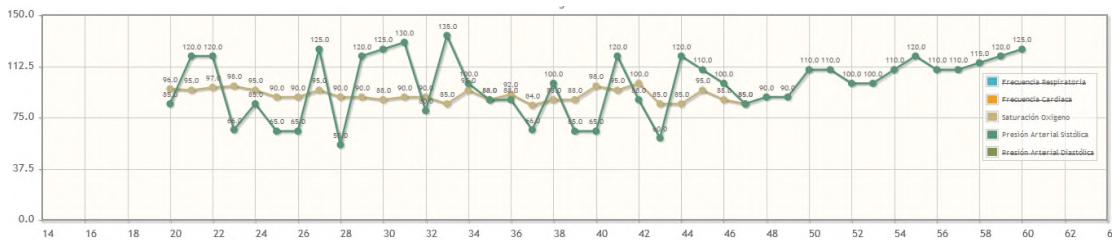


Figura 22: Gráfica que presenta las lecturas de las señales de presión arterial sistólica y presión arterial diastólica.

Para el seguimiento de la presión arterial, se ha diseñado una gráfica (figura 23) que representa las proporciones de las medidas de presión arterial sistólica, versus la presión arterial diastólica. El propósito de esta gráfica, es que el especialista pueda identificar fácilmente, alguna anomalía mediante la visualización del espesor de cada una de las mediadas. Al igual que en el caso anterior, el especialista puede ocultar o presentar cualquiera de estas señales, haciendo clic en el nombre de la señal que aparece en la tabla de conversiones. Figura 24.

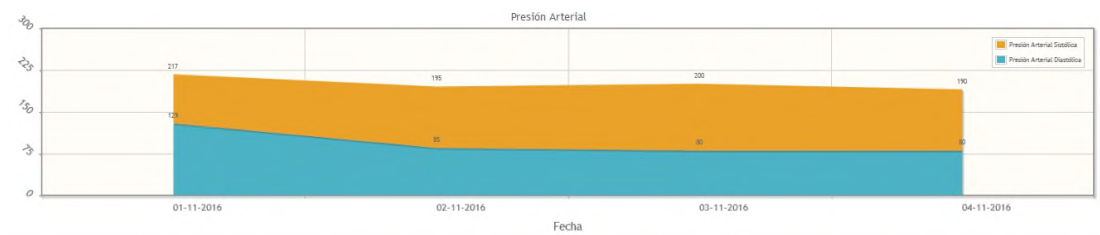


Figura 23: Visualización de la presión arterial sistólica contra la presión arterial diastólica.

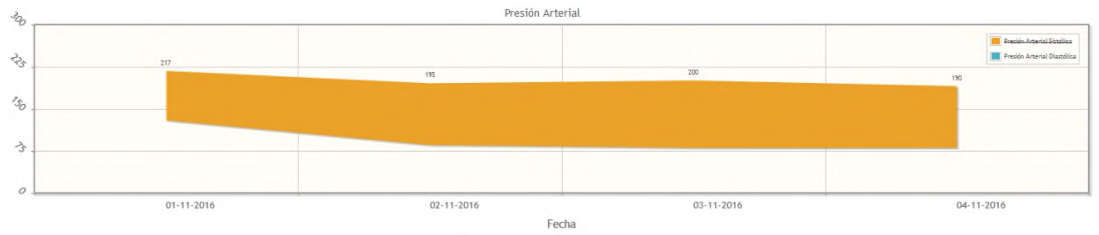


Figura 24: Visualización de solo la presión arterial sistólica. Se ha ocultado la presión arterial diastólica.

Seguimiento a la población

El seguimiento y análisis de la población, se implementó con la ayuda de algunas herramientas estadísticas para graficar datos. Una de ellas es el diagrama de cajas y bigotes (figura 25), que, en el eje de las X, contiene la edad, y cada uno de los diagramas de cajas, representa el género diferenciado por el color en el que se pinta en la gráfica. El eje de las Y, puede tomar cualquiera de las señales disponibles en el sistema, de acuerdo con el interés del especialista. Para el prototipo, se han tomado en cuenta las siguientes señales³⁸:

Tabla 9: Señales para seguimiento de pacientes

Señales	
1	Temperatura
2	Frecuencia Cardíaca
3	Frecuencia Respiratoria
4	Presión Arterial Sistólica
5	Presión Arterial Diastólica
6	Oximetría
7	Actividad Física – Pasos
8	Actividad Física – Peso

Con el diagrama de cajas y bigotes, se facilitan la comprensión de la forma como están distribuidos los datos, dado que la caja muestra el percentil 25, el percentil 50 (mediana), el percentil 75, y un punto que representa la media. Entre más largo el bigote, hay más dispersión de los datos. Los datos atípicos con respecto a la población, son marcados como un círculo vacío, o como una figura triangular a los bordes de la gráfica. En la figura 25, se puede ver que para los datos de pacientes hombres de 79 años, hay un valor atípico sobre 120, y en los extremos superior e inferior, se puede apreciar que hay unas marcas que indican que estos pacientes, presentan valores atípicos.

³⁸ Esta lista puede ser ampliada de acuerdo con las necesidades de las unidades de alta temprana, y el sistema la puede tomar automáticamente para los análisis correspondientes.

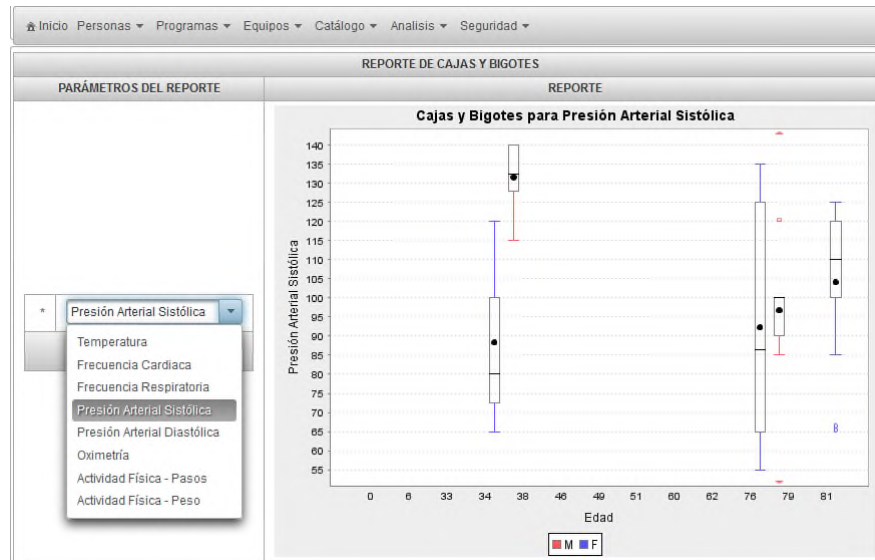


Figura 25 Diagrama de cajas y Bigotes para una señal de presión arterial sistólica.

El prototipo fue diseñado para que, en una sola pantalla el usuario pueda generar las gráficas de cajas y bigotes, para cada una de las señales presentadas en la tabla 9³⁹. Esta gráfica puede dar indicios sobre las edades en las que se presentan determinadas atipicidades, sobre las diferencias entre el comportamiento de los signos entre hombres y mujeres, como apoyo en la identificación de grupos de riesgo, o como insumo para el diseño de programas de atención y prevención.

Otro diagrama disponible, es la nube de puntos, mediante la cual se presentan las lecturas de cada uno de los pacientes, quienes se encuentran listados y etiquetados en la parte inferior de la pantalla (figura 26). Dependiendo de la forma como se vean los puntos en esta gráfica, el especialista puede identificar inestabilidad en los signos vitales de un paciente, y ordenar o tomar las medidas correspondientes para asegurar su integridad. Un cuidador puede cambiar la prioridad o itinerario de visitas, basado en la lectura que haga a partir de esta gráfica. Al igual que en los casos anteriores, esta gráfica permite la elección de cualquiera de las señales de signos vitales, y generar las salidas correspondientes.

³⁹ En este caso, se puede generar hasta ocho veces, y dar información sobre cada una de las señales con respecto al género y edad de la persona.

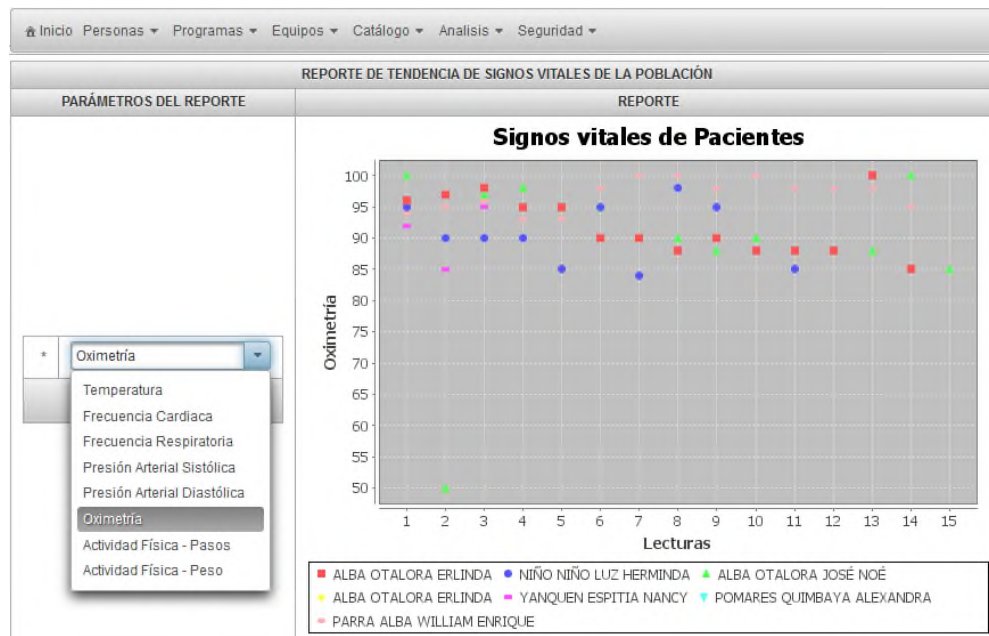


Figura 26: Grafica de tendencia de un signo vital para un conjunto de pacientes.

En la gráfica de la figura 26, se puede ver un comportamiento inicialmente estable para la paciente de los puntos cuadrados, en tanto que la paciente de los puntos redondos, presenta un comportamiento más inestable. El paciente de los puntos triangulares, presenta lecturas en niveles satisfactorios para la señal de oximetría, que debe estar por encima de 92%.

Para dar una idea de los grupos de riesgo, el sistema aplica un algoritmo de segmentación a todas las lecturas que se han realizado a un conjunto de pacientes, y los marca, para que el especialista, pueda verificar por sus nombres, a todas las personas que en algún momento han presentado alguna tipología o anomalía. Dado que es un algoritmo de segmentación basado en densidad y que usa la distancia euclidiana para generar los segmentos, es preciso comparara siempre dos unidades. Para esto, se le ha facilitado al usuario un control doble, en el que puede elegir a su voluntad, conjuntos de dos señales, y verificar los resultados del proceso de segmentación, que le permitan encontrar atipicidades que le puedan servir en su proceso de análisis y toma de decisiones.

Para el conjunto de señales presentadas en este trabajo, se podrían tener hasta 28 combinaciones diferentes. En estas combinaciones, se puede llegar a identificar asociaciones entre las variables, que de manera aislada serían muy difíciles de conseguir. Algunas combinaciones podrían ser, validar la respuesta de los porcentajes de oximetría, contra la actividad física, o la variable de peso, contra la actividad física, o la variable de peso contra la presión arterial, o la variable peso contra la frecuencia respiratoria, etc.

Para facilitar la lectura y ubicación de los pacientes que pertenecen a determinados segmentos (figura 27), esta funcionalidad imprime en la parte inferior, los datos que generaron la gráfica, para que se puedan revisar en detalle. En la gráfica de ejemplo, habria que prestar atención a

los puntos de la parte inferior derecha, o al punto de la parte superior izquierda (este punto puede ser un dato equivocado que se ingresó erróneamente al sistema, o un punto de alerta máxima).

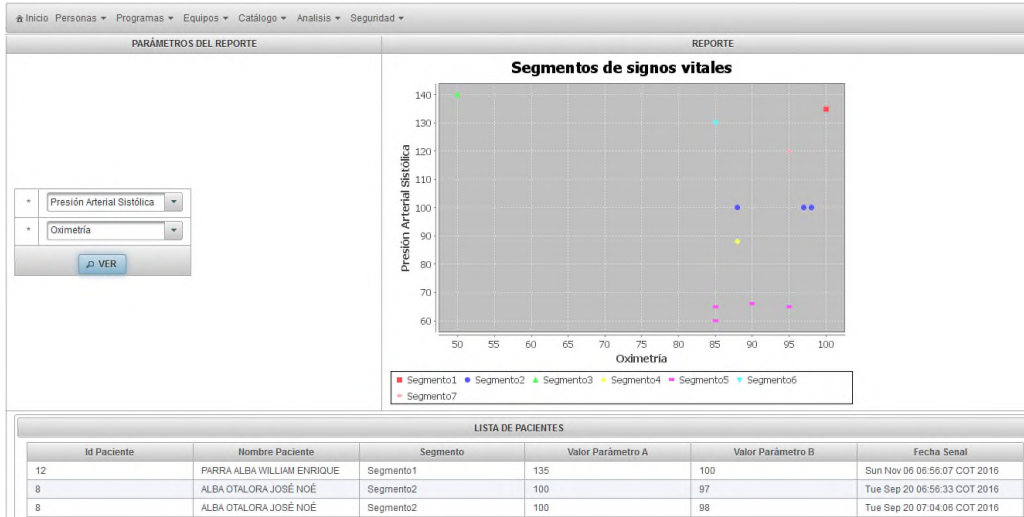


Figura 27: Visualización de segmentos de población, para una combinación de señales.

Los segmentos generados y gráficos generados hasta este punto, han sido basados en los valores de las señales del conjunto de pacientes. Ahora se presenta un diagrama de segmentación en el que se agrupan los pacientes, de acuerdo a sus valores promedio, máximo, mínimo para cualquiera de las combinaciones de signos vitales que el especialista desee revisar.

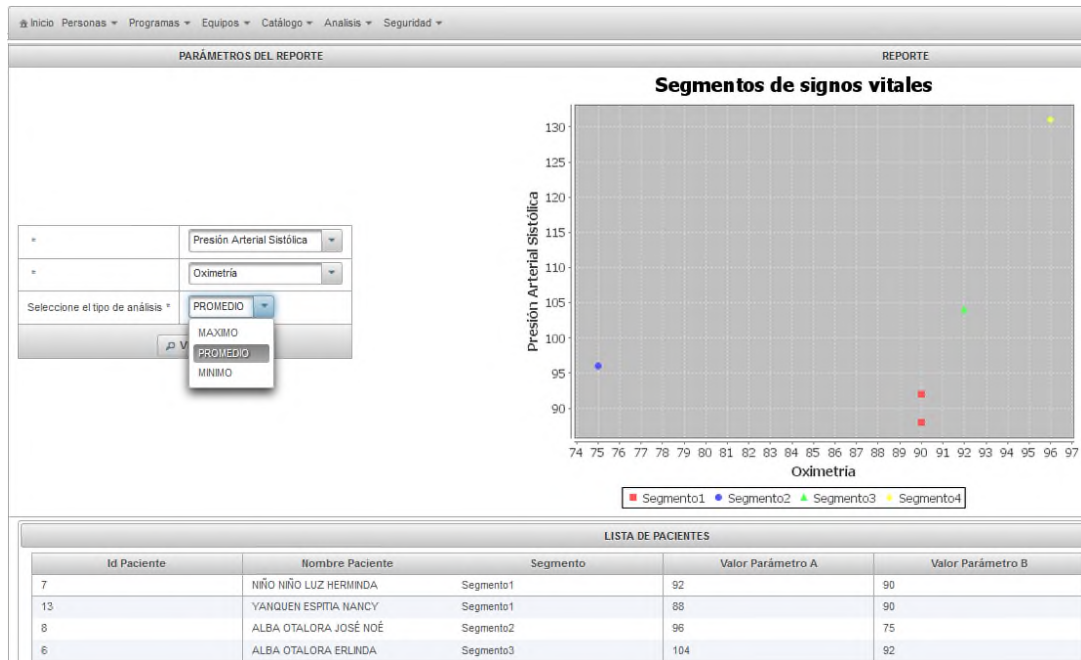


Figura 28: Segmentación basada en la combinación de señales y valores máximo, mínimo y promedio.

En el diagrama de la figura 28, se puede apreciar que hay dos pacientes que corresponden al segmento 1, en el cual, los niveles de oximetría se encuentran en el umbral de advertencia, pero con valores adecuados en la presión arterial sistólica. Un paciente en la parte superior derecha que presenta niveles normales de presión arterial sistólica y de oximetría. Y un paciente en la parte inferior izquierda, que presenta niveles muy bajos de oximetría. El detalle de los datos de cada uno de los pacientes de acuerdo al segmento al que pertenece, se presenta en la tabla de parte inferior de la pantalla.

3) Componentes para la entrega de alertas

El componente de entrega de alertas, desarrollado para el prototipo, únicamente soporta la entrega de mensajes al correo electrónico (figura 29). La cuenta desde la cual se están enviando las notificaciones, se creó en *Gmail*, y es utilizada desde un cliente SMTP desarrollado en java. Desde este cliente, se efectúa la conexión al servidor para que éste realice el envío de los correos. Por políticas de *Gmail*, esta cuenta tuvo que habilitarse para que permitiera conexiones desde clientes no seguros (en este caso el componente desarrollado en java). Para propósitos de producción, se debe tener en cuenta que *Gmail*, establece un límite máximo de 2000 envíos de correo diarios. Luego de alcanzar ese número, el servidor empieza a rechazar las conexiones y los envíos⁴⁰.

⁴⁰ <https://support.google.com/a/answer/166852>

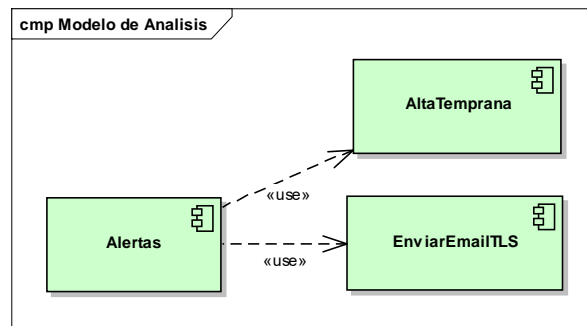


Figura 29: Esquema de componentes para envío de alertas

Para el envío de las alertas al correo electrónico, el sistema busca los destinatarios en el campo email de la entidad persona del módulo de **Alta Temprana**. Los destinatarios pueden ser cuidadores, especialistas y familiares, que se encuentren registrados en el sistema. Para el éxito de la funcionalidad, es necesario mantener actualizada la información de contacto, especialmente el correo electrónico.

4) Componente de alta temprana.

El componente de alta temprana es la puerta de acceso al usuario, y es responsable del control de acceso y la seguridad de los datos. Desde este componente, los usuarios hacen uso de las funciones de parametrización del sistema, del seguimiento a pacientes y seguimiento a la población en general (análisis asíncrono). Las tecnologías usadas para la implementación de este módulo, fueron, java empresarial, con jdk 1.8, servidor de aplicaciones *Glasfish 4.1.1*⁴¹, motor de base de datos *Postgresql 9.5*⁴², *JSF 2.2* y *PrimeFaces 5.0*.

El diseño de entradas se pensó para que el usuario no tenga que hacer más de tres clics para llegar a la funcionalidad requerida. La navegación se implementó mediante una barra de menú, que contiene seis títulos. **Personas**, para la gestión de los datos de las personas, pacientes, cuidadores y profesionales, **Programas**, para la gestión de los programas de alta temprana, el ingreso de pacientes y profesionales al programa de alta temprana, **Equipos**, para la gestión de los equipos de seguimiento, la configuración de las señales que puede monitorear cada equipo, la asignación de un equipo al programa, y la configuración del equipo a determinado paciente. El menú **Catalogo**, contiene todos los mantenimientos de las tablas de parámetros del sistema tales como: especialidades médicas, asignación de especialidades a personas, patologías, entidades prestadoras de servicios de salud, tipos de entidad, tipos de equipo, estado de los equipos, señales, unidades de medida, asignación de unidades de medida con señales, tipos de programa y tipos de identificación entre otros. El menú de **Análisis**, contiene las funcionalidades asíncronas para el seguimiento de pacientes, y para el seguimiento a la población en general. Así

⁴¹ <https://glassfish.java.net/>

⁴² <https://www.postgresql.org/>

mismo, contiene las funcionalidades de revisión de alertas, lecturas, ingreso de algoritmos, tipos de análisis y la “tabla de análisis”, que permite relacionar un conjunto de señales, con un determinado algoritmo de análisis, de manera que cuando llegue un mensaje a la cola (*MessageDrivenBean*), el controlador pueda identificar cuál algoritmo o algoritmos usar para el análisis ligero de los datos. El ultimo menú es el de **Seguridad**, desde el cual se gestionan los usuarios, roles y capacidades del sistema.

El prototipo construido, ofrece facilidades de mantenimiento de las tablas, permitiendo crear, ver, editar y borrar elementos desde una misma pantalla (figura 30). Para esto se utilizan ventanas emergentes.

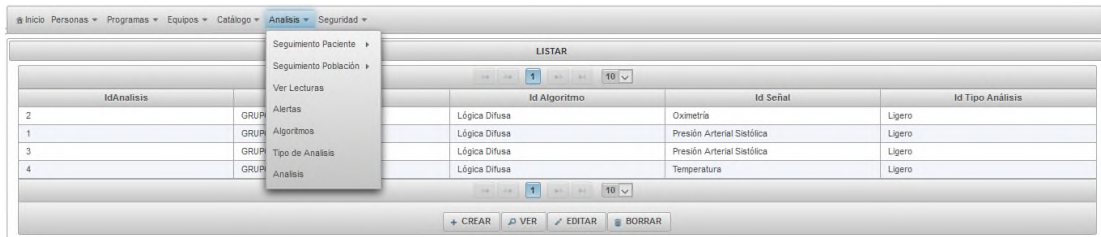


Figura 30: Vista de la barra de menú de la interface de usuario.

VI. VALIDACIÓN

Este apartado se presentará en tres secciones. En la primera sección, se explica la validación individual del modelo de consolidación. En la segunda sección, se explica la validación individual del modelo de análisis, y cierra con la validación funcional del sistema integrado.

A. Validación del modelo de consolidación

La validación del sistema se realizó mediante dos formas distintas. Por un lado, se integraron datos de tres dispositivos comerciales de marca *Fitbit* que miden peso, actividad física, y frecuencia cardiaca. De otro lado, se integraron datos obtenidos manualmente desde la app desarrollada para *Smartphone*.

1) Integración de datos desde *Fitbit*

Para esta validación del sistema, se efectuaron pruebas con tres equipos *Fitbit* de referencias *Aria*, *HR* y *Flex*. Estos equipos miden el peso (*Aria*), actividad física⁴³ (*Flex*), y frecuencia cardiaca (*HR*). Para la validación, los tres equipos se registraron a nombre de personas distintas,

⁴³ Número de pasos, kilómetros caminados, cantidad de calorías quemadas y minutos de actividad durante un día.

y se mantuvo la recolección de datos entre el primer y segundo semestre del 2016. Durante este tiempo, los dispositivos estuvieron recogiendo datos y enviándolos al servidor de *Fitbit*. Durante el primer semestre, se efectuó una primera validación, en la que se presentaron los siguientes resultados: Se procesaron 121 datos en *batch*, que correspondían a lecturas tomadas entre el 01 de enero de 2016, y el 30 de abril de 2016 desde el dispositivo *flex*. Se procesaron 30 registros de procesos diarios correspondientes al mes de mayo de 2016, desde el dispositivo HR. La verificación de la validez de los datos cargados, se efectuó consultando directamente la información histórica en el servidor de *Fitbit* (Figura 31), contra los datos cargados en la base de datos *Postgres* (figura 32).

	A	B	C	D	F	I	J
1	Activities						
2	Date	Calories Burned	Steps	Distance	Minutes Sedentary	Minutes Very Active	Activity Calories
3	02/03/2016	2,832	14,629	10.56	1,105	51	1,516
4	03/03/2016	3,027	17,701	12.95	1,115	94	1,661
5	04/03/2016	2,813	12,375	8.93	1,052	23	1,529
6	05/03/2016	2,412	7,738	5.59	1,197	16	950
7	06/03/2016	1,637	13	0.01	1,439	0	3
8	07/03/2016	2,566	10,512	7.71	1,179	36	1,138

Figura 31: Muestra descargada de *Fitbit*

id_cuidador	unidadessenal	valorsenal	fechahora_senal
character var	character varying	character varyi	character varying(32)
99	Pasos por dia	14629	2016-03-02
99	Pasos por dia	17701	2016-03-03
99	Pasos por dia	12375	2016-03-04
99	Pasos por dia	7738	2016-03-05
99	Pasos por dia	13	2016-03-06
99	Pasos por dia	10512	2016-03-07

Figura 32: Muestra cargada en la Base de Datos

Para el segundo semestre, se efectuó seguimiento a la recolección de datos y procesamiento desde el modelo de consolidación, desde el 01 de junio y hasta el 7 de noviembre de 2016, es decir un intervalo de 160 días. Durante este intervalo de tiempo, se obtuvieron 27 lecturas con datos mayores a cero desde el dispositivo *flex*⁴⁴, 112 lecturas mayores a cero desde el dispositivo HR, y 57 lecturas de peso desde el dispositivo *Aria*. Estos registros fueron procesados y cargados a la base de datos. La razón por la que el número de lecturas con valores mayores a cero es distinto del valor esperado, es porque los usuarios, o bien no se pesaron (para el caso del dispositivo *Aria*), o bien no realizaron la sincronización de los datos desde la aplicación *fitbit* para *Smartphone*.

⁴⁴ Este bajo número de lecturas, indica que el usuario del equipo, no realizó con regularidad la sincronización de los datos con el servidor de *Fitbit*.

Se debe tener en cuenta que, para la sincronización de datos, la conexión se establece directamente con una plataforma de servicio productiva, por tanto, los datos obtenidos son reales. Para la sincronización de los datos desde el servidor *fitbit* con el modelo de consolidación, el adaptador construido se ejecutó con regularidad, desde el equipo de desarrollo del proyecto. Durante estos procesos de sincronización, el adaptador estuvo parametrizado para hacer lecturas al servidor de *fitbit*, cada cinco minutos, intervalo durante el cual, el servidor de consolidación puede procesar todas las solicitudes correspondientes a los equipos que se encuentran configurados. Un tiempo menor, puede ocasionar que el servidor no logre finalizar la sincronización, y de otro lado, se puede llegar a exceder el límite establecido por el servicio de *fitbit*, que es de 150 lecturas por hora por cada uno de los usuarios. Dado que las unidades en las que se reportan los datos de pasos desde el servidor de *fitbit*, son solo una por cada medida (pasos por día, pulsaciones por minuto y peso en kg), no fue necesario hacer verificación de la transformación entre unidades. Lo único que se verificó fue que los datos cargados, fueran los mismos que se obtuvieron desde el servicio de *fitbit*.

2) Integración de datos desde *Smartphone*

Se tuvo un segundo proceso de validación, para el cual se utilizó una aplicación desarrollada en *Android*. Esta aplicación captura manualmente los datos de signos vitales de una persona (frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca, presión arterial sistólica, presión arterial diastólica, temperatura y saturación de oxígeno⁴⁵), y permite elegir las posibles unidades de medida según el tipo de lectura; por ejemplo, para el registro de una unidad de temperatura, el usuario puede elegir entre grados *Celsius*, grados *Fahrenheit*, o grados *Réaumur*, y el sistema garantiza que estos datos sean convertidos y guardados en un solo formato, en este caso grados *Celsius*. Para estas pruebas, se ingresaron datos en todas las combinaciones posibles entre signos vitales y unidades, y el sistema efectuó correctamente las transformaciones. Así mismo, dependiendo del signo vital, y su escala de unidades (figura 33), se realizaron pruebas para probar que el sistema marcara adecuadamente los datos típicos o normales, y los diferenciara de los datos atípicos, o que están por fuera del esperado para una determinada unidad de medida. El detalle de los casos de prueba aplicados y los resultados, se encuentra en el anexo 10.

		UNIDADES							
		Grado Celsius	Grado Fahrenheit	Grado Réaumur	Pulsaciones por minuto	Pulsaciones por hora	Respiraciones por Minuto	mmHG	% de saturación de oxígeno
SIGNOS	Temperatura	x	x	x					
	Frecuencia Cardíaca				x	x			
	Frecuencia Respiratoria						x		
	Presión Sistólica							x	
	Presión Diastólica							x	
	Saturación de Oxígeno								x

Figura 33: Combinaciones de unidades con signos

⁴⁵ Esta señal, no es aceptada como signo vital, pero es relevante para los procesos de diagnóstico médico.

En todos los casos, se verificó que el sistema había procesado los datos satisfactoriamente. Tener en cuenta que la responsabilidad del procesamiento y homogenización, es del componente conector que se integra al sistema, por lo que esta verificación, se debe hacer con todos los nuevos conectores que se ingresen al sistema.

B. Validación del modelo de análisis

La validación del modelo de análisis, se realizó mediante el Modelo de Aceptación Tecnológica TAM [47], y para el efecto, se presentó el prototipo a la Dirección de Envejecimiento, a la Oficina de Gestión Biomédica del Hospital Universitario San Ignacio y a la oficina de salud pública de la Pontificia Universidad Javeriana. La validación se realizó inicialmente con la Dirección de Envejecimiento y con la oficina de Gestión Biomédica, debido a que desde el comienzo del proyecto participaron en la fase de relevancia. Por un lado, la dirección de envejecimiento, aportó lo relacionado con la necesidad y pertinencia del proyecto para aliviar la congestión hospitalaria, y para que los pacientes puedan tener un seguimiento remoto real, más allá de la visita de un cuidador. De otro lado, la oficina de gestión biomédica, como conocedora de las herramientas y de las condiciones de operación de los equipos biomédicos, aportó conocimiento valioso sobre la tipología de equipos que se manejan en el hospital, y detalles sobre los equipos y signos que estos pueden monitorear. Con el propósito de tener una evaluación imparcial sobre el proyecto, se solicitó una sesión de validación con la oficina de salud pública.

Las calificaciones resultantes del proceso de validación se valoraron sobre una escala de 1 a 7 (tabla 10), y se encuentran detalladas en el anexo 9. En la tabla 11 se presentan los resultados de las calificaciones consolidadas por categoría. En general, se aprecia que la valoración dada por las áreas es muy similar, sin embargo, existen diferencias importantes en cuanto a la facilidad de uso percibida, placer recibido y usabilidad objetiva, ítems que fueron mejor valorados por la oficina de Gestión Biomédica. Respecto al ítem de calidad de la salida, quien mejor lo valoró, fue la Dirección de Envejecimiento, y esto es muy importante, porque está relacionado con los resultados esperados de componente de Análisis del Sistema. Así mismo, las valoraciones de intención conductual y utilidad percibida han tenido una valoración positiva, lo que también valida la utilidad práctica del sistema. Todos los participantes en la validación indicaron que su tiempo de utilización al día sería de entre cuatro y seis horas.

Tabla 10: Escala de valoración TAM

Valoración	Criterio
1	Muy en desacuerdo
2	Moderadamente en desacuerdo
3	Algo en desacuerdo
4	Neutral
5	Algo de acuerdo
6	Moderadamente de acuerdo
7	Totalmente de acuerdo

Tabla 11: Calificaciones para la validación según TAM.

Categoría	Of. Gestión Biomédica⁴⁶	Dirección de Envejecimiento⁴⁷	Oficina de Salud Pública⁴⁸	Promedio
Utilidad Percibida	5,8	5,5	6,0	5,8
Facilidad de Uso Percibida	6,8	4,3	3,5	4,8
Percepciones de control externo	5,7	6,3	5,8	5,9
Placer percibido	6,0	4,7	5,3	5,3
Usabilidad objetiva	5,0	4,0	5,0	4,7
voluntariedad	6,0	7,0	6,0	6,3
Relevancia del trabajo	5,7	5,0	5,7	5,4
Calidad de salida	5,3	6,5	6,0	5,9
Demostrabilidad del resultado	6,5	7,0	5,0	6,2
Intención Conductual	6,5	7,0	7,0	6,8
Utilizar (horas)	4,0	5,0	6,0	5 horas
Promedio Total	5,9	5,7	5,5	5,7

De las sesiones de validación, surgieron algunos comentarios que son muy consistentes con la calificación dada. De un lado, la Dirección de Envejecimiento, indicó que, para un usuario entrenado, la interacción con el sistema podía ser ágil, pero para un usuario no experimentado, las opciones de menú podrían llegar a ser algo confusas. Una percepción similar se tuvo de parte de la oficina de Salud Pública. Surgieron también aspectos positivos respecto de la calidad de las salidas, y de la utilidad del sistema como apoyo a la toma de decisiones. Sin embargo, indicaron que algunos reportes que hacen combinación de distintos signos vitales, tendrían una aplicación real, únicamente para algunas combinaciones de signos vitales que son conocidas en el ámbito médico, como es el caso de las señales de presión arterial sistólica contra presión arterial diastólica, y la combinación de la oximetría, con la presión arterial diastólica. Frente a esta situación, se les planteó la posibilidad de retirar esas combinaciones no usuales, sin embargo, prefirieron que se investigara más a fondo en la literatura científica, respecto a posibles relaciones entre estas variables.

⁴⁶ Valoración dada por Luis Humberto Corso, ingeniero biomédico con especialización en gerencia en la calidad de servicios de salud.

⁴⁷ Valoración dada por el médico Diego Chavarro, especialista en medicina interna, especialista en geriatría clínica, magíster en epidemiología, PhD student at SPRU - University of Sussex.

⁴⁸ Valoración dada por Sandra Londoño, Doctorada en salud pública con maestría en epidemiología.

VII. CONCLUSIONES

La oferta de dispositivos para el seguimiento remoto de pacientes y las tecnologías de la información y comunicaciones con la que se dispone hoy día, permiten la generación de modelos de atención en salud que benefician el bienestar de los pacientes, y evitan costos en la prestación de servicios médicos. De acuerdo con la revisión de la literatura, se puede ver el interés que existe en el desarrollo de sistemas de seguimiento remoto de pacientes, lo que indica que, en el corto plazo, se puede ampliar la oferta de dispositivos comerciales y no comerciales para la obtención de señales biomédicas. En la medida que estos dispositivos sean incorporados como parte de programas de extensión hospitalaria⁴⁹, mayor relevancia tomará este trabajo.

El modelo de consolidación probó su utilidad para ser empleado en el cuidado remoto de pacientes, porque resuelve problemas de heterogeneidad tanto en los formatos de envío, como en los formatos de datos. En cuanto a la integración con terceros, se probó que es factible, pese a que, para algunos de ellos, sea necesario construir adaptadores que intermedien entre el servidor de un tercero, y el servidor de consolidación. El modelo de análisis, probó ser de utilidad para el seguimiento remoto de pacientes, gracias a los modelos de análisis y de presentación de información, sin embargo, es necesario replantear la navegabilidad, dado que fue una debilidad descubierta en la validación.

El modelo planteado, ofrece escalabilidad tanto en la integración de nuevos dispositivos, como en la incorporación de nuevos algoritmos para el análisis de los datos, y para la entrega de alertas. Su escalabilidad se validó mediante la incorporación transparente al sistema del dispositivo *Aria* de *Fitbit*, que tuvo lugar meses después de la integración inicial de los dispositivos *HR* y *Flex*. Sin embargo, se debe tener presente que en la medida que el sistema es escalado, aumenta también la complejidad para los administradores. La arquitectura planteada y las tecnologías usadas para la implementación del prototipo, permiten escalabilidad a nivel de software, dado que estos servicios se pueden desplegar en esquemas de alta disponibilidad.

Como trabajo futuro se sugiere la implementación de nuevos modelos de análisis que procesen la información obtenida de los diferentes sensores remotos de un paciente y dé a los profesionales de la salud, nuevos elementos para la toma de decisiones. Así mismo, se recomienda hacer explotación de la información histórica de las lecturas para generar modelos predictivos que identifiquen señales tempranas de riesgo, mediante la incorporación de nuevos algoritmos de análisis. Del mismo modo, se sugiere que sean desarrollados nuevos componentes para la entrega de alertas, como puede ser la generación de mensajes para *WhatsApp*, o la creación de

⁴⁹ Programas ideados para dar de alta a pacientes de bajo riesgo, quienes pueden finalizar su tratamiento en casa, con el apoyo de familiares y mediante un seguimiento y control por parte de profesionales de centro médico, o entidad responsable del paciente.

modelos de listas publicador suscriptor, con acuse de recibo. Se sugiere enriquecer el prototipo de la APP móvil, para que, mediante los sensores instalados en el Smartphone, obtenga y transmita datos de la actividad del paciente, y también, para que sirva de canal de comunicación entre el médico y el cuidador respecto a recomendaciones de tratamiento.

Finalmente, desde el punto de vista médico y científico, se recomienda profundizar la búsqueda de trabajos que presenten la relación entre las distintas señales fisiológicas del ser humano, para dar mejor aprovechamiento al componente de análisis que se construyó para este proyecto.

VIII. TABLA DE ANEXOS

Anexo	Descripción
Anexo 1	Documento de requerimientos de Modelo de Consolidación
Anexo 2	Documento de requerimientos de Componente de Análisis
Anexo 3	Acta de reunión Instituto Envejecimiento
Anexo 4	Registro de aplicación para la integración con <i>FitBit</i>
Anexo 5	Acta de reunión Gestión Biomédica HUSI ⁵⁰ .
Anexo 6	Selección IDE ⁵¹ de desarrollo
Anexo 7	Generación de la OVA ⁵²
Anexo 8	Modelo entidad relación de módulo de Alta Temprana
Anexo 9	Calificaciones Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM)
Anexo 10	Pruebas de integración desde Smartphone
Anexo 11	Distribución de componentes
Anexo 12	Matriz Resumen de Trabajos Relacionados

⁵⁰ Siglas de Hospital Universitario San Ignacio.

⁵¹ Acrónimo de *Integrated Development Environment* o entorno integrado de desarrollo.

⁵² Acrónimo para *Open Virtual Appliance*, que es un formato de archivo para máquinas virtuales.

IX. REFERENCIAS

- [1] X. Scheil-Adlung, «Revisión de las políticas para avanzar hacia la cobertura universal de salud en los países de bajos ingresos: ventajas de los pisos nacionales de protección social.», *Rev. Int. Secur. Soc.*, vol. 66, n.º 3/4, pp. 159-186, jul. 2013.
- [2] L. M. Tovar-Cuevas y M. Arrivillaga-Quintero, «Estado del arte de la investigación en acceso a los servicios de salud en Colombia, 2000-2013: revisión sistemática crítica. (Spanish)», *State Art Access Health Serv. Res. Colomb. 2000-2013 Syst. Rev. Engl.*, vol. 13, n.º 27, pp. 11-26, jul. 2014.
- [3] B. G. Celler y R. S. Sparks, «Home telemonitoring of vital signs - Technical challenges and future directions», *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, vol. 19, n.º 1, pp. 82-91, 2015.
- [4] T. Zapata Jaramillo y D. P. Sánchez Villavicencio, *Medición de inequidades en salud para Colombia. Población rural - urbana*. 2012.
- [5] R. Morelos Ramírez, M. Ramírez Pérez, G. Sánchez Dorantes, C. Chavarín Rivera, y E. Meléndez-Herrada, «El trabajador de la salud y el riesgo de enfermedades infecciosas adquiridas. (Spanish)», *Healthc. Provid. Risk Acquir. Infect. Dis. Stand. Biosaf. Precaut. Engl.*, vol. 57, n.º 4, pp. 34-42, ago. 2014.
- [6] J. G. Jiménez Jiménez *et al.*, «Caracterización epidemiológica de las infecciones nosocomiales en un hospital de tercer nivel de atención de la ciudad de Medellín, Colombia: enero 2005 - junio 2009. (Spanish)», *Charact. Hosp.-Acquir. Infect. Third-Level Hosp. Medellin Colomb. January 2005 - June 2009 Engl.*, vol. 29, n.º 1, pp. 46-55, ene. 2010.
- [7] J. V. GONZÁLEZ, O. A. VILLEGAS ARENAS, y V. V. GONZÁLEZ, «SEMILOGÍA DE LOS SIGNOS VITALES: UNA MIRADA NOVEDOSA A UN PROBLEMA VIGENTE. (Spanish)», *Vitals Sign Semiology New Look Actual Probl. Engl.*, vol. 12, n.º 2, pp. 221-240, jul. 2012.
- [8] C. Calderón y R. Dennis, «Costos económicos de neumonía adquirida en comunidad, meningitis y bacteriemia por *Streptococcus pneumoniae* en una población adulta que requirió hospitalización en Bogotá, Colombia. (Spanish)», *Econ. Cost Streptococcus Pneumoniae Community-Acquir. Pneumonia Meningitis Bacteremia Adult Popul. Required Hosp. Bogotá Colomb. Engl.*, vol. 34, n.º 1, pp. 92-101, ene. 2014.
- [9] J. Gallego Londoño, J. D. Lemos Duque, y A. M. Hernández Valdivieso, «DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PORTÁTIL E INALÁMBRICO PARA EL MONITOREO AMBULATORIO DE LA PRESIÓN ARTERIAL NO INVASIVA. (Spanish)», *Des. PORTABLE Wirel. DEVICE Ambul. Monit. NONINVASIVE BLOOD Press. Engl.*, vol. 6, n.º 11, p. 121, jul. 2010.
- [10] S. C. Ardila, «ESTADO ACTUAL DEL MONITOREO REMOTO DE PACIENTES USANDO REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS. (Spanish)», *Rev. Entérese Bol. Científico Univ.*, n.º 27, p. 64, dic. 2009.
- [11] A. Villar-Montini, «Tecnología de monitoreo remoto inalámbrico. (Spanish)», *Remote Wirel. Monit. Engl.*, vol. 79, n.º 5, pp. 75-78, dic. 2009.
- [12] D. L. Chandler, «How technology will be transforming both inpatient and at-home care», *IEEE Pulse*, vol. 5, n.º 6, pp. 16-21, 2014.
- [13] C. A. Gómez García y J. Velasco Medina, «Sistema de pulsioximetría y capnografía para dispositivos móviles Android. (Spanish)», *PULSE-OXIMETRIC CAPNOGRAPHIC Syst. ANDROID Mob. DEVICES Engl.*, vol. 8, n.º 15, pp. 36-44, ene. 2014.
- [14] J. A. Falla Luna y O. D. Pinzón Heredia, *Sistema de video-monitoreo remoto para hogares vía celular*. 2010.

- [15] Toshiba Semiconductor & Storage Products Company, «Toshiba Desarrolla un Módulo Sensor de Signos Vitales Ponible Inteligente», *Bus. Wire Esp.*, may 2013.
- [16] F. C. Jiménez González, O. O. Vergara Villegas, D. E. Torres Ramírez, V. G. Cruz Sánchez, y H. Ochoa Domínguez, «Smart Multi-Level Tool for Remote Patient Monitoring Based on a Wireless Sensor Network and Mobile Augmented Reality», *Sens. 14248220*, vol. 14, n.º 9, pp. 17212-17234, sep. 2014.
- [17] S. E. CAMPAÑA BASTIDAS y J. M. LONDOÑO PELÁEZ, «ESTUDIO DE REDES DE SENSORES Y APLICACIONES ORIENTADAS A LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE SEÑALES BIOMÉDICAS. (Spanish)», *Wirel. Sens. Netw. Relat. Appl. Collect. Anal. Biomed. SIGNALS Engl.*, vol. 12, n.º 33, p. 85, may 2013.
- [18] J. Winkley, P. Jiang, y W. Jiang, «Verity: An ambient assisted living platform», *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 58, n.º 2, pp. 364-373, 2012.
- [19] G. Dogali Cetin, O. Cetin, y C. Bayilmis, «A real-time life-care monitoring framework: WarnRed hardware and software design», *Turk. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 23, n.º 4, pp. 1040-1050, 2015.
- [20] F. Lamonaca, G. Polimeni, K. Barbé, y D. Grimaldi, «Health parameters monitoring by smartphone for quality of life improvement», *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 73, pp. 82-94, 2015.
- [21] A. (1) Rajkomar, A. (1) Blandford, y A. (2) Mayer, «Understanding safety-critical interactions with a home medical device through Distributed Cognition», *J. Biomed. Inform.*, vol. 56, pp. 179-194, 01 2015.
- [22] M. M. Baig, H. Gholamhosseini, y M. J. Connolly, «A comprehensive survey of wearable and wireless ECG monitoring systems for older adults.», *Med. Biol. Eng. Comput.*, vol. 51, n.º 5, pp. 485-495, may 2013.
- [23] J. Basilakis, N. H. Lovell, S. J. Redmond, y B. G. Celler, «Design of a decision-support architecture for management of remotely monitored patients», *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, vol. 14, n.º 5, pp. 1216-1226, 2010.
- [24] M. (1) Skubic, R. D. (1 Guevara 2), y M. (3) Rantz, «Automated health alerts using in-home sensor data for embedded health assessment», *IEEE J. Transl. Eng. Health Med.*, vol. 3, 01 2015.
- [25] L. Fanucci *et al.*, «Sensing devices and sensor signal processing for remote monitoring of vital signs in CHF patients», *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 62, n.º 3, pp. 553-569, 2013.
- [26] M. E. Guevara-Valdivia *et al.*, «Monitoreo remoto y seguimiento del paciente con desfibrilador automático implantable y terapia de resincronización cardíaca. (Spanish)», *Remote Monit. Follow Implant. Cardioverter Defibrillators Card. Resynchronization Ther. Devices Engl.*, vol. 81, n.º 2, pp. 93-99, abr. 2011.
- [27] V. Ebrahimi *et al.*, «Design of a decision support system for chronic diseases coupling generic therapeutic algorithms with guideline-based specific rules.», *Stud. Health Technol. Inform.*, vol. 124, pp. 483-488, 2006.
- [28] J. A. Agreda y E. Gonzalez, «Ambient intelligence based multi-agent system for attend elderly people», en *Computing Colombian Conference (9CCC), 2014 9th*, 2014, pp. 115-120.
- [29] M. Abo-Zahhad, S. M. Ahmed, y O. Elnahas, «A Wireless Emergency Telemedicine System for Patients Monitoring and Diagnosis.», *Int. J. Telemed. Appl.*, pp. 1-11, ene. 2014.
- [30] P.-H. Cheng, F. Lai, y J.-S. Lai, «A service-oriented healthcare message alerting architecture in an asia medical center: A case study», *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, vol. 6, n.º 6, pp. 1870-1881, 2009.

- [31] C. R. M. Leite, G. R. A. Sizilio, A. D. D. Neto, R. A. M. Valentim, y A. M. G. Guerreiro, «A fuzzy model for processing and monitoring vital signs in ICU patients», *Biomed. Eng. Online*, vol. 10, 2011.
- [32] R. Chauhan, H. Kaur, y M. A. Alam, «Data clustering method for discovering clusters in spatial cancer databases», *Int. J. Comput. Appl. 0975–8887 Vol.*, 2010.
- [33] D. Tomar y S. Agarwal, «A survey on Data Mining approaches for Healthcare», *Int. J. Bio-Sci. Bio-Technol.*, vol. 5, n.º 5, pp. 241-266, oct. 2013.
- [34] J. M. Dudik, A. Kurosu, J. L. Coyle, y E. Sejdić, «A Comparative Analysis of DBSCAN, K-Means, and Quadratic Variation Algorithms for Automatic Identification of Swallows from Swallowing Accelerometry Signals», *Comput. Biol. Med.*, vol. 59, pp. 10-18, abr. 2015.
- [35] L. Duclos-Gosselin, B. Rigaux-Bricmont, y R. Y. Darmon, «How Health Managers Can Use Data Mining for Predicting Individuals' Risks of Contracting Nosocomial Pneumonia», *Health Mark. Q.*, vol. 32, n.º 1, pp. 1-13, ene. 2015.
- [36] M. C. Gulliford *et al.*, «Electronic health records for intervention research: a cluster randomized trial to reduce antibiotic prescribing in primary care (eCRT study).», *Ann. Fam. Med.*, vol. 12, n.º 4, pp. 344-351, jul. 2014.
- [37] Y. Li y Y. Guo, «Wiki-Health: From Quantified Self to Self-Understanding», *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 56, pp. 333-359, mar. 2016.
- [38] B. Meyer, *Object-oriented software construction*. New York Prentice Hall 1988, 1988.
- [39] E. Gamma, R. Johnson, G. Booch, J. Vlissides, y R. Helm, *Design patterns. elements of reusable object-oriented software*. Reading, Massachusetts Addison-Wesley 1995., 1995.
- [40] D. R. Prasanna, *Dependency injection: design patterns using spring and guice*. Greenwich, CT. : London: Manning ; Pearson Education [distributor], 2009.
- [41] A. M. Muñoz y A. M. Obando, «Heterogeneidad de Datos y Posibles Soluciones (Marzo 2006)».
- [42] M. H. Yarmand, K. Sartipi, y D. G. Down, «Behavior-based access control for distributed healthcare systems.», *J. Comput. Secur.*, vol. 21, n.º 1, p. 1, ene. 2013.
- [43] J. Botella de Maglia y L. Compte Torrero, «Saturación arterial de oxígeno a gran altitud. Estudio en montañeros no aclimatados y en habitantes de alta montaña», *Med. Clínica*, pp. 172-176, 2005.
- [44] T. Baker *et al.*, «Vital Signs Directed Therapy: Improving Care in an Intensive Care Unit in a Low-Income Country.», *PLoS ONE*, vol. 10, n.º 12, pp. 1-15, dic. 2015.
- [45] F. . Montufar *et al.*, *Recomendaciones para el diagnóstico, tratamiento y prevención de la neumonía adquirida en la comunidad en adultos inmunocompetentes*. 2013.
- [46] P. Cingolani y J. Alcalá-Fdez, «jFuzzyLogic: a java library to design fuzzy logic controllers according to the standard for fuzzy control programming», *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, vol. 6, n.º sup1, pp. 61–75, 2013.
- [47] V. Venkatesh y H. Bala, «Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions», *Decis. Sci.*, vol. 39, n.º 2, pp. 273–315, 2008.