

PA171-11

Modelo Informático de integración AmI-IoT para el Cuidado de Adultos Mayores
CARE_HOME16

Andrés Armando Sánchez Martín

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
BOGOTÁ, D.C.
2017

PA171-11
Modelo Informático de integración AmI-IoT para el Cuidado de Adultos
Mayores CARE_HOME16

Autor:

Andrés Armando Sánchez Martín

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

Director

Ing. Enrique González Guerrero, PhD

Comité de Evaluación del Trabajo de Grado

Rafael Vicente Páez Méndez

Holman Diego Bolívar Barón

Página web del Trabajo de Grado

http://pegasus.javeriana.edu.co/~PA171-11-CARE_HOME16

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
BOGOTÁ, D.C.
Mayo, 2017

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

Rector Magnífico

Jorge Humberto Peláez, S.J.

Decano Facultad de Ingeniería

Ingeniero Jorge Luis Sánchez Téllez

Director Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación

Ingeniera Angela Carrillo Ramos

Director Departamento de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero 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 mi madre Ana y mi padre Andrés, que me han dado la más maravillosa educación, enseñándome a ser una persona de bien y útil para la sociedad, que siempre me han brindado su amor y apoyo de manera incondicional. A mi novia Elizabeth, que siempre me ha impulsado a ser mejor, me ha acompañado en los momentos difíciles y felices, y no me ha dejado bajar los brazos.

A Salomón Q.E.P.D, quien siempre creyó y confió en mí, y que sirvió de inspiración para este trabajo.

A mis compañeros de oficina, quienes siempre me cubrieron para poder lograr este trabajo, les debo una...

A Enrique, por toda su paciencia y excelente labor como asesor de trabajo, he aprendido mucho, siempre es bueno encontrar una buena guía.

A La Pontificia Universidad Javeriana, por brindarme todos los recursos, tanto humanos como técnicos, necesarios para desarrollar mi trabajo de grado.

Y sobre todo a Dios, a quien le debo todo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	16
1.1 PROBLEMÁTICA	16
1.2 OPORTUNIDAD.....	16
2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	18
2.1 OBJETIVO GENERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
2.3 FASES DE DESARROLLO.....	18
2.3.1 <i>Analizar: la información del contexto y la tecnología.....</i>	<i>19</i>
2.3.2 <i>Diseñar: el modelo informático de integración.....</i>	<i>19</i>
2.3.3 <i>Desarrollar: el prototipo del modelo y validar con la prueba de concepto y el caso de referencia.....</i>	<i>19</i>
3 MARCO TEÓRICO / ESTADO DEL ARTE	20
3.1 MARCO TEÓRICO	20
3.1.1 <i>Bienestar</i>	<i>20</i>
3.1.2 <i>Estado de Salud.....</i>	<i>21</i>
3.1.3 <i>Actividad Física</i>	<i>21</i>
3.1.4 <i>Interacción Social</i>	<i>21</i>
3.1.5 <i>Calidad de vida</i>	<i>21</i>
3.1.6 <i>Cuidador</i>	<i>22</i>
3.2 ESTADO DEL ARTE.....	22
3.2.1 <i>Internet de las Cosas – IoT.....</i>	<i>22</i>
3.2.2 <i>Inteligencia Ambiental – AmI.....</i>	<i>25</i>
3.2.3 <i>Consolidación del estado del arte</i>	<i>30</i>
4 TRABAJOS RELACIONADOS PUJ.....	32
4.1 INTEGRACIÓN DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS IEEE 802.15.4 EN APLICACIONES USN.....	32
4.1.1 <i>Identificar Problemáticas.....</i>	<i>32</i>
4.1.2 <i>Diseñar del modelo</i>	<i>33</i>
4.1.3 <i>Implementación y validación.....</i>	<i>34</i>
4.1.4 <i>Prototipo del middleware para la gestión de redes de sensores.....</i>	<i>35</i>
4.2 DISEÑO DE UN MODELO DE INTELIGENCIA AMBIENTAL PARA ASISTIR A PERSONAS DE LA TERCERA EDAD.....	36
4.2.1 <i>Determinar ambiente a controlar.....</i>	<i>36</i>

4.2.2	<i>Arquitectura de inteligencia ambiental</i>	37
4.2.3	<i>Diseño de mecanismo IA de análisis de conducta</i>	38
4.2.4	<i>Validación de la arquitectura</i>	39
4.3	APORTES DE LOS TRABAJOS RELACIONADOS	39
5	CONTEXTO DE BIENESTAR DEL ADULTO MAYOR	41
5.1	TECNOLOGÍAS	41
5.1.1	<i>Necesidades de IoT</i>	41
5.1.2	<i>Necesidades de AmI</i>	43
5.2	CASO DE REFERENCIA	44
5.2.1	<i>Definición del ambiente</i>	45
5.2.2	<i>Definición de Usuarios</i>	46
5.2.3	<i>Eventos</i>	47
5.2.4	<i>Requerimientos</i>	49
6	MODELO INTEGRADO AMI-IOT PROPUESTO	50
6.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO	50
6.2	SEGMENTO IOT	52
6.2.1	<i>Red de Nodos</i>	53
6.2.2	<i>Mediador</i>	54
6.2.3	<i>Red de Nodos Ubicuos</i>	54
6.3	SEGMENTO AMI	55
6.3.1	<i>Ambiente</i>	56
6.3.2	<i>Inteligencia</i>	57
6.3.3	<i>Interface AmI</i>	58
6.4	SEGMENTO UTILIDAD	59
6.4.1	<i>Adaptación</i>	59
6.4.2	<i>Servicio</i>	60
6.4.3	<i>Aplicación</i>	60
7	VALIDACIÓN DEL MODELO	62
7.1	PRUEBA DE CONCEPTO CON PROTOTIPOS DEL ESTADO DEL ARTE	62
7.1.1	<i>Trabajos seleccionados</i>	62
7.1.2	<i>Resultados de la comparativa contra los trabajos</i>	63
7.2	EVALUACIÓN CON MODELO DE ACEPTACIÓN	64
7.2.1	<i>Criterios objetivo a evaluar</i>	64
7.2.2	<i>Resultados de la evaluación del modelo de aceptación</i>	65
7.3	PROTOTIPO	67
7.3.1	<i>Componentes a implementar</i>	67
7.3.2	<i>Arquitectura</i>	68

7.4	PROTOCOLO DE PRUEBAS FUNCIONALES DEL MODELO	69
7.4.1	<i>Funcionalidad IoT</i>	69
7.4.2	<i>Funcionalidad Aml</i>	70
7.4.3	<i>Resultados del protocolo experimental</i>	71
8	CONCLUSIONES	73
9	TABLA DE ANEXOS	75
	REFERENCIAS	76

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1 MODELO INTEGRADO AMI-IOT.....	13
FIGURA 2 PROTOTIPO PARCIAL DEL MODELO PROPUESTO.	14
FIGURA 3 METODOLOGÍA IMPLEMENTADA.	18
FIGURA 4 RELACIÓN DE IOT CON OTRAS ÁREAS DE TI [17].....	23
FIGURA 5 CUOTA DE MERCADO PROYECTADA DE LAS APLICACIONES DE IOT PARA 2025 [37].	24
FIGURA 6 RELACIÓN DE AMI CON OTRAS ÁREAS DE TI [51].	26
FIGURA 7 PASOS NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TELE-CUIDADO [59].....	27
FIGURA 8 OBJETIVOS DE BIG DATA ANALYTICS [65].	28
FIGURA 9 MODELO USN DE INTEGRACIÓN DE WSN, TOMADO DE [71].	33
FIGURA 10 DIAGRAMA DE DESPLIEGUE DEL PROTOTIPO USN, TOMADO DE [71].	34
FIGURA 11 DIAGRAMA DE COMPONENTES DEL PROTOTIPO USN, TOMADO DE [16].	36
FIGURA 12 DIAGRAMA DE INTERACCIONES DE COMPONENTES SMA, TOMADO DE [73].....	38
FIGURA 13 MODELO DE REFERENCIA PARA IOT.	42
FIGURA 14 MODELO DE REFERENCIA PARA AMI.	43
FIGURA 15 DEFINICIÓN DE ROLES DE USUARIOS DEL CASO DE REFERENCIA.	47
FIGURA 16 CLASIFICACIÓN DE LOS EVENTOS DE BIENESTAR.	48
FIGURA 17 MODELO INTEGRADO AMI-IOT.....	51
FIGURA 18 SEGMENTO IOT.	52
FIGURA 19 SEGMENTO AMI.	56
FIGURA 20 SEGMENTO UTILIDAD.....	59
FIGURA 21 COMPONENTES IMPLEMENTADOS DEL SEGMENTO IOT.....	67
FIGURA 22 COMPONENTES IMPLEMENTADOS DEL SEGMENTO AMI.....	67
FIGURA 23 COMPONENTES IMPLEMENTADOS DEL SEGMENTO UTILIDAD.	68
FIGURA 24 ARQUITECTURA DEL PROTOTIPO.....	69
FIGURA 25 MONTAJE DE FUNCIONALIDAD IOT.	70
FIGURA 26 MONTAJE DE FUNCIONALIDAD AMI.	71
FIGURA 27 SIMULADOR ELDERLYSIM, TOMADO DE [73].	71
FIGURA 28 NIVELES DE BIENESTAR Y SALUD DE LA FUNCIONALIDAD AMI.....	72
FIGURA 29 CANTIDAD DE EVENTOS DE LA FUNCIONALIDAD AMI.....	72

TABLA DE TABLAS

TABLA 1 APLICACIONES DE BIG DATA ANALYTICS POR SECTOR [68].	29
TABLA 2 COMPARATIVA DE SOLUCIONES PLANTEADAS DESDE IOT, WSN, DOMÓTICA, AMI, TELE- CUIDADO Y BIG DATA ANALYTICS.	31
TABLA 3 COMPARACIÓN DE TRABAJOS MISYC.	40
TABLA 4 CAPAS VERSUS REQUERIMIENTOS IOT Y AMI.	51
TABLA 5 CAPAS VERSUS REQUERIMIENTOS DEL CASO DE REFERENCIA.	52
TABLA 6 DESCRIPCIÓN DE PROTOTIPOS, PARTE 1/2.	62
TABLA 7 DESCRIPCIÓN DE PROTOTIPOS, PARTE 2/2.	63
TABLA 8 ESCALA DE EVALUACIÓN LIKERT.	65
TABLA 9 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN TAM.	66

ABSTRACT

Elderly people suffer physical and mental deterioration, which halt and/or difficult the control of the homework, loss of independency and autonomy, affecting their quality of life and wellness. In this project, an integrated AmI-IoT layered model is designed that integrates functionalities of Internet of Things (IoT) and Environmental Intelligence (AmI) and provides a reference from monitoring and assistance of elderly people living alone. The model involves three segments responsible for automating housing, supervising the user, making decisions, monitoring events, identifying habits and accessing AmI and IoT services.

RESUMEN

Las personas de la tercera edad sufren deterioro físico y mental, que les impiden y/o dificultan el control de las tareas del hogar, la pérdida de su independencia y autonomía, afectando su calidad de vida y bienestar. En este proyecto se diseña un modelo integrado AmI-IoT en capas que integra funcionalidades de Internet de las Cosas (IoT) e Inteligencia Ambiental (AmI), y brinda una referencia para el monitoreo y asistencia de las personas de la tercera edad que viven solas. El modelo plantea tres segmentos encargados de automatizar la vivienda, supervisar al usuario, tomar decisiones, supervisar eventos, identificar hábitos, y acceder a servicios AmI e IoT.

RESUMEN EJECUTIVO

En la sociedad actual, el adulto mayor se ha convertido en una población vulnerable y olvidada, tanto por las entidades estatales como por sus familias. Razón por la cual son objeto de maltrato psicológico y físico. Aunque el gobierno ha impulsado políticas de protección, se debe señalar que no han sido efectivas, puesto que se estima que en Colombia el 60 por ciento de las personas mayores de 60 años, sufre de abandono en hospitales, hogares geriátricos y la calle. Dado que sus familiares ven en ellos una responsabilidad difícil de afrontar, puesto que son personas que necesitan de tiempo y cuidados especiales, porque que sus condiciones físicas y cognitivas se ven deterioradas por el proceso de envejecimiento, lo cual los convierte en dependientes de su familia y de la sociedad.

Los adultos mayores están más inclinados a presentar dificultades de salud de forma física y cognitiva, debido al deterioro desarrollado por la condición natural de envejecimiento, además, enfrentan el abandono de familiares por diferentes circunstancias, lo que lleva a que este grupo de personas se encuentren solas al momento de realizar diferentes actividades del hogar. El crecimiento de esta población va en aumento, lo que implica que más personas solas y en esas condiciones deban realizar diferentes actividades, que pueden generar dificultades o lesiones que comprometen el estado de salud y reduzcan el nivel de calidad de vida de estas personas. Una solución a esta problemática es la asistencia por parte del personal médico y personal capacitado para su cuidado, sin embargo, es una solución costosa y no hay suficiente personal para poder estar al tanto de todos, lo que reduce la posibilidad de esta población de poder utilizar esta solución. Por lo anterior, es necesario crear alternativas que permitan que los adultos mayores puedan ser asistidos desde casa, de forma sencilla y práctica para ellos, que no requiera mayores esfuerzos de movilidad y aprendizaje.

En el proceso de investigación, se construyó un estado del arte de trabajos relacionados con: las redes de sensores inalámbricos (WSN), domótica, análisis de datos (data analytics), internet de las cosas (IoT), e inteligencia ambiental (AmI); aplicadas a soluciones de tele-cuidado, bienestar e integración de tecnologías. Del estado del arte, se concluyó que, si bien, existen trabajos que abordan la problemática de tele-cuidado, o bienestar, se centran en la asistencia de personas enfermas o en la automatización de su ambiente. Es decir, ninguno plantea una solución que integre todas las tecnologías relacionadas en la búsqueda y que se enfoque tanto en el monitoreo y gestión del estado de salud de la persona, sino en brindar asistencia y bienestar en su ambiente de vivienda.

En el mismo proceso de investigación, se vio la oportunidad de tomar dos trabajos desarrollados en la Pontificia Universidad Javeriana, que brindan herramientas que permitirían plantear una solución de integración de inteligencia ambiental e internet de las cosas. El primer trabajo fue desarrollado por el ingeniero Enrique Ruiz, donde planteo un modelo para la integración de múltiples redes heterogéneas y prestando servicios IoT de manera ubicua. El segundo trabajo, lo desarrollo el ingeniero Javier Agreda, donde planteo un sistema multi-agente (SMA) para la detección de hábitos de un adulto mayor, que reside solo en una unidad de vivienda automatizada.

Frente a los antecedentes que plantea la problemática social de las personas de la tercera edad y la posibilidad de integrar conceptos tecnológicos para solucionarla, se plantea desarrollar un

Modelo Integrado AmI-IoT, que brinde cuidado y bienestar a personas que viven solas. El desarrollo de este modelo tiene impacto en el sistema de salud y en cómo se les puede prestar un mejor servicio de salud a los adultos mayores, además de aliviar la carga a las familias, brindándoles medios de comunicación y un entorno automatizado, liberando tiempo a la atención de las necesidades del adulto mayor.

Para entender la problemática se plantea un caso de referencia donde se definen los roles involucrados en la asistencia y bienestar de un adulto mayor, estos son: el adulto mayor, que es nuestro usuario principal, familiares y personas cercanas, como ese grupo de personas responsables del adulto mayor y quienes dan afecto a mismo, cuidador, persona responsable de acompañar y asistir al adulto mayor, y personal médico, como los encargados de brindar el servicio de salud y monitorear los signos vitales del adulto mayor.

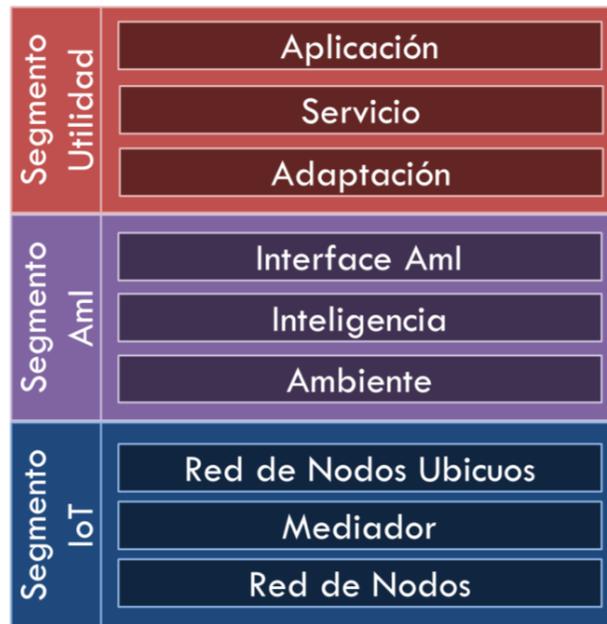


Figura 1 Modelo Integrado AmI-IoT.

El modelo que se define es un modelo en capas como se muestra en la figura 1, este modelo se divide en tres grandes segmentos, cada uno compuesto por capas que definen las funcionalidades básicas, para implementar una solución destinada brindar asistencia y bienestar a un adulto mayor. Además, se define el espacio de la vivienda, que debe contar con automatización y elementos que brinden bienestar, asistencia y seguridad al adulto mayor.

Para la validación del modelo propuesto, se realizaron tres tipos de pruebas, la primera fue la comparación y relación con modelos e implementaciones propuestos por otros autores, esto con el fin de garantizar la viabilidad y compatibilidad del modelo. La segunda fue una evaluación de modelo de aceptación que validó que el modelo cuenta con atributos de calidad como coherencia, modularidad, aplicabilidad, completitud, relevancia, compatibilidad. La última prueba, se hizo realizando un montaje experimental donde se puso a prueba una implementación parcial del modelo como se muestra en la figura 2, que valida si el modelo brinda asistencia y bienestar al adulto mayor.

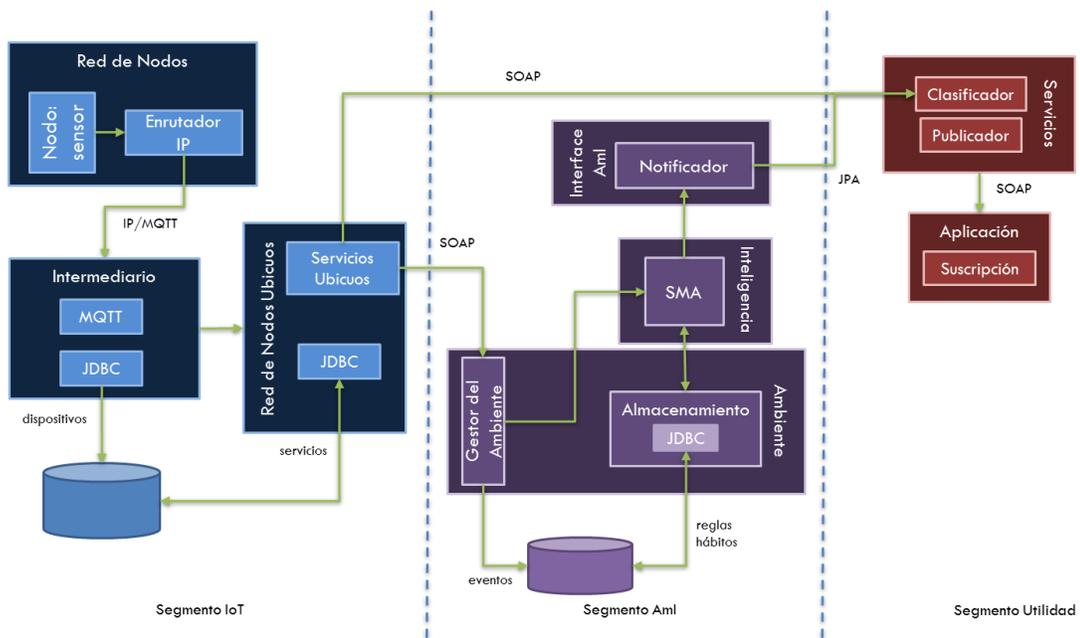


Figura 2 Prototipo parcial del modelo propuesto.

Como conclusión de este trabajo, se ve que el modelo propuesto cumple con una serie de atributos de calidad, que le da al Modelo Integrado AmI-IoT, la madurez suficiente para poder ser implementado, además que en su definición se da la posibilidad de ser fácilmente adaptado para ser aplicado en contextos diferentes al del cuidado de un adulto mayor, como al de creación de sistemas para ciudades inteligentes y el cuidado de los recursos ambientales. También plantea la posibilidad de aplicar componentes más detallados para realizar procesos de big data analytics, sobre los datos médicos y ambientales generados en una implementación del modelo propuesto.

INTRODUCCIÓN

Los adultos mayores, por su condición de envejecimiento, necesitan de asistencia médica y acompañamiento en el desarrollo de sus actividades diarias. Sumado a esto las familias no cuentan con el tiempo necesario para dedicarles a estas personas. Es por eso que desde la informática se pueden desarrollar soluciones que asistan y brinden bienestar a este grupo de personas.

En este documento encontrara el planteamiento de un Modelo Integrado AmI-IoT, que pretende brindar asistencia y bienestar a un adulto mayor que vive solo en una unidad de vivienda. El modelo propuesto integra funcionalidades de inteligencia ambiental (AmI), internet de las cosas (IoT), domótica, red de sensores inalámbricos (WSN) y analítica de datos; el modelo se divide en tres grandes segmentos, cada uno destinado a solucionar restos y problemáticas de carácter técnico por cada tecnología involucrada, agrupándolos en los segmentos IoT AmI y utilidad.

En el documento encontrara el estudio del estado del arte que le da relevancia al modelo planteado, al contribuir a la solución de la problemática con una herramienta de integración y guía de referencia para la implementación de productos de software AmI e IoT. Luego encontrara una definición propia de los modelos de referencia AmI e IoT, que sirvieron para la especificación de requerimientos necesarios para cumplir con la definición de los conceptos de internet de las cosas e inteligencia ambiental.

De igual manera se hizo la definición detallada del caso de referencia, donde encuentra la descripción de la vivienda, de los usuarios y los eventos generados por la interacción de los componentes y elementos involucrados. Luego se encuentra el planteamiento del modelo, el modelo se describe inicialmente de manera general, luego se describen los segmentos capas y componentes que lo conforman.

Por ultimo encontrara la validación del modelo propuesto, esta validación se planteó con tres tipos diferentes de pruebas con la intención de validar que el modelo cuenta con las características de calidad de: coherencia, modularidad, aplicabilidad, completitud, relevancia, compatibilidad. Además, que el modelo es aplicable al caso de referencia.

1 DESCRIPCIÓN GENERAL

1.1 Problemática

Los adultos mayores, por su condición natural de envejecimiento, presentan deterioro en sus sentidos, capacidad física, fisiológica y cognitiva. Debido a esa condición, las personas de la tercera edad son más propensas a enfermedades [1], necesitando asistencia para realizar las actividades diarias [2]. Otra problemática que enfrenta este grupo de personas, es el abandono de los familiares [3] por diferentes razones, como argumenta Carlos Alberto Cano Gutiérrez, director del instituto de envejecimiento de la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ), en una entrevista a El Tiempo: “en Bogotá el 59% de los adultos mayores son víctimas de maltrato. De estos el 60% de los casos, los responsables son miembros de su propia familia”, con esta cifra y con la expectativa de vida en Colombia que según la OMS es de 75 a 80 años, además, para el 2050 el 22% de la población mundial será mayor de 60 años [4], implica que el impacto de esta problemática será más alto al pasar el tiempo.

La solución tradicional que se le da a esta situación es la asistencia por parte de personal médico o personal capacitado para su cuidado, pero los costos son elevados, como muestra el ministerio de salud y protección social en el reporte de costos para cuidado y hospitalización de esta población, que es del 21% del presupuesto de salud [5] [6].

En conclusión, se observa que los cambios físicos, cognitivos y fisiológicos que sufren las personas de la tercera edad, tienen como implicación una mayor dificultad para hacer sus actividades diarias, que conllevan a un problema de autonomía, y los convierte en una población vulnerable, afectando su calidad de vida y bienestar. Además, con cuidado constante y asistencia se podrían prevenir muchos de los problemas típicos de la edad brindando mejor calidad de vida y bienestar [7].

1.2 Oportunidad

Para dar solución a esta problemática, desde la informática, se han realizado varias aproximaciones, utilizando diferentes tecnologías que aportan un factor relevante a la solución, como el presentado por Hassanaliyagh [8] que define las oportunidades y retos existentes en una solución de monitoreo de las condiciones de salud, implementando internet de las cosas (IoT) como tecnología de impacto. Zamora [9] propone DOMOSEC, que es una solución desde la domótica para la automatización del hogar y que podría usarse para el monitoreo de personas, usando dispositivos comerciales. Mileo [10] plantea el uso de redes de sensores inalámbricos (WSN) para soportar un sistema de “casa inteligente” para el cuidado de ancianos. Dogali [11] plantea una arquitectura para el tele-cuidado, que monitorea signos vitales como el electroencefalograma (EEG) y electrocardiograma (ECG) en tiempo real para la atención oportuna de complicaciones médicas en pacientes de la tercera edad. Silva [12] plantea UNIMEDS, un sistema que se apoya en la inteligencia ambiental para el suministro y control de medicamentos a personas que son asistidos en su hogar. Gachet [13] plantea un sistema que permita almacenar, gestionar y analizar grandes volúmenes de información médica que se encuentran en registros médicos y datos generados por sensores biomédicos de asistencia remota, con el fin de optimizar los recursos invertidos en el cuidado de adultos mayores.

En la PUJ, se han realizado trabajos relacionados a esta problemática, como el de Agreda [14] que plantea una arquitectura de inteligencia Ambiental (AmI) con agentes para la generación de alertas y hábitos. También, se tiene el trabajo de Ruiz [15] y Vivas [16], que ofrecen un middleware de integración de redes de sensores inalámbricos (WSN) que podrían ser usados en una implementación de salud.

Las posibles soluciones que se pueden dar desde la informática, usando los trabajos ya realizados en la PUJ, se pueden dividir en: IoT, que es la tecnología que integra el tele-cuidado, WSN, y domótica, con la plataforma de internet y permite proveer servicios sobre sensores y actuadores [17]; AmI, que provee inteligencia en entornos y contextos para la toma de decisiones y hábitos [18]. Si bien existen retos definidos tanto en IoT [19] como en AmI [20], tales como la comunicación, el análisis de datos generados en IoT y la especificación de metas e implementación del mecanismo de inteligencia en AmI, también existen retos en la integración de estas dos tecnologías (IoT, AmI) en aplicaciones de asistencia médica y cuidado de adultos mayores.

Si bien, en los trabajos anteriores, se abordan o proponen soluciones a la problemática, no existe una solución que integre tecnologías IoT (WSN, domótica, tele-cuidado) con AmI, y den solución al caso de asistencia médica a personas de la tercera edad, teniendo en cuenta aspectos como: la gestión de sensores y actuadores, automatización del ambiente, monitoreo de datos médicos, gestión de servicios, inteligencia ambiental y generación de datos estructurados. Lo anterior aplicado al contexto de asistencia médica o cuidado asistido en casa.

Este escenario nos presenta una oportunidad al poder integrar un middleware IoT [15] con un modelo AmI [14] desarrollados en la PUJ, en un modelo de integración común, con fines de tele-cuidado y asistencia médica a la población objetivo. Aprovechando las ventajas que ofrecen estos trabajos previos y agregando nuevas funcionalidades y características como: el uso de sensores y actuadores, inteligencia ambiental, gestión local y distribuida, y generación de datos estructurados. Se plantea un modelo para brindar bienestar en el caso específico de la problemática a la que se ven enfrentadas las personas mayores de 60 años que viven solas.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 Objetivo general

Diseñar un *modelo informático*¹ orientado a brindar cuidado y bienestar a personas de la tercera edad que integre un modelo IoT de sensores heterogéneos con un modelo AmI.

2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar el potencial aporte de cada tecnología para solventar las necesidades asociadas al cuidado de personas de la tercera edad.
2. Diseñar un modelo informático que sea aplicable al contexto de cuidado de adultos mayores y orientado a capas que integre IoT con AmI.
3. Desarrollar un prototipo funcional del modelo informático que integra IoT con AmI.
4. Validar el modelo informático con el prototipo funcional mediante el diseño y aplicación de un protocolo experimental que utilice sensores y simulación.

2.3 Fases de desarrollo

La metodología usada en el desarrollo de este trabajo de grado, se ejecutó en tres fases, que dan la ruta de acción, acorde a la metodología básica de ingeniería. Estas fases son; análisis, diseño y validación con retroalimentación como se muestra en la figura 3. Estas fases siempre tienen como referencia un caso de estudio que representa la problemática social a la que se quiere dar solución. Este caso de referencia se utiliza desde el inicio, como soporte para todas las fases, no solo para la validación final y prueba de concepto.



Figura 3 Metodología implementada.

¹ Sommerville I, Alfonso Galipienso M, Martín-Romo M. Ingeniería del software, Madrid, España Pearson Educación Addison Wesley c2005.; pp 23-30, 153-174, 2005. [Citado agosto 24, 2016].

2.3.1 Analizar: la información del contexto y la tecnología

En la primera fase, se identificaron las necesidades y problemáticas que se tienen en la asistencia y cuidado de las personas de la tercera edad y las ventajas y limitaciones que nos brinda cada tecnología involucrada (IoT, AmI). Para esta fase se definieron las siguientes actividades:

- A. Reconocer las necesidades y problemáticas de la asistencia de los adultos mayores.
- B. Identificar aportes y limitaciones de cada tecnología.
- C. Definición del ambiente y contexto a intervenir.
- D. Contrastar necesidades y potencialidades tecnológicas con relación al contexto.

2.3.2 Diseñar: el modelo informático de integración

En la segunda fase, se realizó el diseño del modelo informático de integración, definiendo las capas, componentes y estándares de comunicación. Utilizando la metodología *AOPOA* [21] se identificaron y caracterizaron las necesidades y se definieron las funcionalidades de cada capa y componente. Una vez realizado este proceso, se hizo una validación conceptual con relación al caso de referencia. Las actividades subsecuentes de esta fase son:

- A. Caracterizar y generalizar las funcionalidades de los componentes y las capas del modelo informático de integración.
- B. Definir las capas y componentes del modelo informático de integración.
- C. Establecer estándares de comunicación que utilizará el modelo informático de integración
- D. Elaboración del modelo informático de integración, con la documentación relacionada.

2.3.3 Desarrollar: el prototipo del modelo y validar con la prueba de concepto y el caso de referencia

En la tercera fase, se desarrolló un prototipo parcial y funcional del modelo, este prototipo fue construido con una adaptación de los procesos y artefactos de la metodología *Scrum* [22] y *eXtreme Programming* [23]. Las actividades subsecuentes de esta fase son:

Plantear el caso de referencia y prueba de concepto que se usarán en la validación.

- A. Desarrollar e implementar un prototipo funcional que cumpla con los componentes necesarios para la validación del modelo informático de integración.
- B. Diseñar el montaje del experimento, definiendo los sensores a utilizar y los parámetros del simulador.
- C. Hacer una prueba de concepto del prototipo funcional con el diseño experimental en el caso de referencia.
- D. Analizar los resultados y refinar el modelo informático de integración.

3 MARCO TEÓRICO / ESTADO DEL ARTE

Para la comprensión de este documento, se debe tener claro algunos conceptos necesarios para entender que funcionalidad le compete a cada tecnología que se va a implementar en el desarrollo del modelo integrado, cuáles son los conceptos que se van a tratar dentro del mismo y cómo impactan sobre la problemática social que se intenta mitigar. Primero, se definirá que es bienestar y calidad de vida en el contexto del cuidado del adulto mayor y cuáles son los objetivos que se quieren conseguir en este contexto. Luego, se detallan los dos grandes conceptos informáticos que van a intervenir dentro del modelo; inteligencia ambiental (AmI) e internet de las cosas (IoT), y sus tecnologías asociadas.

3.1 Marco Teórico

En lo relacionado con el cuidado de una persona de la tercera edad, hay que tener en cuenta muchos factores tales como: autonomía física y cognitiva, estado físico, estado anímico, entre otras [24], así mismo, la relación de esta persona con su ambiente y con otras personas.

Para entender un poco cuales son los factores que se deben tener en cuenta al momento de diseñar un modelo informático de apoyo al cuidado de un adulto mayor, primero, se debe definir que es el bienestar y cuáles son los factores que contribuyen a este, al igual que la calidad de vida.

3.1.1 Bienestar

La gerontología y geriatría definen el bienestar del adulto mayor como la integración de varias perspectivas o características de esta población. Estas características son [25]:

- **Auto aceptación (autoestima):** criterio que define el estado de asimilación del estado de vejez, el aprecio personal y el cambio de vida y hábitos que la vejez implica.
- **Relaciones positivas con los demás:** es importante que las personas que pertenecen a este grupo social, mantengan comunicación e interacción frecuente con otras personas como: familiares, amigos, personal de apoyo y personal médico. Esta interacción sirve para que las personas tengan un bienestar anímico y cognitivo.
- **Autonomía:** la capacidad que tiene el adulto mayor de realizar sus actividades físicas como: fisiológicas, desplazamientos, etc. y cognitivas como: la comunicación, toma de decisión, etc.
- **Dominio del ambiente:** la habilidad de la persona de elegir o modificar ambientes de acuerdo a las condiciones o necesidades propias, lo que implica la capacidad de manipular y controlar ambientes dinámicos.
- **Propósito en la vida:** la persona de la tercera edad, debe tener un sentido de utilidad en la sociedad, porque le da un sentido de dirección o intencionalidad, afectando su estado de ánimo y salud mental.
- **Crecimiento personal:** la condición de vejez no puede ir en contra, ni detener el desarrollo de la persona. Este crecimiento se da en todas las etapas de la vida, y en la vejez

no se debe detener. La persona debe continuar el desarrollo de su potencial, crecer y expandirse como individuo.

Estas características de auto aceptación (autoestima), crecimiento personal, relaciones positivas y el propósito en la vida, tienen impacto en el estado de ánimo de la persona. Si son negativas, la persona cae en un estado de depresión (infelicidad). Si este estado se presenta, afecta los otros aspectos y disminuye el estado de bienestar de las personas de la tercera edad afectado su actividad física, relaciones personales y salud [26].

3.1.2 Estado de Salud

Como es natural en todo ser humano, las personas de la tercera edad tienen un estado de salud, que se refiere a la condición física y cognitiva de la persona, tanto las discapacidades como las enfermedades. Los adultos mayores, presentan una condición médica de deterioro, dándose por el proceso natural de envejecimiento. En el contexto del cuidado de un adulto mayor, su estado de salud se debe monitorear, dependiendo de su diagnóstico médico se puede variar los factores a monitorear [27]. Se considera que una persona tiene un buen estado de salud, si este tiene la medida de punto de equilibrio, esta medida considera medidas como: la temperatura, presión, pulso entre otras. Como atributo de bienestar se considera buen estado de salud, no solo a la ausencia de enfermedades, si no, al buen estado físico, mental y social [28].

3.1.3 Actividad Física

La actividad física se refiere al ejercicio, las necesidades fisiológicas y su relación con el ambiente. En las personas de la tercera edad esta se debe motivar y controlar realizando el ejercicio bajo vigilancia para evitar lesiones o accidentes, debido a la pérdida ósea y muscular que se relaciona al proceso de envejecimiento. La actividad física tiene un impacto directo en la salud de la persona y en el estado emocional, ya que disminuye el estrés y la depresión [29]. El ambiente debe estar preparado para facilitar el desplazamiento por el mismo. Se debe monitorear las actividades fisiológicas, así como la ingesta de alimentos.

3.1.4 Interacción Social

Las personas tienen varias redes sociales con las que interactúan, estas se pueden clasificar en familia, amigos, vecinos, trabajo, etc. Este aspecto hace referencia a la necesidad que las personas tienen de mantener relación y comunicación con otros individuos. Las personas de la tercera edad esperan que se generen espacios donde ellos puedan sentir que aún son parte de las redes sociales, que son valorados y tenidos en cuenta [30]. La relación de estas personas siempre se debe dar por decisión propia evitando la generación de estrés y malestar. Cuando las personas entran en la tercera edad tienden a jubilarse, este cambio de hábitos puede afectar la relación social, porque pierden interacción con un grupo de personas que es habitual [31].

3.1.5 Calidad de vida

A lo largo de la historia de la humanidad, se ha dado un incremento de la esperanza de vida de las personas, donde en los últimos dos siglos ha sido considerable, debido a las condiciones de estabilidad y bienestar que da la vida moderna. Este incremento, ha tenido impacto en la calidad de vida cuando se llega a cierta edad, como lo es la llamada tercera edad que inicia a partir de

los 60 años, lo que ha provocado que la estructura demográfica vea un incremento de esta población, y se empieza a definir la calidad de vida de los adultos mayores [33].

La calidad de vida de los adultos mayores, hace referencia a las condiciones de bienestar, estado de salud, relaciones sociales y ambientales. Dichos factores deben ser garantizados para que una persona tenga una calidad de vida óptima. El proceso de envejecimiento y la pérdida de relaciones sociales, determinan la capacidad para percibir sus competencias, habilidades y los aspectos positivos del entorno que les rodea, afectando la autoestima o autosatisfacción que es el eje principal de la calidad de vida [34]. La calidad de vida de una persona se ve afectada por el número de personas con quien comparte su ambiente, lo que indica que las personas que viven solas tienen un índice menor en el bienestar y calidad de vida, con relación a las personas que viven con su pareja [35].

3.1.6 Cuidador

Dentro de las personas con las que tienen interacción y dependiendo del grado de autonomía, se encuentra la figura del cuidador. Estas personas son el apoyo del adulto mayor para poder realizar sus actividades. Mientras menos autonomía física y cognitiva tiene el adulto mayor, más dependiente de un cuidador se hace [32]. La interacción entre un cuidador y el adulto mayor se debe dar con una buena preparación física y emocional del cuidador, sin importar el tipo de relación afectiva que tenga con el adulto mayor, este debe estar capacitado para afrontar las tareas que se le presenten [24].

3.2 Estado del Arte

Dentro de las tecnologías asociadas a la solución de la problemática del cuidado de los adultos mayores que viven solos, se plantea un estado del arte donde se pueden evidenciar, las propuestas planteadas desde la informática para solucionar dicha problemática. Estas propuestas se dividen en las tecnologías asociadas a los conceptos de internet de las cosas y al de inteligencia ambiental.

3.2.1 Internet de las Cosas – IoT

Dentro de las soluciones planteadas desde IoT, se encuentran todas las que se encargan de la toma de datos, control de dispositivos y publicación de estos datos como servicios en internet. Este concepto se basa en la evolución del internet, permitiendo la conexión e interacción de objetos (cosas) con otros objetos o personas, comunicando y controlando los objetos a través de la red mediante una nube de servicios. Los procesos que se definen en IoT se muestran en figura 4 [17].

El centro de investigación SAP lo define como: *“un mundo en el que los objetos físicos están perfectamente integrados en la red de información, y donde los objetos físicos pueden llegar a ser participantes activos en los procesos de negocio. Los servicios están disponibles para interactuar con estos objetos inteligentes a través de internet, consultar y modificar su estado y toda la información asociada a ellos, teniendo en cuenta la seguridad y la privacidad”* [36].

La base tecnológica que permite el internet de las cosas, se integra por varias tecnologías, entre las que se encuentran: redes de siguiente generación (NGN, por sus siglas en inglés), protocolo

de internet IPv6, redes de sensores (*Zigbee*, *Z-Wave*, *6LoWPAN*), identificación de radio frecuencia (RFID), domótica, entre otros [38], [39].

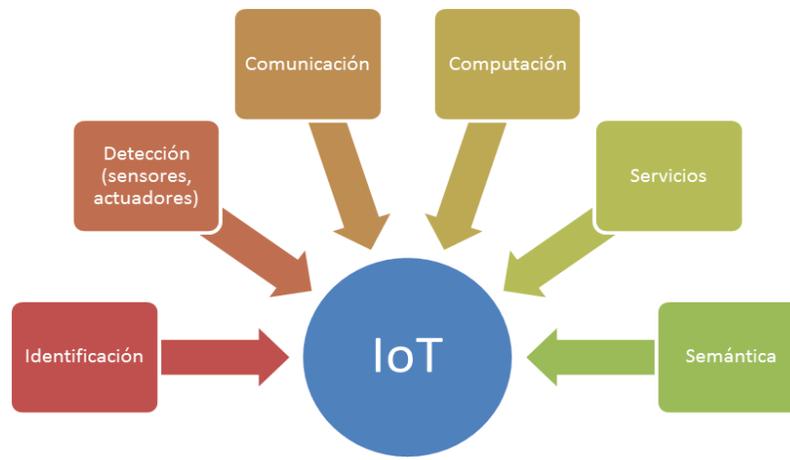


Figura 4 Relación de IoT con otras áreas de TI [17].

El internet de las cosas tiene varias aplicaciones, estas se dividen según el campo de trabajo en donde se aplique una solución IoT. Algunos de los campos de acción de IoT son [37]:

- **Vehículos:** integración con los vehículos como fuente de datos para actuar y medir datos del automóvil y de su entorno.
- **Energía:** distribución eficiente y eficaz de los recursos eléctricos de la red. Realizando cambios en tiempo real.
- **Atención médica:** desde dispositivos *wearables*, médicos y de consumo como *smartphone*, asistencia en emergencia, cuidado y equipos de cirugía.
- **Fabricación inteligente:** automatizar la producción industrial de productos, haciendo a las fábricas más eficientes, amigables con el medio ambiente y aumenten la seguridad de los trabajadores.
- **Comercio minorista:** para los comerciantes minoristas, IoT ofrece oportunidades ilimitadas de aumentar la eficacia de la cadena de suministro, desarrollar nuevos servicios y rediseñar la experiencia del cliente.
- **Ciudades Inteligentes:** sistema de integración, colaboración y comunicación de los componentes de una ciudad como los edificios, viviendas y sistemas de transporte.
 - **Edificios inteligentes:** reducción del consumo de energía, asegurando la sustentabilidad, conectando, administrando y asegurando sus funciones.
 - **Casas inteligentes:** automatizar el ambiente para brindar confort y seguridad a sus habitantes.

- **Transporte inteligente:** conectar y comunicar automóviles, medios de transporte público, sistemas de gestión de tráfico, semáforos, señales viales y terminales de transporte, para optimizar la movilidad y transporte de personas y productos.
- **Agricultura:** automatizar la producción agrícola y tomar datos para realizar cultivos más rentables, necesarios y adecuados al ambiente.
- **Seguridad:** permitir el uso de cámaras, drones y alarmas para brindar seguridad y vigilancia a personas o establecimientos.
- **Explotación de recursos:** optimizar la explotación de recursos naturales de una manera amigable con el medio ambiente y adecuada con las necesidades del mercado.

Los beneficios económicos de los servicios de IoT son de alto crecimiento para las empresas que los proveen. Se proyecta que las aplicaciones IoT de atención médica y de fabricación inteligente tendrán mayor potencia económica para el 2025. La salud móvil (*m-Health*) y el tele-cuidado permite que los servicios médicos como bienestar, prevención, diagnóstico, tratamiento y monitoreo, sean más eficientes y fáciles de gestionar con IoT. El crecimiento económico anual de los servicios de IoT será de \$ 2.7 trillones a \$ 6.2 billones de dólares hasta el 2025 de los cuales \$ 1.1- \$ 2.5 billones de dólares serán servicio de atención médica [40], abarcando el 41% de los servicios en otras aplicaciones IoT, como se muestra en figura 5 [37]. Dentro de la aplicación IoT de atención médica, y puntualmente lo referente a tele-cuidado, se han dado aproximaciones a la solución del cuidado en casa de una persona de la tercera edad [40].

Potencial impacto económico de las aplicaciones de IoT

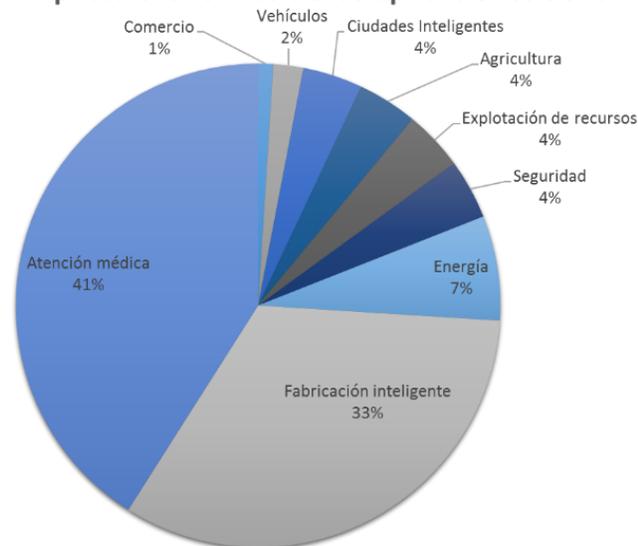


Figura 5 Cuota de mercado proyectada de las aplicaciones de IoT para 2025 [37].

3.2.1.1 Redes de Sensores

Las redes de sensores (SN), es una red auto-configurable integrada por un pequeño número de nodos distribuidos y comunicados, estas pueden estar conectadas por varios medios (alámbrico

o inalámbrico) y tecnologías (*Ethernet, Bluetooth, WiFi*, etc). Los nodos se conectan entre sí directamente o a través de otro dispositivo, con la finalidad de monitorizar y detectar el mundo físico o los datos de un individuo. Es decir, estas redes tienen como fin entender el mecanismo de monitorización de los fenómenos que ocurren en el mundo físico [41].

Las redes de sensores inalámbricos (WSN), son nodos conectados por medio inalámbrico que se pueden conectar todos entre sí. Están distribuidos para monitorear y detectar las condiciones ambientales, donde los sensores se conectan a un dispositivo que les da la posibilidad de comunicarse afuera de la WSN, denominado *Gateway*, este se encarga de conectar con un servidor u otro *Gateway* donde deja o comparte los datos. Las soluciones que se fundamentan en esta tecnología pueden ser usadas en aplicaciones como: la monitorización de pacientes [42], la automatización en la agricultura [43], la obtención de señales biomédicas [44], entre otras.

Esta tecnología brinda la posibilidad de tomar datos del ambiente y de la persona que se desea monitorear. En un sistema de cuidado de personas de la tercera edad que viven solas, hay que tener en cuenta que los sensores encargados del monitoreo de las señales biomédicas deben contar con la capacidad de ser tolerante a fallos y un mecanismo de redundancia en la conexión. Los protocolos usados en la creación de WSN deben ser de bajo consumo energético y deben implementar seguridad en el paso de mensajes [42].

3.2.1.2 Domótica

La domótica tiene como fin la automatización del ambiente de vivienda orientado a brindar confort, bienestar, eficiencia energética, seguridad y comunicación, utilizando sensores y actuadores ambientales, sistemas de servicios públicos *smart* (agua, electricidad, internet, desagüe, etc.), electrodomésticos *smart* (TV, neveras, calentadores, aire acondicionado, etc.), cámaras y otros dispositivos, controlados por un sistema central que estructura y gestiona toda la interacción que tienen entre sí y con los habitantes del ambiente de vivienda [45].

La domótica ofrece al caso del cuidado de un adulto mayor, la posibilidad de facilitarle a este la interacción con el ambiente, viabilizando el cambio de su ambiente de acuerdo a parámetros establecidos o que reaccione de acuerdo a un evento [46]. En este contexto se han desarrollado varias soluciones, estas se han orientado a personas con discapacidad física que presentan problemas de movilidad parcial o total; estas soluciones implementan el uso de controles sofisticados para el control de su ambiente [47]. Otros están orientados a adultos mayores que se basan en las necesidades especiales de ellos [48], como el control médico de la persona con datos ambientales [46] y el control de las actividades para personas que sufren de Alzheimer u otro deterioro mental [49].

3.2.2 Inteligencia Ambiental – AmI

Desde la AmI, se plantean soluciones que hacen énfasis en el enriquecimiento del entorno (ambiente) con el uso de tecnologías como: sensores, interfaz hombre máquina (HCI), actuadores, redes, bases de datos [50], computación pervasiva, computación ubicua y sistemas inteligentes (IS) [51] (ver figura 6), interconectados para toma de decisiones en tiempo real. Se puede construir un sistema para la toma de decisiones que beneficien a los usuarios del entorno basándose en información en tiempo real e históricos acumulados [52].

AmI, implementa sistemas inteligentes que le proporcionan la capacidad de análisis de los datos y la toma de decisiones, esta inteligencia artificial (IA), se basa en algoritmos especializados

que están tomando datos continuamente del ambiente o de históricos y toman una acción de acuerdo a ontologías, reglas, niveles de comportamiento, entre otras [53].

La inteligencia ambiental afronta varios desafíos, entre los que está la definición de protocolos y tecnologías, orientadas a que el usuario no perciba directamente a la tecnología y que su interacción sea más natural y transparente [54]. AmI está enfocada en entornos electrónicos sensibles y flexibles que respondan a las acciones de personas y objetos, y a su vez se adapten a sus necesidades. Este enfoque incluye todo el entorno físico y lo asocia con la interacción humana [18]. En este paradigma de computación, ya no existen los medios de entrada y salida convencionales, en su lugar los sensores y actuadores serán integrados en objetos de uso cotidiano, trabajando juntos en armonía con el fin de apoyar a los usuarios [55].

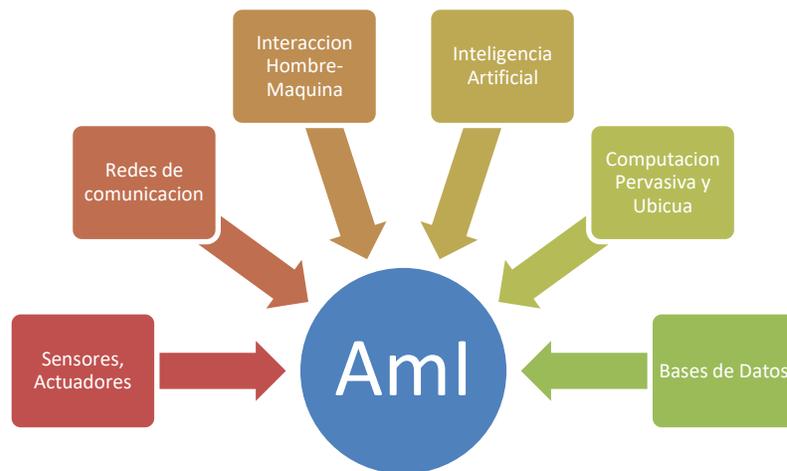


Figura 6 Relación de AmI con otras áreas de TI [51].

Una de las maneras más usadas para crear una aplicación de inteligencia ambiental, son los sistemas multi-agente (SMA). Los SMA están formados por un conjunto de agentes inteligentes que ejecutan tareas de manera coordinada, colaborativa y distribuida en un entorno común, para lograr un objetivo definido [14]. Un agente inteligente, es una entidad de software independiente, con capacidad de socializar con otros, que gestiona sus propios recursos y se relaciona con el ambiente con sensores y actuadores; las acciones que este ejecuta se basan en el cumplimiento de sus objetivos y reglas definidas [56].

3.2.2.1 Tele-Cuidado

Al igual que IoT, AmI se puede aplicar a varios campos de acción, puede ser el componente de decisión en una implementación de domótica [9], o para el cuidado de una persona que vive sola al poder tomar decisiones por esta [12]. El tele-cuidado se enfoca en proporcionar atención médica personal por medios de telecomunicaciones. Por lo tanto, es una gran ventaja para los proveedores de servicios médicos utilizar tele-cuidado para extender sus servicios a los pacientes [57]. También se demostró que las personas mayores optan por seguir viviendo en sus propias residencias, incluso después de los diagnósticos médicos [11].

El tele-cuidado se puede considerar como arquitectura integral que permite la automatización, la programación de la prescripción, recordatorios y el seguimiento constante de los médicos

sobre el comportamiento de adherencia a la medicación del paciente en la vivienda con el objetivo de mejorar la gestión de la medicación y permitir a los médicos tratantes seguir con el progreso [12].

Para desarrollar una plataforma de tele-cuidado se deben definir los métodos necesarios según la condición médica del paciente, dependiendo de su condición se definen los métodos de monitorización, signos vitales y los dispositivos [58]. Para garantizar una adecuada implementación de un sistema de tele-cuidado de deben tener los componentes definidos por la metodología planteada por Ward [59] (ver figura 7), los pasos son:

- **Evaluación:** realizar una evaluación preliminar de necesidades o identificación de problemas.
- **Plan de mejora:** establecer un equipo de mejora adecuado.
- **Entorno:** definir la población objetivo.
- **Definición de metas:** la identificación de metas y objetivos mensurables.
- **Procesos:** articular los procesos de toma de decisiones o de atención deseables.
- **Implementación:** diseñar un plan para su implementación.
- **Monitoreo:** desarrollar un medio para el monitoreo continuo.



Figura 7 Pasos necesarios para la implementación de tele-cuidado [59].

Como conclusión un sistema de tele-cuido debe contar con componentes que le permitan hacer: seguimiento (monitoreo y diagnóstico) remoto de pacientes [60], monitoreo del hogar [14], identificación de patrones de comportamiento inusual [9], envío de recordatorios, advertencias o peligros [11], y toma de signos vitales [58]. Con el fin de brindar un medio de interacción en tiempo real entre paciente-cuidador-médico que sea tolerante a fallos y con calidad de los datos [61].

3.2.2.2 Análisis de Datos – Data Analytics

El análisis de datos es un conjunto de mejores prácticas para obtener valor de los datos, convirtiéndolos en información y generando conocimiento [62]. Si bien el análisis de datos es un concepto que se trabaja desde la década de los 80' [63], ha tenido un gran impulso en la última década gracias a la explosión exponencial de datos [64] “*big data*”, para manejar la gran cantidad de datos, el análisis de datos se relaciona con *big data*, como “*big data analytics*” (análisis

de datos masivos) que usa técnicas, métodos y tecnologías enfocadas a cumplir el objetivo de las 4V [65] en el procesamiento de datos, (ver figura 8):

- **Volumen:** es la cantidad de datos generados en un intervalo de tiempo. El tamaño de estos datos es de crecimiento exponencial.
- **Velocidad:** la rapidez con que los datos entrada y salen de los canales definidos para su transporte.
- **Variedad:** se refiere a los diferentes formatos (texto, video, imagen, audio, etc.) y fuentes (IoT, bases de datos relacionales, no relaciones, etc.) en que los datos se encuentran.
- **Valor:** el valor de los datos es proporcionado por los métodos de análisis implementados. Se centran en extraer información valiosa mediante el procesamiento de datos complejos. A su vez se encuentra definida por 3V como:
 - **Veracidad:** hace referencia a los datos libres de ruido, de los cuales se pueden hacer minería y análisis.
 - **Validez:** hace referencia a la integridad, veracidad y exactitud de los datos.
 - **Volatilidad:** se refiere al tiempo en que los datos serán almacenados para su análisis y por cuanto serán válidos.

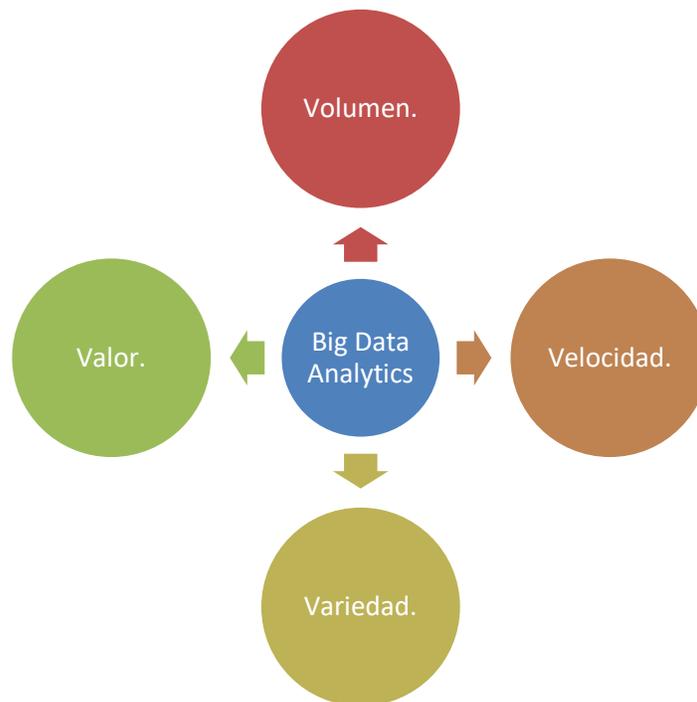


Figura 8 Objetivos de Big Data Analytics [65].

Dentro del análisis de datos encontramos procesos como: selección, exploración, limpieza, transformación, minería de datos, evaluación e interpretación de resultados y difusión y uso de

modelos. Estos procesos son definidos en KDD (Knowledge Discovery in Databases) que es “*extracción no-trivial de información implícita, previamente desconocida y potencialmente útil, a partir de los datos*” [66].

Al igual que IoT y AmI, *big data analytics* tiene varios campos de aplicación [67], entre los que se encuentran sectores como: desarrollo científico, computación social y personal, sector comercio / negocios, gobierno y sector público, salud, servicios públicos y sector manufacturero [68]. El detalle de algunos de los diferentes tipos de aplicaciones se puede apreciar en la tabla 1.

Disciplina	Aplicación
Desarrollo científico	Entender procesos naturales
	Estudios sobre genética
	Simulaciones y experimentos
Computación social y personal	Optimizar atención a desastres
	Predicciones de diversa índole
	Análisis de sentimientos
	Análisis de diferentes fenómenos sociales y personales
Sector comercio / negocios	Marketing
	Gestión efectiva de clientes y sus relaciones
	Detección de fraudes
	Análisis financieros
Gobierno y sector público	Sectorización efectiva
	Medición de la adherencia de los ciudadanos a las leyes
	Control poblacional y migratorio
	Análisis de fenómenos políticos, sociales, culturales
Salud	Optimización de los servicios de salud
	Vista 360 grados de pacientes
	Detección de enfermedades y prevención
	Prevención y control de epidemias y pandemias
Servicios públicos	Optimizar mediciones y cobros
	Detectar fraudes y filtraciones
	Segmentación de clientes para personalizar servicios
	Monitoreo más proactivo
Sector manufactura	Optimizar el funcionamiento de las máquinas y uso de recursos
	Mayor proactividad con respecto a la demanda
	Mejorar ciclos de vida de producción
	Minimizar/evitar el desperdicio y el re-trabajo

Tabla 1 Aplicaciones de Big Data Analytics por sector [68].

3.2.3 Consolidación del estado del arte

En el desarrollo del estado del arte de este trabajo, se tomaron en cuenta conceptos como: IoT, WSN, domótica, AmI, tele-cuidado y *big data analytics*. Aplicados en el caso del cuidado en casa de un adulto mayor. Estos conceptos fueron elegidos por un análisis de tendencias de las palabras clave relacionadas al caso de referencia. Si bien, en el proceso de investigación se analizaron varias soluciones, dichas soluciones fueron publicadas en artículos, libros y foros comerciales, y en varias bases de datos. En este documento se relacionan las más sobresalientes y los que mayor relación tienen con la problemática asociada. El estudio completo se encuentra en el Anexo 3.

Para analizar estas soluciones se plantean los siguientes aspectos: tecnologías involucradas, protocolos de comunicación, presencia de actuadores ambientales, biomédicos o médicos, presencia de sensores ambientales, biomédicos o médicos, que datos maneja, como fue implementada la solución, si la solución está orientada al cuidado de personas de la tercera edad, y se plantea el uso de dispositivos o software que se encuentra comercialmente en el mercado.

En la tabla 2, se plantea una comparación de 7 trabajos base del estado del arte, estos trabajos se evaluaron en los 8 aspectos seleccionados: tecnologías involucradas, protocolos de comunicación, actuadores, sensores, datos, arquitectura, orientados al cuidado de adultos mayores, e implementación comercial.

En las soluciones que plantean estos trabajos, se puede encontrar, modelos, arquitecturas y sistemas que proponen una solución parcial o total a la problemática de la asistencia en casa de un adulto mayor; pocos trabajos analizados usan actuadores, lo que nos presenta una oportunidad de mejora de los mismos; los sensores que estos trabajos usan son variados, dividiéndose en ambientales y médicos, los datos que recolectan son diversos, apoyan a la toma de decisiones sobre el ambiente y el individuo.

Si bien estos trabajos están dentro de soluciones AmI o IoT, pocos implementan una solución conjunta de estos dos conceptos. En la especificación de estos trabajos se llega a la conclusión de que en los dos conceptos es necesario: capturar información, procesarla y presentarla; lo que indica que plantear una solución AmI-IoT puede tener gran impacto en la solución de la problemática de asistencia del adulto mayor.

La tabla también nos muestra que las tecnologías más usadas para la solución de este problema son las redes de sensores, estas redes se pueden implementar con protocolos de comunicación como: *MQTT*, *ZigBee*, *Wifi* 802.11b/g/n, *Bluetooth*, *Zwave*, *XMPP-IoT*, entre otros. Al usar protocolos estándar es posible presentar una solución fácil de implementar comercialmente.

Solución	Tecnologías involucradas	Protocolos de comunicación	Actuadores	Sensores	Datos	Arquitectura	Orientado al cuidado de adultos mayores	Implementación comercial
Data Mining for Wearable Sensors in Health Monitoring Systems: A Review of Recent Trends and Challenges – 2013 [69]	WSN, analytics, tele-cuidado	N/A	N/A	Wearables	Médicos	Distribuida	Parcial Medico	No
A real-time life-care monitoring framework: WarnRed hardware and software design – 2015 [11]	IoT, WSN, tele-cuidado	Inalámbricos	N/A	Tarjeta de circuito	Médicos	Local	Parcial Medico	No
Health Monitoring and Management Using Internet-of-Things (IoT) Sensing with Cloud-based Processing: Opportunities and Challenges – 2015 [8]	IoT, analytics	Inalámbricos	N/A	N/A	Médicos	Distribuida	Parcial	No
Domoticz [70]	IoT, domótica	Alámbricos e inalámbricos	Dispositivos smart Tarjetas de circuito	-Dispositivos smart -Tarjetas de circuito	Ambientales	Local con clientes externos	Parcial	Si
Smart Home System for Disabled People Via Wireless Bluetooth – 2012 [47]	WSN, domótica, AmI, tele-cuidado	Inalámbricos	Electrodomésticos Cámara IP	Cámara IP	Ambientales Usuario	Local	Si Ambiente	No
POSTECH's U-Health Smart Home For Elderly Monitoring and Support – 2010 [48]	WSN, domótica, AmI, tele-cuidado	N/A	Luces Electrodomésticos	Wearables Proximidad Temperatura	Médicos Ambientales Usuario	Local	Si	No
UNCHAIN - Ubiquitous Wireless Network Communication Architecture for Ambient Intelligence and Health scenarios – 2014 [50]	WSN, IoT, AmI, tele-cuidado	Inalámbricos	-N/A	Temperatura Humedad Luminosidad	Médicos Ambientales	Local	Si	No

Tabla 2 Comparativa de soluciones planteadas desde IoT, WSN, domótica, AmI, tele-cuidado y big data analytics.

4 TRABAJOS RELACIONADOS PUJ

Dentro de los trabajos desarrollados en los grupos de investigación (SIRP y SIDRe) y estudiantes de la Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación (MISyC) de la Pontificia Universidad Javeriana, se encuentran dos trabajos que sirvieron como inspiración para el planteamiento y posterior desarrollo de este trabajo de grado. En ellos se dio solución a problemáticas como: generación de hábitos a partir de eventos del individuo y del ambiente; y a la captura y presentación de datos obtenidos de redes de sensores heterogéneos.

Estos trabajos, presentados a continuación, proporcionan las herramientas necesarias para la solución de la problemática de asistencia de un adulto mayor que vive solo en casa. Estas herramientas de software se encuentran separadas y desarrolladas para cumplir con sus objetivos de manera independiente. De igual manera, uno de ellos plantea unos lineamientos que definen el caso de referencia donde se centra su solución.

4.1 Integración de redes de sensores inalámbricas IEEE 802.15.4 en aplicaciones USN

El primer trabajo que sirvió como inspiración, fue desarrollado por el egresado de MISyC, Ingeniero Edgar Enrique Ruiz García MsC, en el 2012. En este trabajo se planteó *“definir un modelo que permita la integración de servicios ofrecidos por sensores ubicados en múltiples redes de sensores inalámbricas (WSN), que operen sobre el estándar IEEE 802.15.4, bajo una misma aplicación de redes de sensores ubicua (USN)”* [71]. Posteriormente, desde el grupo de investigación SIDRe, se desarrolló el proyecto *“Investigación e Implementación del Prototipo del middleware para la gestión de redes de sensores”*. Este proyecto fue desarrollado por el asistente de investigación y egresado de MISyC, Ingeniero Oscar Iván Vivas Reinoso MsC, y coordinado por los profesores de MISyC, los ingenieros, Rafael Vicente Páez Méndez PhD y Edgar Enrique Ruiz García MsC, en el 2014. El análisis de estos trabajos se hizo en cuatro fases: la identificación de problemáticas, el diseño del modelo, la implementación y validación del modelo, y el desarrollo de prototipo middleware del modelo.

4.1.1 Identificar Problemáticas

En esta fase se identificaron las problemáticas relacionadas a la integración de diferentes protocolos del estándar IEEE 802.15.4 (protocolo IPv6 y la tecnología *ZigBee*) y la integración de servicios en una red de sensores inalámbrica. También, se definieron los requerimientos que debe cumplir una implementación de un modelo USN.

Para identificar las problemáticas, se estudiaron los retos que se presentan en la implementación de WSN, como: movilidad de los nodos sensores, múltiples sensores en un solo nodo, múltiples redes de sensores bajo una misma aplicación, redes de sensores heterogéneas, comunicación entre nodos sensores, tamaño de los mensajes y comunicación asíncrona. Estas problemáticas deben ser tenidas en cuenta al momento de diseñar una solución USN.

A partir de las problemáticas, se definen requerimientos que el modelo USN necesita para su funcionamiento, estos requerimientos se pueden dividir en:

- **Requerimientos asociados a la conformación de una WSN:** se necesitan elementos que faciliten la integración de los protocolos de comunicación en WSN heterogéneas, para así lograr la comunicación entre la aplicación USN y el sensor o los sensores requeridos.
- **Requerimientos asociados a la integración de servicios:** se necesita que los servicios ofrecidos por los nodos WSN sean independientes, coherentes, identificables, y se presenten de manera unificada.
- **Requerimientos asociados al consumo de servicios:** una aplicación USN, requiere mecanismos para el descubrimiento de los servicios ofrecidos por los sensores, independientemente de la plataforma que los controle.

4.1.2 Diseñar del modelo

En esta fase, se definió un modelo teórico que permite dar solución de forma integrada a las problemáticas que se identificaron y los requerimientos que se definieron. Para facilitar la interpretación del modelo, éste se diseña como una arquitectura estándar por módulos, que integran de múltiples WSN bajo una misma aplicación USN.

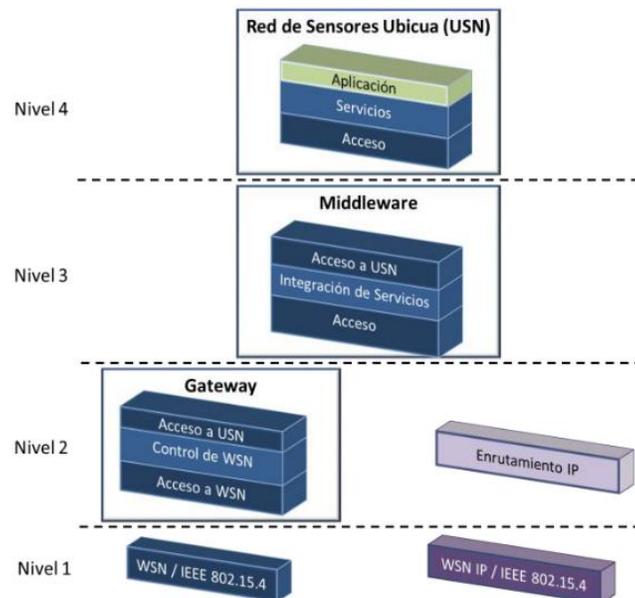


Figura 9 Modelo USN de integración de WSN, tomado de [71].

En la figura 9 se presenta el modelo USN de 4 niveles que consta de los siguientes componentes:

- **Nivel 1 - WSN:** red de sensores que opera sobre el estándar IEEE 802.15.4, pueden ser IP o no IP.
- **Nivel 2 - Pasarela (Gateway):** facilita la comunicación desde y hacia las WSN que no tienen capacidad de conexión directa con una red IP, y el componente Enrutamiento IP, permite realizar la función de enrutamiento entre WSN compatibles con el protocolo IP y las redes convencionales IP como internet.

- **Nivel 3 - Intermediario (Middleware):** cumple con las funciones de integración de múltiples redes de sensores, ya sea que estas se encuentren conectadas a través de múltiples gateway o que se pueda tener alcance a ellas directamente a través del protocolo IP.
- **Nivel 4 - red de sensores ubicua (USN):** esta tiene como función principal facilitar el desarrollo de aplicaciones que consumen los servicios que son ofrecidos por diferentes redes de sensores y que son gestionados por uno o más middleware.

El componente middleware aísla la aplicación de las diferencias tecnológicas y de la ubicación que subyacen a los diferentes tipos de WSN, homogenizando su ubicación y forma de acceso a los servicios.

4.1.3 Implementación y validación

En esta fase se realizó la implementación del modelo en un prototipo, se definió un protocolo de validación que considero todas las problemáticas identificadas, (ver figura 10).

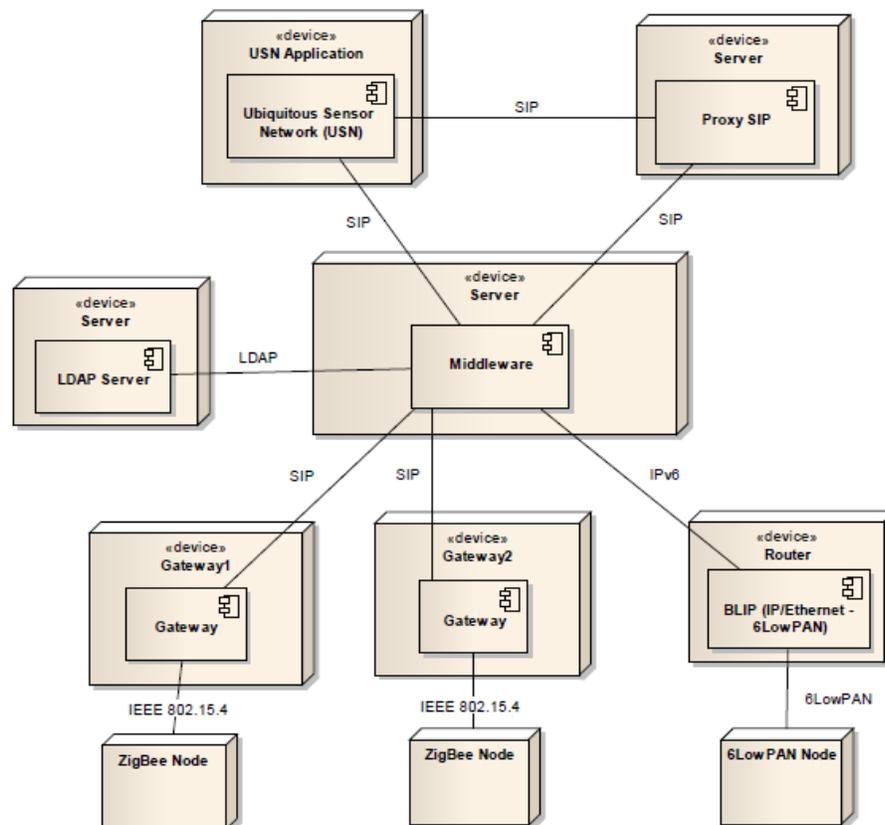


Figura 10 Diagrama de despliegue del prototipo USN, tomado de [71].

El prototipo cumplió con las funciones planteadas en el modelo y se llegó a las siguientes conclusiones:

- Es posible la integración de servicios de redes heterogéneas.

- La ubicuidad es una propiedad que puede estar presente en las redes de sensores
- Se puede usar *simple network management protocol* (SNMP) para gestionar WSN.
- El consumo de energía es un aspecto relevante en las WSN.
- El modelo de comunicaciones *Request/Response* es viable si la tasa de solicitudes es baja en la WSN.
- El modelo propuesto se puede usar para la transición entre las redes *Zigbee* y redes *6LowPAN*.
- Es necesario un componente análisis de tráfico en las WSN.
- Es necesario agregar al modelo componentes de seguridad de la información.
- Con este modelo se pueden realizar aplicaciones de domótica, cuidado de la salud y telemetría aplicada en diferentes áreas.
- El modelo ofrece servicios de forma individual, se debe extender a servicios compuestos por servicios individuales, dando un valor agregado.

4.1.4 Prototipo del middleware para la gestión de redes de sensores

En el prototipo desarrollado por Vivas, se hizo una extensión del prototipo planteado en el trabajo de grado del Ingeniero Ruiz, donde se definieron nuevos requerimientos como:

- El middleware debe soportar diversos tipos de clientes que envían la lectura de los sensores o mediciones.
- El sensor puede recibir mensajes y cambiar su comportamiento actualizando la información relacionada a: Frecuencia, *Timer*, etc.; para cambiar el comportamiento de la aplicación.
- Soporte de múltiples protocolos, de acuerdo al servicio parametrizado se instancia un servicio de *MQTT*, *COAP*, o de lectura por socket, etc.
- Un servicio puede estar compuesto por múltiples sensores, razón por la cual un servicio puede estar compuesto por otros servicios.
- Usar arquitectura *Maven* [72] para cliente y aplicación empresarial, lo cual facilita su instalación y mantenibilidad.

También define los componentes del prototipo como se muestra en la figura 11. Los componentes más importantes son:

- **Clientes:** como se puede observar, la aplicación puede ser consumida por diferentes tipos de clientes, que usaran el protocolo SIP, para comunicarse con el middleware.
- **Gestor de servicios:** es el conjunto de componentes que se encarga de gestionar todos los servicios que ofrece el middleware.
- **Gestor de notificaciones:** se encarga de escuchar los mensajes que llegan de cada uno de los diferentes tipos de redes de sensores, para posteriormente ser persistidos en una base de datos.

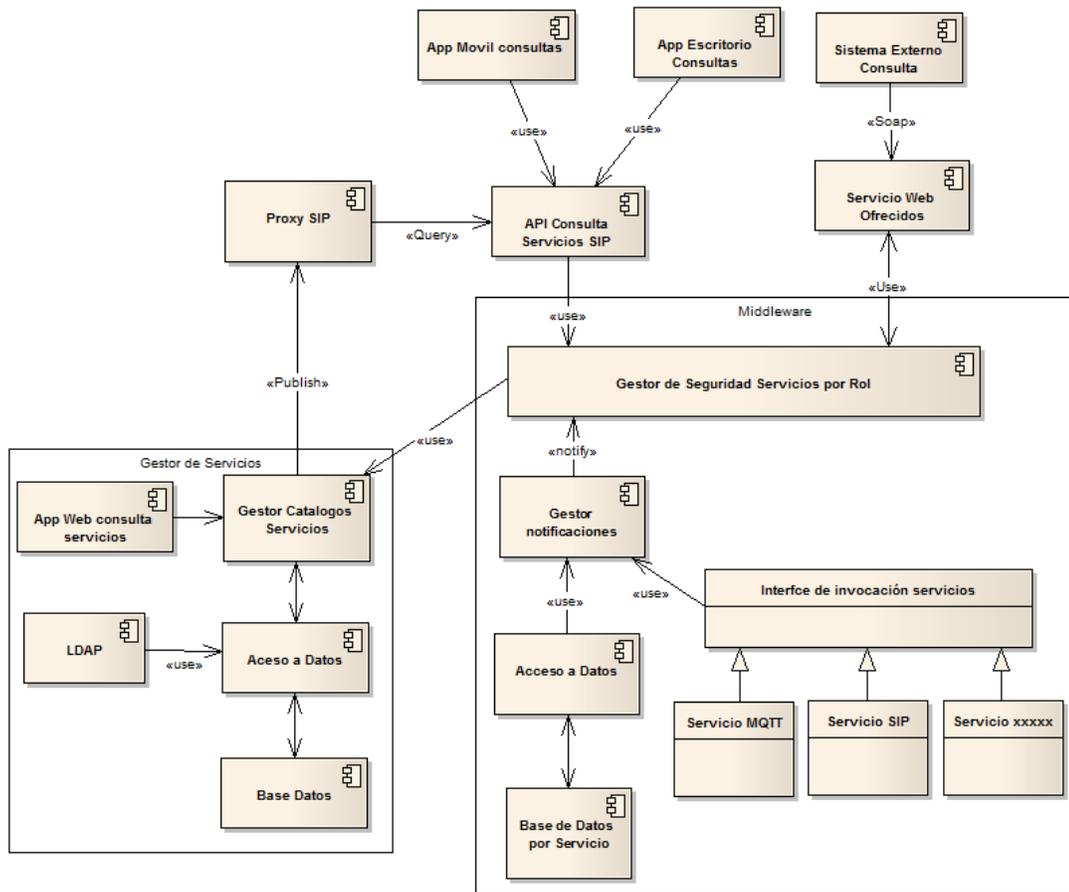


Figura 11 Diagrama de componentes del prototipo USN, tomado de [16].

4.2 Diseño de un modelo de inteligencia ambiental para asistir a personas de la tercera edad

El segundo trabajo que sirvió como inspiración, fue el desarrollado por el egresado de MISyC, Ingeniero Javier Agreda Chamorro MsC, en el 2015. En este trabajo se planteó “diseñar un modelo de inteligencia ambiental para asistir a personas de la tercera edad, orientado a la detección de cambios y conductas anómalas para inferir problemas que pongan en riesgo la salud o la calidad de vida” [73]. El análisis de este trabajo se hizo en cuatro fases: determinar ambiente a controlar, arquitectura de inteligencia ambiental, diseño de mecanismo IA de análisis de conducta y validación de la arquitectura.

4.2.1 Determinar ambiente a controlar

El ambiente que se determinó fue el relacionado con las personas de la tercera edad que viven solas, estas personas se ven enfrentadas a diferentes cambios físicos y afectivos, estos cambios afectan la calidad de vida de las personas. Por lo anterior, se busca mediante un ambiente inteligente, automatizar procesos en el hogar mejorando el bienestar, incentivando la independencia y aportando una mayor autonomía a las personas de la tercera edad.

Para determinar el ambiente se realizaron dos análisis, el primero es un análisis de metas del sistema que se fundamenta en las problemáticas que afectan a las personas de tercera edad, y el segundo es un análisis orientado a agentes donde se define la arquitectura general de un SMA con la metodología *AOPPOA*, que permite encontrar los roles y definir la cooperación y comunicación entre los agentes del SMA.

Para las metas, se realizaron dos análisis adicionales, el primero se genera a partir de los niveles de servicio de asistencia en el hogar, y de este, se genera otro fundamentado en metas particulares para el usuario, encontrando los siguientes niveles:

- **Nivel Confort:** Permite la ayuda en la ejecución de actividades relativamente sencillas como encender/apagar fácilmente algunos aparatos electrónicos.
- **Nivel Interactivo:** Se ofrecen soluciones multimedia de fácil uso con el fin de mantener los sentidos perdidos como la visión o el oído.
- **Nivel Afectivo:** Se infiere según sus actividades si este requiere apoyo afectivo para alertar a familiares y amigos.
- **Nivel Bienestar:** Se determina mediante información de sensores y la ayuda de alertas si la persona está o no realizando las actividades saludables correspondientes.
- **Nivel Seguridad Circunstancial:** Como en esta etapa pueden presentarse enfermedades que generan mayor dependencia, se requiere que se observe la ubicación y el comportamiento del paciente. Por lo anterior, en este nivel se producen alertas de conductas que estén fuera del patrón regular o se encuentren en un patrón de riesgo.
- **Nivel Vital:** En este nivel, el sistema se alimenta de los datos más relevantes de la historia clínica del paciente para vigilar de cerca los aspectos más críticos con la ayuda de sensores vitales constantes o temporales con el fin de alertar de su estado inmediato.

4.2.2 Arquitectura de inteligencia ambiental

En el diseño del SMA se encuentran los roles principales y las interacciones, que logran llevar la asistencia del adulto mayor, a nivel distribuido y cooperativo como se muestra en la figura 12. En el diseño presentado, se encuentran:

- **Gestor de interfaz:** se encarga de la comunicación del ambiente mediante la recepción y envío de mensajes.
- **Gestores de sensores y actuadores:** se encargan de convertir en eventos los mensajes del gestor de interfaz.
- **Controlador de tiempo:** realiza la sincronización de tiempo del ambiente y también de generar mensajes de los eventos que dependen del tiempo para su ejecución.
- **Supervisor de eventos:** recibe los mensajes de los eventos para después reaccionar ante estos.
- **Supervisor de hábitos:** analiza los eventos realizados por el usuario para generar un modelo que permita la identificación de los hábitos del usuario.

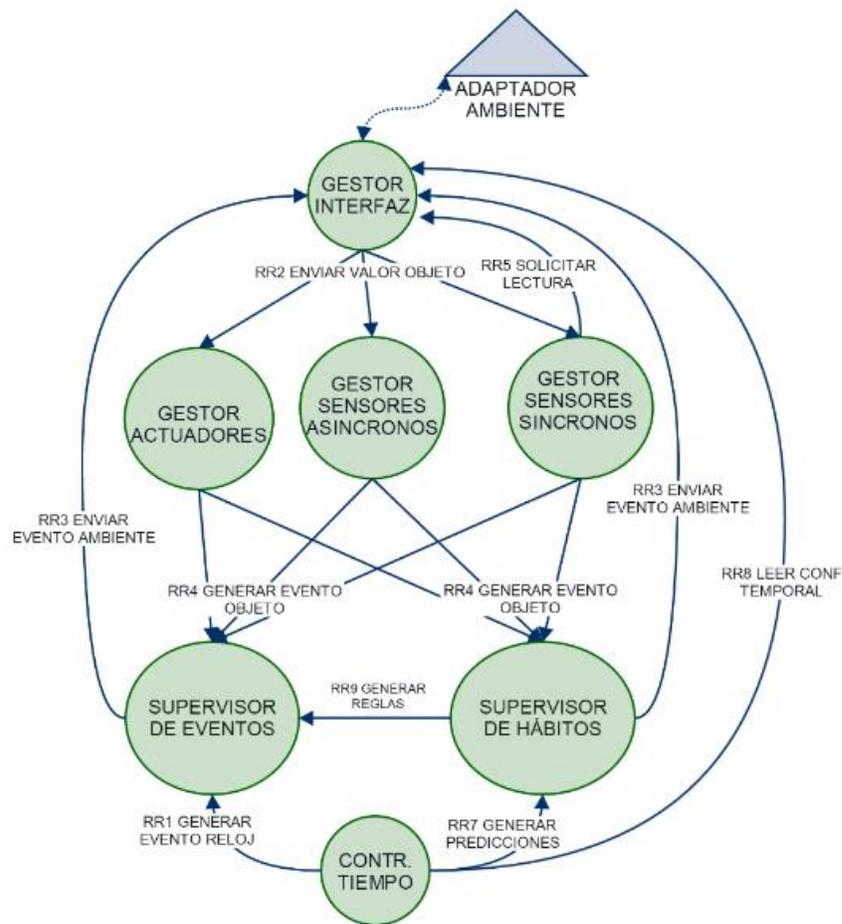


Figura 12 Diagrama de interacciones de componentes SMA, tomado de [73].

4.2.3 Diseño de mecanismo IA de análisis de conducta

Dentro del diseño se realizan dos modelos, el modelo de supervisión de eventos donde se ejecutan las tareas programadas y se verifica las respuestas de las mismas, y el modelo de supervisión de hábitos donde se generan las sugerencias o alertas según los eventos generados por los objetos, obteniendo los eventos generados para el sistema de reglas reactivas.

El modelo de supervisión de eventos maneja tres tipos de reglas:

- **Reglas médicas:** son alertas o sugerencias que involucran el bienestar médico del paciente, pueden ser de tipo crítico, obligatorias, o sugerencias saludables.
- **Reglas personalizadas:** son las personalizaciones del sistema para el usuario, estas pueden ser por confort, por seguridad, entre otros.
- **Reglas predictivas:** son las que se crean mediante el modelo de hábitos, tanto para alertar de un evento inusual como para sugerir realizar una actividad, si es recurrente y no se ha realizado en el momento en el que se suele realizar.

Por otro lado, el modelo de supervisión de hábitos posee los siguientes eventos:

- **Dinámicos:** se permite agregar cualquier sensor o actuador para ser analizado.
- **Valor desconocido:** éste es para los sensores que tienen un rango de valores discretos, continuos o nominales.
- **No determinados:** la cantidad de hábitos detectados y su ubicación en el tiempo es indeterminado, debido a la posibilidad infinita de eventos que no permiten determinar cuál es el posible comportamiento del usuario.
- **Variables en el tiempo:** el comportamiento de los usuarios no siempre es el mismo, el modelo se debe adaptar a nuevos eventos variables en el tiempo.
- **No supervisados:** son los eventos de entrada del modelo que no pueden tener entrenamiento supervisado.

Los hábitos se modelaron con un algoritmo de clusterización inspirado en la clasificación por densidad *DBSCAN*, donde se recorre todos los eventos y se agrupan por cercanía temporal, creando hábitos por una densidad mínima de eventos. Este algoritmo tiene dos tipos de resultado. El primero, son las reglas de predicción, que generan alertas o sugerencias si el hábito es predecible, y el segundo son los clústeres en sí, que permiten evaluar si un nuevo evento está dentro de los hábitos o si hay comportamientos anómalos.

4.2.4 Validación de la arquitectura

El SMA se validó con el diseño de un caso de estudio que simula los datos de un individuo. Posteriormente, se probó la arquitectura implementando el SMA en la plataforma BESA. Finalmente, se realizó un análisis de resultados experimentales que determinó que el uso de un sistema con un modelo SMA-IA impacta la calidad de vida y bienestar, reduciendo el riesgo en personas de la tercera edad que viven solas.

4.3 Aportes de los trabajos relacionados

Se hizo un análisis de los dos trabajos, este análisis se hizo evaluando los mismos aspectos escogidas para la evaluación de los trabajos relacionados en el estado del arte (ver la tabla 3). En la tabla se le asigna un alias a cada trabajo, según su tecnología predominante. El alias de “Integración de redes de sensores inalámbricas IEEE 802.15.4 en aplicaciones USN” es “IoT” y el de “Diseño de un modelo de inteligencia ambiental para asistir a personas de la tercera edad” es “AmI”.

Como resultado de este análisis se determinó que los dos trabajos brindan componentes complementarios para el planteamiento de un modelo integrado AmI-IoT. Las características tomadas de estos trabajos para el *Modelo Integrado AmI-IoT* son:

AmI:

- Problemática del adulto mayor que vive solo.
- Contexto ambiental.
- Datos ambientales y médicos a manejar.

- Inteligencia ambiental (eventos y hábitos).
- Servicios de notificación y alerta.

IoT:

- Prototipo y arquitectura base.
- Homogenización de sensores físicos.
- Creación de USN.
- Publicación de servicios.

Aspectos	IoT	AmI
Tecnologías involucradas	WSN, IoT	AmI, Tele-Cuidado, Analytics
Protocolos de comunicación	IEEE 802.15.4, SIP, MQTT, IPv4, IPv6, Zigbee, 6LowPAN, LowPAN, TCP, UDP.	Mensajes
Actuadores	No	Si, Simulados
Sensores	Si	Si, Simulados
Datos	Ambientales	Médicos, Ambientales, Comportamiento
Arquitectura	Distribuida (JavaEE), PostgreSQL	Local (JavaSE) MySQL, DBSCAN
Orientado al cuidado de adultos mayores	No	Si
Implementación comercial	No (existe producto)	No (existe producto)

Tabla 3 Comparación de trabajos MISyC.

5 CONTEXTO DE BIENESTAR DEL ADULTO MAYOR

En este capítulo se presenta cual es el contexto de la problemática de una persona de la tercera edad que vive sola en una unidad de vivienda y qué requerimientos se deben cumplir para garantizar el bienestar de la misma. Dentro de la problemática, se analizan los retos tecnológicos de implementaciones AmI e IoT en el contexto de aplicación para la creación de un *Modelo Integrado AmI-IoT orientado a brindar cuidado y bienestar a personas de la tercera edad*. Como resultado se obtendrán los requerimientos del contexto que servirán como insumo para el diseño del *Modelo Integrado AmI-IoT*. La descripción de los requerimientos se encuentra el Anexo 2.

5.1 Tecnologías

Como base tecnológica, se describen dos conceptos tecnológicos que proveen herramientas para brindar cuidado y bienestar en el contexto de aplicación, donde se definen los requerimientos que se deben cumplir según el modelo de referencia de cada una, planteados en este trabajo, sus funcionalidades y aplicabilidad.

5.1.1 Necesidades de IoT

Inicialmente, En se trabajó se define el modelo de referencia de IoT, en este modelo se describen los componentes básicos que debe tener una solución IoT y sus funciones genéricas. Este modelo en capas se planteó a partir del estudio de trabajos relacionados y aportes de expertos. Este también integra las necesidades de las tecnologías asocias de domótica y WSN.

En la figura 13, se muestran las capas del modelo de referencia IoT y la interacción entre ellas. Las funcionalidades definidas de cada capa del modelo de referencia IoT son:

1. **Sensores y Actuadores:** los nodos de esta capa se dividen en sensores o actuadores, dichos nodos deben contar con una interface de conexión que puede ser alámbrica o inalámbrica. Si es inalámbrica puede ser: *Wifi, Bluetooth, Zigbee, WPAN*. Los nodos pueden ser electrónicos, dispositivos *Smart* y/o motas, análogos o digitales.
Estos nodos tienen como función adquirir datos del contexto donde estén desplegados o actuar sobre el mismo, afectando el contexto, haciéndolo de manera síncrona o asíncrona.
2. **Gateway:** los protocolos de comunicación de los nodos son variados, pueden estar basados en IP o NoIP. En esta capa se debe homogenizar la comunicación de los nodos, así como el tipo de señal o mensaje que manejan, coordinar el tipo de comunicación y dar encaminamiento a la red como un objeto de servicio. En esta capa se puede agregar componentes para calidad de servicio (QoS), conexión a redes de siguiente generación (NGN), tolerancia a fallos, redundancia, seguridad, entre otras características.
3. **Red:** es la infraestructura de red dispuesta para el transporte de los datos, eventos y acciones que van y vienen de los nodos a través del *Gateway*, el *Gateway* debe preparar los mensajes de los nodos, para atravesar la red de datos. La red deseada es Internet,

esta tiene cobertura global, lo que permite que los nodos puedan ser visibles desde cualquier parte del mundo en cualquier momento.

4. **Servicios:** ésta capa es la encargada de consumir los datos y eventos de los nodos sensores y controlar con acciones a los nodos actuadores, muy necesario en los servicios de domótica. También almacena, procesa, y dan sentido a los datos para proveer servicios según el contexto de la aplicación.
5. **Aplicación:** la capa de aplicación es la encargada de proveer la interacción con usuarios y sistemas que consumen los servicios ofrecidos que pueden ser aplicados en áreas como la medicina, economía, manufactura, entre otras.

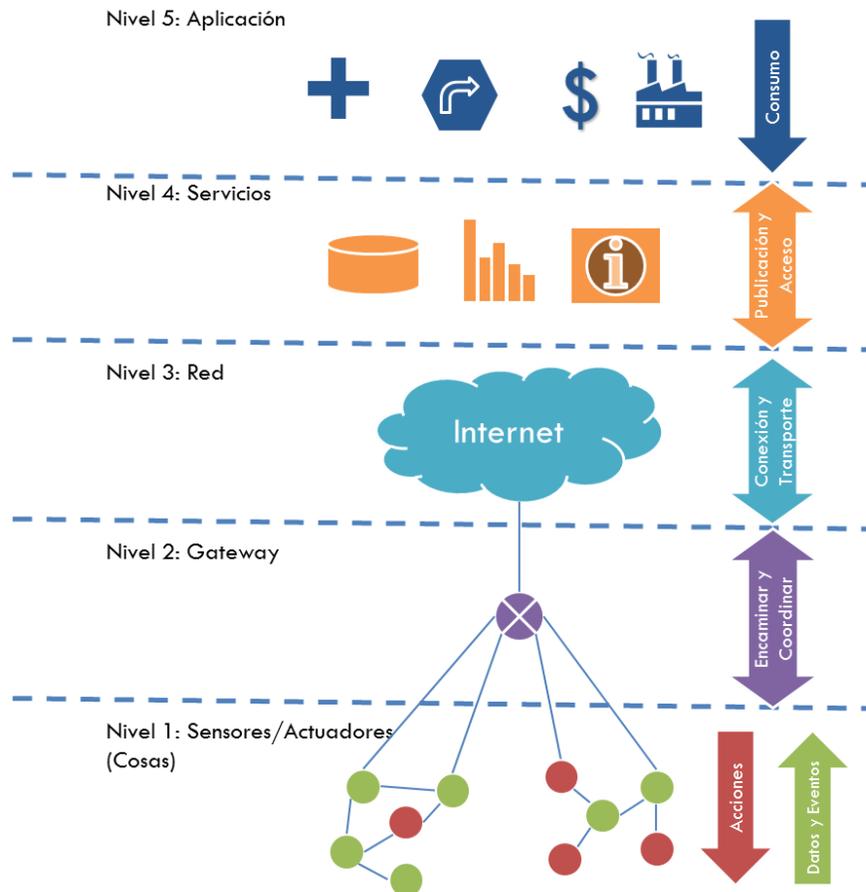


Figura 13 Modelo de referencia para IoT.

Para el *Modelo Integrado AmI-IoT*, es necesario cumplir con los requerimientos pedidos por el modelo de referencia IoT, a continuación, se definen los requerimientos más relevantes:

- **IoT-RF-1:** El modelo debe permitir el envío y recepción de mensajes a los nodos.
- **IoT-RF-2:** El modelo debe permitir la configuración y coordinación una red de nodos.
- **IoT-RF-3:** El modelo debe permitir la identificación cada nodo.

- **IoT-RF-4:** El modelo debe permitir la conexión a internet de una red de nodos.
- **IoT-RF-5:** El modelo debe permitir la creación e identificación servicios.
- **IoT-RF-6:** El modelo debe permitir la publicación de servicios.
- **IoT-RF-7:** El modelo debe permitir el desarrollo de aplicaciones.

5.1.2 Necesidades de AmI

De igual manera, en este trabajo se define el modelo de referencia de AmI, en este modelo se describen los componentes básicos que debe tener una solución AmI y sus funciones genéricas. Este modelo en capas se planteó a partir del estudio de trabajos relacionados y aportes de expertos. También integra las necesidades de las tecnologías asocias de tele-cuidado y *data analytics* (de este último no se hace mucho énfasis).

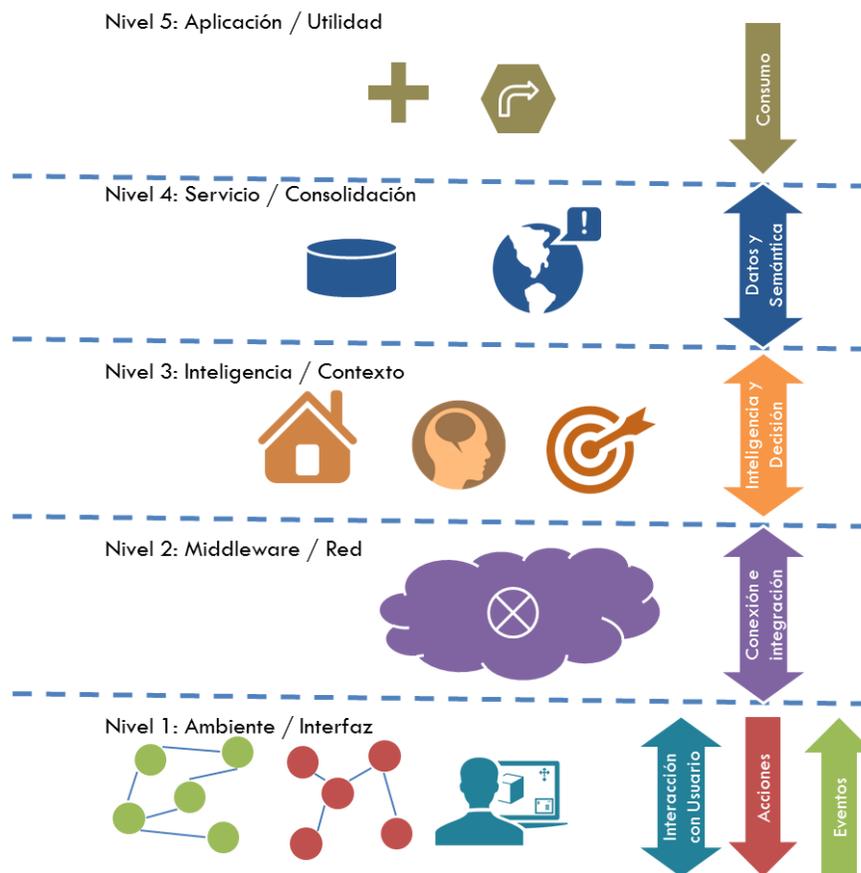


Figura 14 Modelo de referencia para AmI.

En la figura 14, se muestran las capas del modelo de referencia AmI y la interacción entre ellas. Las funcionalidades definidas de cada capa del modelo de referencia AmI son:

1. **Ambiente e Interfaz:** en esta capa se encuentran los sensores, actuadores e interfaces de interacción con el usuario (HCI). La función de estos componentes es la de capturar

los datos que alimentan el modelo de manera síncrona y/o asíncrona. En aplicaciones de tele-cuidado, se pueden agregar sensores médicos del usuario para su monitoreo y asistencia médica.

2. **Middleware y Red:** se brinda una red de datos común en el mismo dominio, además, se integran todos los componentes del modelo y se entregan los datos de manera oportuna y en tiempo real.
3. **Inteligencia y Contexto:** se encarga de consumir todos los datos del ambiente y ponerlos en contexto, se define la inteligencia artificial (IA) para lograr unos objetivos planteados, se toman decisiones sobre el ambiente, se gestionan los recursos, y se consulta y registra la información consolidada.
4. **Servicios y Consolidación:** en esta capa se consolidan los datos con semántica, generando información. Dicha información, se puede utilizar para prestar servicios informáticos de valor agregado, para ello, se pueden usar componentes o herramientas de data analytics.
5. **Aplicación y Utilidad:** esta capa puede consumir la información generada y los servicios de valor agregado que provee la capa de servicio y consolidación. Las aplicaciones que se pueden dar son la de información y decisión médica, seguimiento de comportamiento, entre otras; brindando utilidad a la información y servicios generados.

Para el *Modelo Integrado AmI-IoT*, es necesario cumplir con los requerimientos definidos por el modelo de referencia AmI, los requerimientos más relevantes se definen a continuación:

- **AmI-RF-1:** El modelo debe permitir el envío y recepción de mensajes al ambiente y al usuario.
- **AmI-RF-2:** El modelo debe permitir la comunicación en tiempo real.
- **AmI-RF-3:** El modelo debe permitir la configuración de una Inteligencia Artificial.
- **AmI-RF-4:** El modelo debe permitir que la IA gestione los recursos y ambiente.
- **AmI-RF-5:** El modelo debe permitir la consolidación de información y conocimiento.
- **AmI-RF-6:** El modelo debe permitir que el usuario interactúe con la IA.
- **AmI-RF-7:** El modelo debe permitir la generación de notificaciones y alertas.

5.2 Caso de Referencia

Se define como caso de referencia, a la aplicación que tendrá el *Modelo Integrado AmI-IoT* en la asistencia al cuidado y generación de bienestar a una **persona** de la tercera edad que vive sola en una unidad residencial. Para su descripción se define: el ambiente, los usuarios, los eventos de interacción y los requerimientos. El caso de referencia está inspirado en el presentado por Agreda en [73]; y complementado con más componentes y definiciones, por la investigación de trabajos relacionados y entrevistas con expertos. El detalle del caso de referencia se encuentra en el Anexo 1.

5.2.1 Definición del ambiente

El ambiente en el que se aplica el *Modelo Integrado AmI-IoT*, es un hogar con elementos básicos de una vivienda, muebles y electrodomésticos, componentes tecnológicos de domótica e instrumentos de tele-cuidado.

Dentro de los componentes básicos de vivienda encontramos, componentes físicos de delimitación, áreas de uso e infraestructura sanitaria y de servicio:

- **Componentes físicos de delimitación:** son los elementos físicos que separan y distribuyen el espacio de la vivienda, así como los que delimitan la vivienda en donde la persona va a estar.
 - **Pisos:** son la base de la vivienda, dan seguridad y estabilidad a los muros. Una unidad de vivienda puede tener más de una planta.
 - **Escaleras:** cuando la vivienda tiene más de una planta las escaleras se encargan de comunicarlas.
 - **Muros:** delimitan los espacios dentro del hogar y separan a la vivienda del exterior.
 - **Ventanas:** están incrustados en los muros y permiten ver a través de los mismos, habitualmente se encuentran en los muros exteriores permitiendo la entrada de luz natural e interacción con el exterior.
 - **Puertas:** al igual que las ventanas, están incrustadas en los muros, permiten o bloquean el paso de la persona a través de los muros pasando de un espacio del hogar a otro.
 - **Techos:** al igual que los muros separan a la vivienda del exterior.
- **Áreas de uso:** estas áreas, son espacios donde la persona puede estar y desarrollar una actividad de acuerdo con el fin que se le diseñó. Estas áreas son:
 - **Cuarto:** permite que la persona descanse y recupere energía.
 - **Comedor:** comúnmente usada en actividades de alimentación de la persona.
 - **Sala:** lugar donde puede descansar a la persona, o hacer otras actividades como escuchar música, ver televisión u otras actividades de entretenimiento.
 - **Baño:** donde la persona puede realizar sus necesidades fisiológicas y aseo personal.
 - **Cocina:** se realizan actividades de preparación de alimentos y limpieza de elementos usados para la alimentación y preparación de alimentos.
 - **Cuarto de aseo:** permite al usuario realizar las actividades de limpieza del hogar, ropa y demás.
 - **Pasillo:** permite interconectar varias áreas, permitiendo a la persona desplazarse entre estas.
- **Infraestructura sanitaria y de servicios:** para que una vivienda sea propicia para que una persona viva en ella, debe contar con servicios públicos. Los servicios públicos

mínimos con lo que debe contar una vivienda son: alcantarillado sanitario, acueducto y electricidad. Adicionalmente, servicios como: gas, calefacción, aire acondicionado, agua caliente, televisión, telefonía e internet. Ofrecen una mejor calidad de vida de la persona que habita en ella.

Dentro de algunas áreas de uso, como la cocina, cuarto de aseo y baño. Deben existir elementos sanitarios como: el retrete, ducha, lavamanos, lavaplatos, lavadero de ropa, entre otros. También, en la vivienda deben existir bombillos, tomas eléctricas e interruptores.

La persona va a interactuar con su ambiente, no solo con la infraestructura física del hogar, sino también, con muebles y electrodomésticos, estos elementos pueden ser:

- **Muebles:** son los elementos que se instalan en los espacios de la vivienda, pueden ser: camas, sofás, mesas, sillas, sillones, repisas, entre otras.
- **Muebles empotrados:** son muebles que se encuentran sujetos o incrustados a la estructura física de la vivienda, como: closet, mezzanine, cocinas integrales, entre otras.
- **Electrodomésticos:** son los elementos electrónicos del hogar, pueden ser: televisor, equipo de sonido, lavadora, lavaplatos, horno, microondas, estufa, entre otros.

Desde la domótica se puede automatizar diversos elementos de la vivienda como: puertas, ventanas, registros de agua, gas, luz, electrodomésticos, y muebles, entre otros. La automatización se hace implementando dispositivos electrónicos como sensores y actuadores en dichos elementos. También, se pueden integrar electrodomésticos *smart*, con el fin de brindarle a la persona un ambiente automatizado donde vivir de manera más cómoda.

Para el cuidado médico de la persona, se integran una serie de elementos de monitoreo físico y/o médicos para supervisar su estado de salud, estos elementos pueden ser: sensores *wearables*, balanzas, sensores biomédicos y sistema médico de alarma.

5.2.2 Definición de Usuarios

Para el caso de referencia, se plantearon varios roles con la ayuda de la Dra. Claudia Irene Giraldo Villate miembro del grupo de trabajo del *Instituto de Envejecimiento del Hospital Universitario San Ignacio*, y el estudio de artículos relacionados con el tema. Como resultado se obtuvieron unos roles que definen sus propios requerimientos, lo que hace que al momento de diseñar el *Modelo Integrado AmI-IoT*, se tengan en cuenta. Estos roles se pueden ver en la figura 15.

- **Usuario:** es una persona mayor de 60 años en etapa de vejez, que es una condición humana y no una enfermedad, por lo anterior, los usuarios se dividen en saludables y enfermos. Las enfermedades que aquejan a los usuarios impactan el grado de autonomía que ellas tienen para interactuar con su entorno, si se tiene en cuenta que las personas de este rol viven solas, se les debe brindar asistencia para apoyarlos en sus actividades cotidianas. A los usuarios se les puede monitorear los signos vitales, niveles de bienestar, actividades realizadas y recomendar actividades.
- **Familiar:** los familiares son un factor importante para el estado de ánimo del usuario, sin importar si es familia consanguínea o política. La interacción constante del usuario

con ellos, lo motiva y anima, evitando que entre en un estado de depresión, siendo una de las causas de deterioro médico más común. De los familiares se puede monitorear las interacciones con el usuario por cualquier medio e informar el estado del usuario.

- **Personas cercanas:** al igual que los familiares, las personas cercanas al usuario lo motivan y animan. Estas personas son con las que tiene una interacción frecuente al realizar sus actividades cotidianas como: caminar, hacer ejercicio, comprar víveres, socializar, entre otros. Pueden ser vecinos, amigos, personal de tiendas. De ellos se puede monitorear las interacciones con el usuario y si son el motivo de una salida del usuario de la vivienda.
- **Cuidador:** es la persona capacitada que se encarga de asistir al usuario cuando este no pueda cumplir autónomamente alguna actividad. Si el usuario tiene un grado de autonomía alto, este puede ser su propio cuidador, si no, este podría ser: un personal dedicado a este oficio, un familiar, una persona cercana o el personal médico. A ellos se les reporta el estado de salud y físico del usuario, recordatorios de las actividades que debe cumplir, estado del ambiente e información que apoye su labor de asistencia al usuario.
- **Personal médico:** está compuesto por enfermeros, especialistas, laboratorios, terapeutas y médicos. Sin embargo, el responsable del diagnóstico, medicación y seguimiento del estado físico y médico del usuario es el médico tratante. Al médico tratante se le debe reportar la información del estado médico, datos vitales y estado físico, este autoriza al resto del personal a entrar en acción.

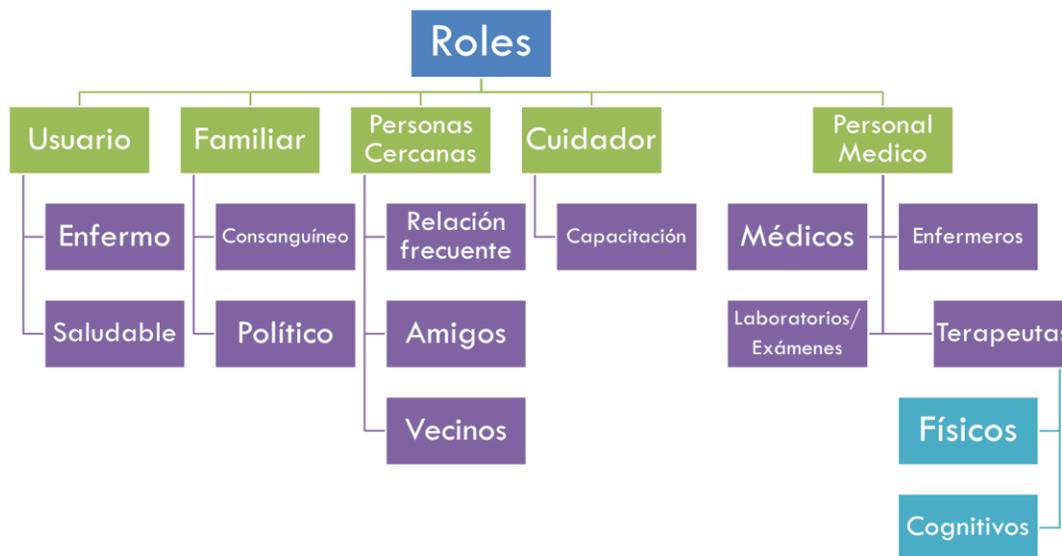


Figura 15 Definición de roles de usuarios del caso de referencia.

5.2.3 Eventos

Aquí se definen los eventos que se deben monitorear o generar en el ambiente para garantizar el bienestar del usuario. Para generar esta garantía, los eventos de bienestar se clasifican en tres: médico, físico y emocional. Como se muestra en la figura 16, los eventos de bienestar son

generados a partir de parámetros clasificados según el tipo de interacción que el usuario tiene con el ambiente.



Figura 16 Clasificación de los eventos de bienestar.

- **Médico:** los eventos médicos son aquellos que se generan por la supervisión del usuario, se clasifican en: monitoreo, alerta y predicción.
 - En monitoreo están los signos vitales, cambios en su estado físico, frecuencia de ejercicio físico y cognitivo, ingesta de medicamentos y salidas del ambiente por razones médicas.
 - Los eventos de alerta son el abastecimiento de medicamentos, el horario de ingesta de medicamentos, la sugerencia de terapias físicas o cognitivas, el recordatorio de agenda médica y las urgencias que se generan por un botón de alerta médica o automática, según el estado de los signos vitales.
 - Los eventos de predicción, son mensajes de información con posibles cambios del estado de salud del usuario y nivel de autonomía, realizándose con el análisis de tendencias de eventos de monitoreo y alerta.
- **Físico (Ambiental):** los eventos ambientales son aquellos que se generan por la supervisión de la vivienda y la interacción con el usuario. Los eventos se clasifican en: supervisión, acción y predicción.
 - Los eventos de supervisión son las salidas eventuales del usuario de la vivienda, los hábitos de comportamiento en la vivienda; y los ambientales, cambios en sus hábitos fisiológicos y alimentación, que a su vez comprenden: el uso de los elementos de la vivienda, la seguridad del ambiente de gases, inundaciones o incendio, y los relacionados con el confort de temperatura, humedad, ruido y luz.
 - Los eventos de acción, son los eventos que actúan sobre el ambiente como la automatización domótica del mismo, alertas de seguridad, y recomendaciones al usuario para interactuar con la vivienda o de sus hábitos.
 - Las predicciones pueden ser el cambio de sus hábitos del usuario o los cambios de estado del ambiente.

- **Emocional:** los eventos emocionales son aquellos que se generan por la interacción del usuario con usuarios de otros roles como familiares y personas cercanas, se clasifican en: acompañamiento, recomendaciones y predicción.
 - En acompañamiento, están los eventos como las salidas recreativas del usuario al exterior, la convivencia, encuentros, y comunicación con otros.
 - Los eventos de recomendación son los relacionados a motivar al usuario comunicarse con otros o hacer actividades de entretenimiento como: ver televisión, escuchar música, entre otros. Estas recomendaciones se pueden priorizar por gusto o frecuencia.
 - Los eventos de predicción que se pueden dar son el posible cambio del estado emocional y sus hábitos de comunicación e interacción.

5.2.4 Requerimientos

Para el *Modelo Integrado AmI-IoT*, es necesario cumplir con los requerimientos definidos por el caso de referencia, relacionando el ambiente, los roles y los eventos. Los requerimientos aquí definidos garantizan el bienestar de la persona de la tercera edad (usuario) y los eventos que se presentan en relación con el ambiente (vivienda).

- **CR-RF-1:** El modelo debe permitir la delimitación de la vivienda.
- **CR-RF-2:** El modelo debe permitir la gestión de los servicios públicos.
- **CR-RF-3:** El modelo debe permitir la agregación de áreas de uso.
- **CR-RF-4:** El modelo debe permitir la inclusión de elementos a la vivienda.
- **CR-RF-5:** El modelo debe permitir la comunicación adecuada a cada rol.
- **CR-RF-6:** El modelo debe permitir el monitoreo médico del usuario.
- **CR-RF-7:** El modelo debe permitir la generación de alertas médicas.
- **CR-RF-8:** El modelo debe permitir la predicción médica del usuario.
- **CR-RF-9:** El modelo debe permitir la supervisión física del ambiente y usuario.
- **CR-RF-10:** El modelo debe permitir la generación de acciones sobre el ambiente.
- **CR-RF-11:** El modelo debe permitir la generación de recomendaciones al usuario.
- **CR-RF-12:** El modelo debe permitir la predicción de cambios ambientales.
- **CR-RF-13:** El modelo debe permitir la predicción de cambios de hábitos del usuario.
- **CR-RF-14:** El modelo debe permitir el acompañamiento emocional al usuario.
- **CR-RF-15:** El modelo debe permitir la recomendación emocional al usuario.
- **CR-RF-16:** El modelo debe permitir la predicción emocional del usuario.

6 MODELO INTEGRADO AmI-IoT PROPUESTO

En este capítulo se presenta el *Modelo Integrado AmI-IoT*, que se diseñó a partir de los requerimientos definidos en el capítulo anterior, los requerimientos se clasifican en dos:

- Los requerimientos tecnológicos se definieron a partir del planteamiento de los modelos de referencia IoT (figura 13) y AmI (figura 14), donde se identificaron la estructura y funciones mínimas que tienen estas tecnologías.
- Los requerimientos definidos en el caso de referencia, plantean los lineamientos a tener en cuenta para brindar bienestar a una persona de la tercera edad que vive sola, estos requerimientos se definieron desde las perspectivas de: el ambiente, los roles (figura 15) y eventos (figura 16).

El diseño del *Modelo Integrado AmI-IoT* fue genérico, donde se definieron segmentos, capas y componentes. Cada una de estas definiciones, describen sus funcionalidades y cómo estas se aplican en el caso de referencia, con la intención de ajustar el modelo para cumplir el objetivo planteado. El objetivo del modelo es servir como referencia para el desarrollo de aplicaciones que integren componentes AmI e IoT.

6.1 Descripción General del Modelo

El modelo se plantea en tres grandes segmentos en pila: segmento IoT, segmento AmI y segmento de utilidad. Cada segmento agrupa funcionalidades encapsuladas en capas y componentes, como se muestra en la figura 17. Si bien, en el modelo se presentan los segmentos y capas en pila, en su implementación los segmentos, capas y componentes; dependiendo de la aplicación que se le dé al modelo y no será obligatorio implementar todas las capas y componentes.

En el *segmento IoT* se agrupan las capas encargadas de las funcionalidades de configuración de redes de nodos (sensores y actuadores), integración de tecnologías de comunicación heterogéneas, y presentación de datos de sensores y envío de órdenes a actuadores, como servicios ubicuos. En este segmento, se hace la automatización de la vivienda, creando redes de nodos específicas para supervisar y controlar la vivienda, y la monitorización del usuario. Brindando una plataforma que se encarga de la integración y comunicación con los dispositivos físicos de la vivienda y el usuario.

En el *segmento AmI* es donde están las capas encargadas del consumo de datos suministrados por el segmento IoT, aplicación de una inteligencia para la toma de decisiones, y generación de servicio de envío y recepción de mensajes por la interface AmI de comunicación. En este segmento, se hace la interpretación del estado de la vivienda y el usuario a partir de los sensores de la vivienda y usuario, cambiar el estado de la vivienda a partir de los actuadores de la vivienda, identificar hábitos, interactuar con el usuario, y prestar servicios de generación de mensajes tipo notificación y/o alerta a otros roles.

El *segmento utilidad* es el encargado de proveer un conjunto de servicios adaptados de IoT y/o AmI, y un conjunto de herramientas para desarrollar aplicaciones. En este segmento, se ofrecen los datos de la vivienda y del usuario como servicios adaptados según el rol y el dispositivo de acceso, el control de acceso, y las herramientas necesarias para la construcción de aplicaciones cliente de consumo y/o análisis para cada rol.

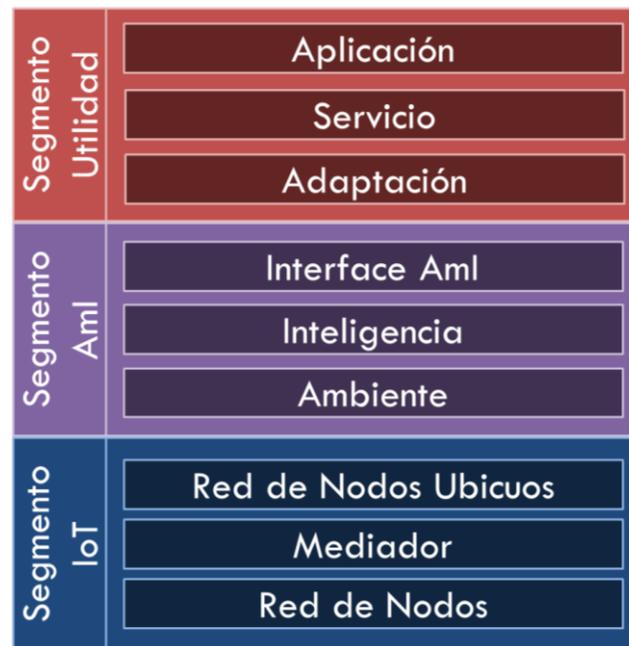


Figura 17 Modelo integrado AmI-IoT.

Cada una de las capas del modelo propuesto contribuye al cumplimiento de uno o más requerimientos definidos en el capítulo 5; en la tabla 4 y en la tabla 5 se muestra la relación entre los requerimientos y las capas propuestas en el modelo. En la tabla 4 se muestra, que para cumplir con la mayoría de requerimientos IoT y AmI, se le asigna a una capa, y en la tabla 5 se muestra que con la conjugación de varias capas, se cumplen los requerimientos del caso de referencia.

	IoT-RF-1	IoT-RF-2	IoT-RF-3	IoT-RF-4	IoT-RF-5	IoT-RF-6	IoT-RF-7	AmI-RF-1	AmI-RF-2	AmI-RF-3	AmI-RF-4	AmI-RF-5	AmI-RF-6	AmI-RF-7
Red de nodos	X													
Mediador		X	X											
Red nodos ubicuos			X	X	X	X								
Ambiente								X	X	X	X	X		
Inteligencia										X	X			X
Interface AmI								X	X		X		X	X
Adaptación														
Servicio				X		X								X
Aplicación							X							

Tabla 4 Capas versus requerimientos IoT y AmI.

	CR-RF-1	CR-RF-2	CR-RF-3	CR-RF-4	CR-RF-5	CR-RF-6	CR-RF-7	CR-RF-8	CR-RF-9	CR-RF-10	CR-RF-11	CR-RF-12	CR-RF-13	CR-RF-14	CR-RF-15	CR-RF-16
Red de nodos	X	X		X		X				X				X		
Mediador	X		X	X		X				X				X		
Red nodos ubicuos			X	X		X				X				X		
Ambiente	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X		X
Inteligencia	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Interface AmI					X	X	X				X			X	X	X
Adaptación			X		X		X									X
Servicio					X	X									X	
Aplicación						X									X	

Tabla 5 Capas versus requerimientos del caso de referencia.

6.2 Segmento IoT

Este segmento se divide en tres capas, como se muestra en la figura 18, cada capa se encarga de una funcionalidad atómica, comunicándose con su capa superior e inferior.



Figura 18 Segmento IoT.

Las capas del segmento IoT, son tres:

- La primera capa es la *red de nodos*, esta capa se encarga de la conexión de los nodos, la creación de las redes de nodos IP y NoIP, mecanismos de acceso a las redes de nodos, y la comunicación entre las redes de nodos de diferentes protocolos.
- La segunda capa es el *mediador*, que se encarga de las funciones de integración de múltiples redes de nodos que pueden ser IP o NoIP, registrando cada nodo sensor o actuador de cada red de nodos como un servicio de red, aísla a las redes de nodos del resto de capas y presenta los servicios de un nodo con un identificador, dando transparencia a tecnología y ubicación, cumpliendo con la homogenización de las redes de nodos.
- Por último, está la capa de *red de nodos ubicuos*, que facilita la integración de servicios de las redes de nodos, ofreciendo cada sensor y actuador como un servicio ubicuo, sin importar que mediador lo ofrece.

6.2.1 Red de Nodos

Esta capa está compuesta por componentes, cada componente se encarga de cumplir funciones específicas y se comunica con otros componentes con el fin de cumplir con los requerimientos de la capa. La capa está compuesta por:

- **Nodos:** son los dispositivos que conforman una red de nodos, estos dispositivos deben contar con una o más interfaces de conexión, un microcontrolador, fuente de poder, y uno o varios sensores y/o actuadores, que son ofrecidos como servicios del nodo. La tecnología de comunicación de estos dispositivos puede ser heterogénea, usando protocolos como: *Zigbee*, *Bluetooth*, *6LowPAN*, *IP*, *Ethernet*, entre otros. Los nodos pueden enviar sus datos de forma síncrona o asíncrona.
- **Gestor de Red de Nodos:** este componente, se encarga de crear las redes de nodos, estas redes, se crean por el protocolo de comunicación de los nodos o por el fin que se le da a la red. Cuenta con dos sub-componentes: el primero, el gestor de nodos, que se encarga de configurar los nodos, la configuración consiste en definir el tipo de dato que envía, la frecuencia de envío (síncrona/asíncrona), y la unidad de magnitud del dato; el segundo, la conexión red, que se encarga de la conexión de los nodos, que debe ofrecer una conexión de acuerdo al protocolo de comunicación definido para la red, y garantiza el estado de conexión del nodo. Para redes de datos NoIP se comunica con la capa *gateway*, para redes IP cada nodo se comunica por medio del enrutador IP. Las redes de nodos pueden ser alámbricas o inalámbricas, predominando las inalámbricas como las WSN
- **Gateway:** este componente facilita la integración con el siguiente componente, y la comunicación de redes NoIP con redes IP, también posibilita la comunicación entre varias redes de nodos y redes IP. El gateway le provee a la red de nodos una puerta de acceso a una red IP y una manera de acceder a los nodos desde una o varias redes IP, ofreciendo como servicio el envío y recepción de mensajes desde y hacia los nodos. También se encarga de la adaptación de los mensajes, homogenizándolos a mensaje IP, e identifica y define el estado de los servicios de los nodos NoIP.

- **Enrutador IP:** para las redes de nodos que son compatibles con IP se conectan a través de un enrutador IP para conectarse con la capa de mediador directamente y presentar sus servicios.

Para el caso de referencia, esta capa se encarga de crear las redes de nodos sensores de la vivienda y del usuario, así como los nodos actuadores que cambian el estado de la vivienda, sin importar su protocolo de comunicación o tecnología. Por ejemplo, conecta los dispositivos médicos que monitorean el ritmo cardíaco del adulto mayor y los dispositivos *smart* de la vivienda donde este vive.

6.2.2 Mediador

Esta capa es la encargada de la convergencia de múltiples redes de nodos heterogéneas, e integra múltiples servicios ofrecidos por los nodos, registrando e identificando servicios ubicuos para ser consumidos por una o varias redes de nodos ubicuos. Esta capa está compuesta por tres componentes:

- **Acceso a Red de Nodos:** este componente establece mecanismos para soportar múltiples redes de nodos heterogéneas, también para la comunicación a través de los modelos *request/response* y/o *publish/subscribe*, servicio de envío y recepción de mensajes a las capas superiores, y definir un mecanismo de comunicación con los nodos sensores y actuadores, ya sean compatibles o no con el protocolo IP. Para esto último, están los sub-componentes: Conectores otros protocolos, que se brinda la posibilidad de conectar múltiples protocolos de transporte y aplicación; y convergencia IP, que se conecta con redes de nodos compatibles con IP a través del enrutador o del gateway.
- **Integrador de Servicios de Red:** este componente integra los servicios ofrecidos por las redes de nodos, definiendo, instanciando, clasificando y gestionando los servicios que son ofrecidos por los nodos de manera ubicua, independiente de las redes de nodos. Para integrar los servicios, se requiere del registro de cada red, cada nodo, y cada servicio; gestionar los servicios de los nodos; y establecer el estándar de comunicación a los servicios. Los sub-componentes que cumplen con estas tareas son: registro de nodos, administrador de nodos y adaptador de comunicación.
- **Proveedor de Servicios de Red:** se encarga de proveer servicios de los nodos de múltiples redes de nodos, los servicios tienen una unidad de información y un conjunto de atributos como un identificador global a cada servicio, un identificador del tipo del servicio, un identificador del servicio, y un identificador del nodo que da el servicio. Los servicios son registrados por el *integrador de servicios* en una base de información de servicios y nodos, y son publicados en modelos *request/response* y/o *publish/subscribe* por el *proveedor de servicios de red*.

Para el caso de referencia, esta capa se encarga de proveer la gestión de cada sensor y actuador de la vivienda y el usuario, permitiendo que la gestión se simplifique. Por ejemplo, si el adulto mayor sufre un accidente en la vivienda, los nodos sensores del ambiente y del anciano ofrecen sus datos de manera *publish*, que se integran para ofrecer la información de los dos sensores.

6.2.3 Red de Nodos Ubicuos

Esta capa es la encargada de la creación y oferta de servicios ubicuos, un servicio ubicuo, es la representación lógica de un sensor o actuador físico de uno o más mediadores, también puede

representar servicios de proveedores IoT como: Fitbit², Domoticz³, Google Home⁴, entre otros. Esta capa está compuesta por tres componentes:

- **Consumidor de Servicios de Red:** este componente se encarga de consumir los servicios ofrecidos por uno o varios mediadores, ofreciendo un mecanismo de comunicación IP en modelos *request/response* y/o *publish/subscribe*. El consumidor de servicios de red, se divide en dos componentes: el primero es, de mediador, este sub-componente consume servicios de red, desde la capa mediador definida en el modelo; el segundo es de proveedor, que se encarga de consumir datos desde un servicio de internet u otro proveedor IoT; en este sub-componente se deben estandarizar los mensajes, la frecuencia de consumo y el estándar para pasarlo a la capa superior, esta funcionalidad permite que el modelo sea ampliamente compatible con otras aplicaciones IoT.
- **Configurador de Servicio Ubicuo:** este componente se encarga de encapsular la creación y gestión de los servicios ubicuos, clasificarlos en sensor o actuador; además, se encarga de la administración de los servicios con una base de información de servicios ubicuos, en esta base de información, se realizan las acciones de: creación de servicios, suscripción/respuesta, y mantenimiento del servicio; también de crear mensajes homogéneos para facilitar comunicaciones *request/response* y *publish/subscribe* y la creación de mensajes de acuerdo al nodo destino. Para la configuración de servicio ubicuo, están los componentes de: servicio sensor, servicio actuador, y configuración del servicio; los servicios representan un tipo de comunicación, que puede ser síncrona o asíncrona.
- **Acceso a Servicio Ubicuo:** este componente se encarga de brindar el acceso a consumidores de servicios ubicuos; monitorea el estado de la conexión con el servicio; y notifica la desactivación del servicio. Brinda un identificador (interfaz) por cada servicio ubicuo identificando su clase y tipo (síncrono o asíncrono), ocultando su ubicación y forma de conexión.

Para el caso de referencia, esta capa se encarga de ocultar el acceso a los dispositivos, encargándose de la conexión y los retos tecnológicos que implica la gestión de estos dispositivos, suministra al segmento AmI de todos los datos del ambiente y el usuario en tiempo real, para ser almacenados y analizados y lograr el objetivo definido en las capas del segmento AmI. Por ejemplo, se pueden integrar las manillas *fitbit* que usa el adulto mayor y ofrecer el servicio.

6.3 Segmento AmI

Este segmento se divide en tres capas, como muestra la figura 19:

- La primera capa es *ambiente*, que se encarga de consumir los servicios ubicuos suministrados por el segmento IoT, los clasifica por ambiente y usuario, registra los datos e información necesaria para generar conocimiento y servicios AmI.

² <https://www.fitbit.com/co/home>

³ https://domoticz.com/Domoticz_es.html

⁴ https://store.google.com/us/category/connected_home

- La segunda es *inteligencia*, se encarga de controlar los eventos y hábitos con una inteligencia artificial encargada de gestionar, coordinar y controlar la interacción del ambiente.
- Por último, está la capa de *interface AmI*, esta sirve como punto de interacción del usuario y del segmento de utilidad, con la inteligencia que representa al ambiente y a los servicios AmI.

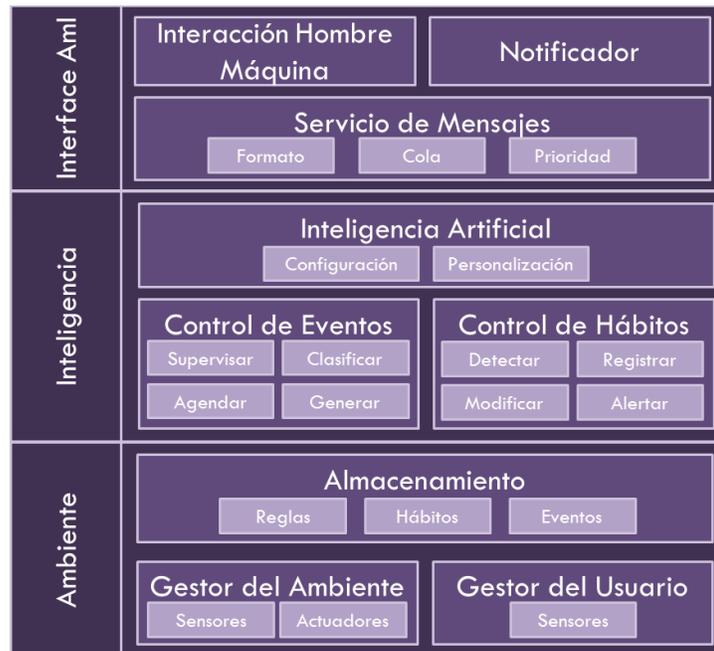


Figura 19 Segmento AmI.

6.3.1 Ambiente

Esta capa es la encargada de la supervisión, gestión y control, del ambiente y el usuario. Consume los servicios ubicuos ofrecidos por la última capa del segmento IoT. Al consumir los servicios ubicuos y dependiendo del tipo de servicio, lo almacena y ofrece a la capa de inteligencia para su análisis y generación de conocimiento. Esta capa está compuesta por tres componentes:

- **Gestor del Ambiente:** este componente se encarga de consumir los servicios ubicuos, relacionados con el ambiente, ofrecidos por una red de nodos ubicuos, con modelos *request/response* y/o *publish/subscribe*. Los servicios se clasifican en servicios sensores y servicios actuadores, que pueden ser síncronos o asíncronos. Se definen dos subcomponentes: sensores y actuadores. Esta capa se encarga de generar los eventos del ambiente y enviar las órdenes de activación al ambiente.
- **Gestión del Usuario:** este componente tiene las mismas funciones del gestor del ambiente, la diferencia es que consume solo los servicios ubicuos de sensores asociados al usuario; y el consumo de los eventos del usuario en tiempo real. Este componente no gestiona actuadores por cuestiones de seguridad física de las personas. Por ejemplo, dispositivos que controlen la medicación del adulto mayor.

- **Almacenamiento:** el componente de almacenamiento se encarga de registrar los eventos, hábitos y reglas que se usarán en la capa de inteligencia, los datos suministrados por el gestor de ambiente y el gestor de usuario, no siempre se almacenan directamente, pasan a la capa de inteligencia para reducir el tiempo de respuesta de la capa de inteligencia sobre el ambiente, el usuario y los servicios AmI.

Para el caso de referencia, esta capa se encarga de recibir todos los datos de la vivienda, del usuario de manera oportuna, y del registro de todos los eventos del ambiente y usuario, los hábitos del usuario y las reglas de comportamiento del segmento AmI, para ofrecerlos a la inteligencia como históricos para la identificación de nuevos hábitos o ajuste de hábitos ya tipificados. Por ejemplo, si el adulto mayor usa el televisor de manera frecuente, esta capa recibe la información por suscripción al servicio del uso del televisor y presentar esa información para la identificación de un hábito.

6.3.2 Inteligencia

Esta capa es la responsable del control de los recursos suministrados por la capa de ambiente, la toma de decisiones sobre el ambiente y el usuario, el uso y registro de datos e información almacenada, la generación de conocimiento y servicios AmI, y la interacción con el usuario; la capa de inteligencia define el algoritmo de inteligencia artificial que coordina todas las funciones, y el administrador de eventos y hábitos. Esta capa está compuesta por tres componentes:

- **Control de Eventos:** este componente define los mecanismos necesarios para supervisar, almacenar, agendar, clasificar, y generar eventos; estos mecanismos consumen eventos presentados por la capa de ambiente, y los puede o no almacenar en la capa de ambiente, si lo define el componente de inteligencia ambiental. La inteligencia artificial usa los mecanismos de este componente para atomizar todas las funciones relacionadas con acciones temporales en tiempo real.
- **Control de Hábitos:** define los componentes necesarios para detectar, registrar y modificar hábitos, alertar y notificar cambios de hábitos, y consultar históricos de eventos y hábitos. Para el control de hábitos se consulta los datos almacenados en la capa de ambiente y los datos del control de eventos. La inteligencia artificial usa los mecanismos de este componente para atomizar todas las acciones relacionadas al análisis de eventos históricos a lo largo del tiempo y generar servicios AmI a partir de los resultados.
- **Inteligencia Artificial:** en este componente se definen los mecanismos de análisis, toma de decisiones, predicción de eventos e interacción con el usuario, el objetivo es proveer mecanismos para la supervisión y control del ambiente, la identificación y clasificación de hábitos del usuario en el ambiente, y la manera de comunicarse con el usuario. La supervisión y control del ambiente, se logra con el componente de control de eventos y los hábitos con el componente de control de hábitos. La inteligencia artificial definida en este modelo se centra en una Inteligencia Ambiental (AmI), lo que significa, que se aplicaran algoritmos que tienen como objetivo: la interacción con el usuario, la supervisión y generación de eventos, computación ubicua y pervasiva, conciencia del contexto, e identificación de hábitos. Dentro de los algoritmos y mecanismos que se pueden implementar para cumplir con estos objetivos están: la minería de datos, la clusterización por densidad, los algoritmos genéticos, las redes neuronales, entre otros; que pueden ser implementados en sistemas multi-agente o herramientas de

data analytics. En este componente también se generan las acciones e información para la capa de interface AmI en forma de servicios AmI, que están asociados a los eventos y hábitos.

Para el caso de referencia, esta capa se encarga de la supervisión y control de la vivienda, de la monitorización del usuario; esto, a orden de una la inteligencia artificial encargada de la toma de decisiones sobre la vivienda y la creación de servicios AmI. Por ejemplo, si el adulto mayor sufre una repentina caída en sus signos vitales, la inteligencia se ocupa de tomar la decisión de enviar una alerta médica al personal médico y cuidador.

6.3.3 Interface AmI

Esta capa es la encargada de la interacción con el usuario en el ambiente y con los otros roles a través de servicios AmI. Los servicios se basan en la entrega y recepción de mensajes, estos mensajes tienen una interfaz definida y común para ser consumida por otras capas del modelo. Los mensajes se pueden entregar al usuario en el ambiente o a todos los roles a través de notificaciones. Esta capa está compuesta por tres componentes:

- **Servicio de Mensajes:** se encarga de recibir la información y ordenes de la capa de inteligencia; gestiona la salida de los mensajes; clasifica y prioriza los mensajes usando colas de mensajes, brindando la posibilidad de generar mensajes asíncronos o síncronos; los mensajes que gestionan en este componente, se definen como servicios AmI. También, establece el formato de los mensajes, este formato es útil para facilitar la comunicación en la entrega del mensaje.
- **Interacción Hombre Máquina:** este componente se encarga de la interacción con los usuarios dentro del ambiente, donde hace uso de los dispositivos de interacción como, micrófonos, altavoces, PC, *smartphone*, pantallas táctiles, teclados, cámara, entre otros. Suministra los mecanismos necesarios para las interacciones como la semántica y sintaxis de la comunicación, como servicios AmI
- **Notificador:** este componente se encarga de presentar los servicios AmI en modelos de comunicación *request/response* y/o *publish/subscribe* que pueden ser consumidos directamente o enriquecidos por otro componente de capas superiores, estos servicios AmI se diferencian de los ofrecidos por el componente de *interacción hombre máquina*, porque estos son ofrecidos fuera del ambiente, y no necesariamente en tiempo real.

Para el caso de referencia, esta capa se encarga de: la interacción del usuario con la vivienda, ofreciéndole una manera de relacionarse con su ambiente, de una manera fácil, sencilla, ubicua, automática, en tiempo real y transparente; también se encarga de la publicación de servicios AmI, como la notificación de tareas, alertas, y notificaciones del resto de la vivienda y del usuario. Por ejemplo, si el adulto mayor quisiera cambiar la temperatura de la vivienda y el control de gestión de la calefacción esta fuera de su alcance, él podría interactuar con la vivienda a través de comandos de voz que serán reconocidos por el componente de *interacción hombre máquina*, para conectar con la *inteligencia artificial* y activar los servicios *response* del dispositivo de gestión de la calefacción. Además, los servicios AmI generados por la capa de inteligencia, como las alertas sobre cambios de hábitos del adulto mayor son enviados por el *notificador*.

6.4 Segmento Utilidad

Este segmento se divide en tres capas, como muestra la figura 20:

- La primera capa es *adaptación*, que se encarga de consumir los servicios AmI o IoT, enriquecerlos con información de perfiles de adaptación, adaptando el contenido y la presentación de los mismos.
- La segunda es la capa de *servicio*, se encarga de ofrecer servicios AmI o IoT, controlando el acceso y la sesión para el consumo de los mismos.
- Por último, está la capa de *aplicación*, esta brinda un conjunto de herramientas para facilitar el desarrollo e implementación de aplicaciones que consuman los servicios ofrecidos por las capas inferiores.

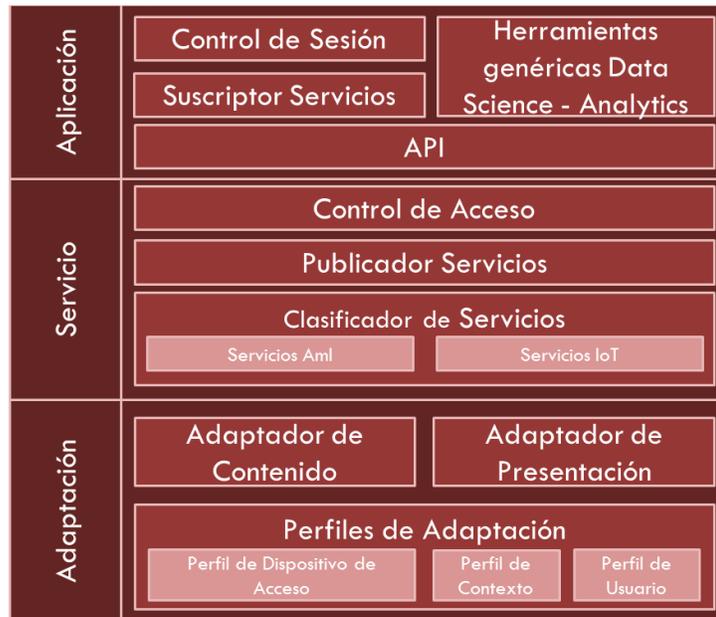


Figura 20 Segmento utilidad.

6.4.1 Adaptación

Esta capa es la encargada de enriquecer los servicios ofrecidos por los segmentos AmI e IoT, el enriquecimiento se hace adaptando la presentación de los servicios y el contenido de los mismos. Para lograr este enriquecimiento se basa en la definición y carga de perfiles de adaptación, los perfiles brindan información adicional que se usan para personalizar los servicios de acuerdo al rol que lo está consumiendo, y el dispositivo que lo consume. Esta capa está compuesta por tres componentes:

- **Perfiles de Adaptación:** este componente se encarga de la estructura, definición y actualización de los datos necesarios para enriquecer servicios con adaptación, los datos están divididos en tres perfiles: perfil de usuario, perfil de contexto, y perfil de dispositivo de acceso.

- **Adaptador de Contenido:** este componente se encarga de adaptar el contenido de los servicios enriquecidos, la adaptación de contenido se hace de acuerdo a la información almacenada en el componente de perfiles de adaptación; dependiendo del rol del usuario que este consumiendo el servicio se le presenta la información adecuada al tipo de usuario. La información también varía de acuerdo al contexto en el que se haga el consumo del servicio.
- **Adaptador de Presentación:** este componente se encarga de presentar la información de los servicios enriquecidos, de acuerdo al tipo de dispositivo desde donde se esté accediendo al servicio. La especificación de cómo se presenta la información, se encuentra en el componente de perfiles de adaptación.

Para el caso de referencia, esta capa se encarga de brindar la información adecuada, en el momento adecuado, al usuario adecuado personalizando los servicios que se dan en tiempo real y los que se solicitan. Por ejemplo, si el personal médico hace una consulta sobre el estado médico del adulto mayor, a través de un dispositivo móvil, la información más relevante y presentada de la manera más adecuada para el dispositivo de acceso.

6.4.2 Servicio

Esta capa es la encargada de ofrecer los servicios del modelo, clasificados en servicios AmI e IoT. También, se encarga del control de acceso a los servicios, brindando componentes de seguridad que garantizan el acceso a los servicios a usuarios autenticados; los servicios son ofrecidos como *request/response* y/o *publish/subscribe* (síncronos y asíncronos) Esta capa está compuesta por tres componentes:

- **Clasificador de Servicios:** este componente se encarga de clasificar y consumir los servicios según su naturaleza y segmento de origen, los servicios AmI y servicios IoT. Este componente hace el puente entre las capas superiores de los segmentos AmI e IoT, que se enriquecen en la capa de adaptación.
- **Publicador de Servicios:** este componente se encarga de preparar los servicios del modelo, como los entrega el componente de clasificados de servicios. Este componente registra los servicios con identificadores únicos que permiten su acceso, estos servicios son proporcionados en modelos *request/response* y/o *publish/subscribe*.
- **Control de Acceso:** este componente se encarga de brindar seguridad al momento de acceder a los servicios del modelo. El control de acceso se puede hacer con estructuras jerárquicas rol-usuario donde se definen los roles y los usuarios.

Para el caso de referencia, esta capa se encarga de brindar los servicios de notificación de alertas, estado del usuario, estado de la vivienda, configuración y parametrización. Y cumpliendo con los requerimientos asociados a cada rol de usuarios. Por ejemplo, si un familiar quiere suscribirse a servicios que le notifiquen el estado anímico del adulto mayor, verificar el estado de la alacena, o un recordatorio para comunicarse con él, estando fuera de la vivienda; puede suscribirse a servicios publicados en internet que puede acceder a través de una aplicación.

6.4.3 Aplicación

Esta capa es la encargada de proveer un conjunto de herramientas que facilitan: el consumo de servicios de tipo *request/response* y/o *publish/subscribe*, que se ofrecen en la capa de servicios; el control de sesión y acceso a los servicios; y un conjunto básico de herramientas de análisis

de datos. El objetivo de esta capa es ofrecer un componente abstracto que facilite el desarrollo de aplicaciones. Esta capa está compuesta por cuatro componentes:

- **API:** este componente se encarga de la brindar un conjunto de funciones y procedimientos que facilitan el consumo de servicios *request/response* del modelo, donde se define la estructura de interfaz de los datos.
- **Suscriptor Servicios:** este componente se encarga de proveer las funciones para consumir los servicios *publish/subscribe*, estos servicios son necesarios para presentar las notificaciones del modelo.
- **Control de Sesión:** este componente se encarga de proveer la seguridad que deben cumplir las aplicaciones que consumen los servicios del modelo. El componente brinda el control de sesión para el consumo de servicios y el registro para el acceso de los servicios según el rol del usuario que usa la aplicación.
- **Herramientas Genéricas de Data Science – Analytics:** este componente ofrece un conjunto de herramientas básicas y genéricas de *data science*, para la visualización, análisis de datos, limpieza, y minería de datos; que les permite a las aplicaciones mostrar información como conocimiento para facilitar la toma de decisión de los usuarios.

Para el caso de referencia, esta capa se encarga de proveer las herramientas necesarias para el desarrollo de aplicaciones, sistemas y componentes; que consumen los datos y servicios generados de la supervisión de la vivienda y el usuario, de los servicios para controlar el y cambiar el estado de la vivienda. Las aplicaciones desarrolladas sobre el modelo son las encargadas de interactuar con todos los roles definidos en el caso de referencia. Por ejemplo, si el personal médico quisiera hacer un análisis sobre el estado de salud del adulto mayor en un rango de tiempo, el medico podría usar una aplicación para realizar dicho análisis, y poder hacer un mejor diagnóstico y tratamiento de la persona de la tercera edad

7 VALIDACIÓN DEL MODELO

Para validar que el modelo propuesto es coherente y que se puede aplicar para solucionar la problemática planteada al inicio del documento se caracterizó el caso de referencia. Se plantean tres tipos de pruebas. La primera, será una comparación con trabajos analizados en el estado del arte, con el fin de probar que el modelo integrado AmI-IoT, abarca las funciones necesarias propuestas y validadas en esos trabajos. La siguiente prueba, se hizo con la colaboración de un grupo de expertos que validaron el modelo propuesto, mediante una adaptación de TAM (technology acceptance model) [74], que validó la coherencia y potencialidad de implementación. Por último, se desarrolló un prototipo a partir de los productos ofrecidos por los trabajos de Agreda y Ruiz, para validar la funcionalidad integrada de los trabajos. En la prueba del prototipo se implementó un simulador del comportamiento de un adulto mayor desarrollado por Agreda, con la ejecución de ese simulador se validó la aplicabilidad del modelo en el caso de referencia propuesto.

7.1 Prueba de concepto con prototipos del estado del arte

Para probar que el *Modelo Integrado AmI-IoT*, cumple con funcionalidades mínimas requeridas por los conceptos AmI e IoT, se eligieron 6 trabajos en los que se desarrollaron prototipos, y se compararon con el modelo propuesto. El objetivo de esta prueba es demostrar que el modelo abarca las funcionalidades de los prototipos analizados.

7.1.1 Trabajos seleccionados

Los trabajos seleccionados se eligieron bajo los criterios de asistir a un adulto mayor en la vivienda, implementación de mecanismos de tele-cuidado, herramientas de domótica, y estructura de un modelo de internet de las cosas o de inteligencia ambiental. En la tabla 6 y en la tabla 7, se muestra una descripción de los prototipos que usaron en la comparación.

Prototipo	Descripción
Rosner – 2014 UNCHAIN [50]	UNCHAIN es un sistema AmI/Domótica, que posibilita la interacción de un paciente con un sistema de monitoreo de salud, de manera transparente, eliminando la interacción con un PC; para lograrlo, se basa en componentes de comunicación conocidos como RedNodes, BlueNodes y PurpleNodes; que se encargan de la homogenización y ubicuidad de la comunicación; una característica clave de UNCHAIN es la interoperabilidad de componentes nativos y componentes externos.
Ruiz, Vivas - 2014 Middleware de Gestión de WSN [16]	Este prototipo, brinda un middleware para la creación y configuración de redes de sensores mediante el protocolo MQTT, para la generación de servicios ubicuos en un modelo IoT
Agreda – 2015 SMart [14]	SMart, es un sistema AmI implementado con un SMA que supervisa eventos generados en la vivienda y en el usuario. Para la identificación de hábitos implementando un análisis por densidad DBSCAN.

Tabla 6 Descripción de prototipos, parte 1/2.

Prototipo	Descripción
Gachet – 2015 The Human API [13]	The Human API, ofrece un mecanismo para integrar, de forma sencilla, y conveniente el acceso a datos de salud de muchos sensores y dispositivos, IoT/Big Data, que están disponibles en el mercado. Lográndose con la implementación de cuatro componentes: lista dinámica de recursos de datos, para almacenar las fuentes de datos; human connect, para el control de acceso y registro de datos de salud; The Data API, para estandarizar y unificar los datos de salud; y el control para desarrolladores, para ofrecer la información de manera centrada de datos usuarios y conexiones.
Dogali – 2015 CI-UCEMA [11]	CI-UCEMA, es una arquitectura configurada con tres capas: capa de servicio en la nube (CSL), servicio M2M (MSL) y capa de servicios ubicuos (USL), esta arquitectura define los componentes básicos para la creación de aplicaciones IoT-M2M, ubicuas, y móviles.
Parra – 2016 SICOBIO [75]	SICOBIO, es un sistema de monitorización y asistencia en casa, de personas enfermas con neumonía, el sistema se basa en dos componentes: el componente de consolidación, que se encarga de la integración de dispositivos fitbit IoT y la consolidación de la información adquirida por los dispositivos; y el componente de análisis, que se encarga de realizar análisis síncrono y asíncrono, que generan servicios de alertas y altas tempranas.

Tabla 7 Descripción de prototipos, parte 2/2.

7.1.2 Resultados de la comparativa contra los trabajos

Como resultado de esta prueba, se encontró que el modelo propuesto, engloba la mayoría de funcionalidades definidas en los prototipos analizados, el detalle del análisis se encuentra en el Anexo 6, a continuación, se presentan los resultados finales de cada prototipo.

- **UNCHAIN:** para cumplir con todas las funcionalidades del prototipo, el modelo cuenta con los componentes interacción hombre máquina, que provee los mecanismos de interacción con los pacientes; inteligencia artificial, que se encarga de la toma de decisiones del monitoreo de salud del paciente; y todos los componentes del segmento IoT, se encargan de la comunicación ubicua de los dispositivos.
- **Middleware de Gestión de WSN:** el modelo cumple con todas las funcionalidades de este prototipo, con el segmento IoT y las capas de servicio y aplicación del segmento de utilidad, que posibilitan la creación de redes de sensores y publicación de los datos capturados, como servicios ubicuos.
- **SMArt:** para cumplir con todas las funcionalidades del prototipo, el modelo cuenta con los segmentos AmI e IoT, que brindan las herramientas para la monitorización y control de la vivienda, supervisión del usuario, inteligencia artificial para la administración de la vivienda y reconocimiento de hábitos.

- **The Human API:** el modelo cuenta con el componente de consumidor de servicios de red, que puede consumir datos de otros proveedores y presentarlos, como servicios ubicuos que son representado por el componente API de la capa de aplicación, para el control de acceso se definen mecanismo en las capas de servicio y aplicación del modelo; para el almacenamiento de la información de salud se cuenta con el componente de almacenamiento; por último, en la capa de aplicación se cuenta con un conjunto de herramientas de analytics, para realizar el análisis de la gran cantidad de datos de salud almacenados.
- **CI-UCEMA:** el modelo define la creación de servicios ubicuos síncronos y asíncronos, en el segmento IoT; en el componente de aplicación puede implementar mecanismos adicionales para que se consuman servicios por otros sistemas, como lo plantea el modelo M2M.
- **SICOBIO:** para la monitorización medica de un paciente en casa, el modelo presenta herramienta en el segmento IoT, para la captura de datos enviados por terceros y la consolidación de los mismos; también cuenta, con la capa de inteligencia y el componente de herramientas básicas de data science, para realizar el análisis asíncrono y síncrono de los datos; y la capa de interface genera notificaciones que representan las alertas; para el servicio de alta temprana, se pueden definir las condiciones en la capa de aplicación que implemente el modelo.

Con esta primera prueba, se demostró que el Modelo Integrado AmI-IoT, define componentes, funcionalidades e interacciones, que fueron implementadas en trabajos relacionados, dándole validez y aplicabilidad al modelo propuesto. De igual manera, da relevancia, ya que el modelo propuesto, puede ser usado como marco de referencia para implementaciones de: AmI, IoT, domótica, WSN, analytics, y tele-cuido; ahorrando tiempo en la definición de componentes, funcionalidades básicas e interacciones.

7.2 Evaluación con modelo de aceptación

Para probar que el *Modelo Integrado AmI-IoT* es coherente, completo, relevante y aplicable, se presentó a 4 expertos en las áreas de IoT y/o AmI, los expertos usaron una encuesta de aceptación del modelo inspirado en TAM, ver Anexo 7, que pretende medir que el modelo cumple con los componentes necesarios para soluciones AmI e IoT, en el caso de referencia. La encuesta presentada es una adaptación de TAM, ya que no se evalúa el producto de software, si no el modelo propuesto.

7.2.1 Criterios objetivo a evaluar

En la encuesta y evaluación TAM, los criterios a evaluar se centraron en: IoT, AmI, la integración AmI-IoT. Los criterios objetivos que se quieren evaluar son:

- **Coherencia:** mide que los componentes del modelo se relacionan e interactúan de manera lógica para lograr un fin común, garantizando que cada componente realiza una función única y específica.
- **Modularidad:** mide que los componentes del modelo están organizados con alta cohesión y bajo acoplamiento, y que hay potencial flexibilidad en la implementación de los componentes requeridos acordes con el caso de aplicación.

- **Aplicabilidad:** mide que los componentes descritos en el modelo se puedan implementar en el desarrollo de una solución de software AmI/IoT, y que las tecnologías necesarias para su implementación se encuentren en el mercado o sea viable su desarrollo.
- **Completitud:** mide que el modelo cuente con todos los componentes necesarios para una solución AmI/IoT en tele-cuidado de adultos mayores, y que es completo conceptualmente.
- **Relevancia:** mide el impacto potencial, para mejorar el bienestar de los adultos mayores, que puede tener el modelo propuesto.
- **Compatibilidad:** mide si el modelo es compatible con otras definiciones de AmI/IoT, y con otros sistemas que usted conoce.

7.2.2 Resultados de la evaluación del modelo de aceptación

Como resultado de esta segunda prueba, se evaluó el modelo en los 6 criterios, con un conjunto de 14 preguntas, el detalle de la evaluación se puede ver en el Anexo 8. Los expertos se eligieron por el dominio que tiene en:

- Implementaciones genéricas de inteligencia ambiental (AmI) – Ev. 1, Este experto tiene conocimientos sobre AmI, y los algoritmos de inteligencia artificial que se aplican dependiendo de la aplicación AmI. Ing. Jaime Fernando Pérez González.
- Implementaciones aplicadas al tele-cuidado con inteligencia ambiental (AmI) – Ev. 2. Este experto tiene conocimientos sobre AmI, y los algoritmos de inteligencia artificial que se aplican en la analítica de datos de tele-medicina. Ing. Luis Eduardo Barreto Santamaría.
- Implementaciones genéricas de internet de las cosas (IoT) – Ev. 3. Este experto tiene conocimientos sobre IoT, el uso de tecnologías y protocolos que se aplican dependiendo de la aplicación IoT. Ing. Edgar Enrique Ruiz García.
- Implementaciones aplicadas al tele-cuidado con internet de las cosas (IoT) – Ev. 4. Este experto tiene conocimientos sobre IoT, el uso de tecnologías y protocolos que se aplican en soluciones de tele-medicina y tele-cuidado. Ing. Raúl Bareño Gutiérrez

Los expertos evaluaron con la escala Likert que se muestra en la tabla 8

Evaluación	Descripción
1	Totalmente en desacuerdo
2	En desacuerdo
3	Ni de acuerdo ni en desacuerdo
4	De acuerdo
5	Totalmente de acuerdo

Tabla 8 Escala de Evaluación Likert

Criterios	Evaluadores				Promedio criterio
	Ev. 1	Ev. 2	Ev. 3	Ev. 4	
Coherencia	3,5	4,5	4	4	4
Modularidad	4,5	4,5	3,5	4	4,1
Aplicabilidad	4	4,6	4	4,5	4,3
Compleitud	4,3	4,3	4	3,6	4
Relevancia	4,6	4,6	4,3	4,6	4,5
Compatibilidad	4,5	4,5	5	4	4,5
Promedio evaluador	4,2	4,5	4,1	4,1	

Tabla 9 Resultados de la evaluación TAM.

Como muestra la tabla 9, la evaluación del *Modelo Integrado Aml-IoT*, por parte de los 4 expertos, fue positiva, en promedio los expertos estuvieron *de acuerdo*, en los 6 criterios en los que se evaluó el modelo propuesto.

Los expertos hicieron varias recomendaciones desde su perspectiva de experiencia en cada área, estas recomendaciones se tendrán en cuenta en trabajos futuros para el mejoramiento o complementación del modelo propuesto. Las recomendaciones más relevantes son:

- Mejorar los componentes de big data analytics, el componente propuesto para esto se puede detallar mejor y crear componentes para realizar analytics en cada segmento.
- Para el cuidado de adultos mayores, es importante hacer énfasis en el componente de interacción hombre máquina, y garantizar que este componente funciona de manera ubicua y en tiempo real para asistir mejor al adulto mayor.
- Las calificaciones por debajo de 4, de los criterios de coherencia y modularidad, indican que el modelo es dependiente en algunas de las capas de un mismo segmento, como la capa de ambiente e inteligencia. Ese grado de dependencia se da por el ajuste que tiene el modelo al caso de referencia, y su ajuste se puede dar en trabajos futuros.
- La calificación baja en el criterio de completitud, se dio por la definición del modelo de referencia de IoT, que no integra las definiciones comerciales como las de: cisco, Microsoft, Intel, entre otras. Si bien se tuvieron en cuenta en la definición del modelo de referencia IoT, se evitó mencionar las tecnologías por el carácter genérico del modelo.

Con esta segunda prueba, se demuestra que el modelo propuesto cuenta con los criterios de calidad que se querían alcanzar, además que se tiene en cuenta la aplicación para el caso de referencia. Después de las evaluaciones y recomendaciones de los evaluadores, se llegó a la conclusión, que el modelo es lo suficientemente maduro para desarrollar una implementación del mismo.

7.3 Prototipo

Para realizar el protocolo de pruebas funcionales del Modelo Integrado AmI-IoT, se desarrolló un prototipo que implementa parcialmente los componentes del modelo propuesto, la elección de los componentes a desarrollar se basó en la integración de los prototipos desarrollados por Vivas-Ruiz [16] y Agreda [14], y de los componentes adicionales necesarios para verificar: la toma de datos, su análisis, y oferta de servicios IoT y AmI.

7.3.1 Componentes a implementar

Los componentes que se implementaron en el prototipo se muestran en la figura 21, la figura 22, y la figura 23. Los componentes implementados se visualizan en verde los componentes implementados, los componentes cumplen parcialmente las funcionalidades definidas en el modelo propuesto.



Figura 21 Componentes implementados del segmento IoT.

Para la implementación del *Segmento IoT*, se modificó y complementó el prototipo desarrollado por Vivas y Ruiz. La implementación se hizo desarrollando una aplicación web con tecnología JavaEE-JSF, que implementa las librerías: MQTTv3, para suscribirse a los dispositivos que usan el protocolo MQTT; y EclipseLink JPA2.1, para manejar la persistencia a una base de datos PostgreSQL. La modificación que se hizo fue la creación de WebService SOAP, para la publicación de los datos de los sensores.



Figura 22 Componentes implementados del segmento AmI.

Para la implementación del *Segmento AmI*, se modificó y complemento el prototipo desarrollado por Agreda. La implementación se hizo desarrollando una aplicación standalone con tecnología JavaSE, que implementa las librerías: BESA3-ALPHA1, para la creación de la inteligencia artificial que crea un SMA para la supervisión de los eventos e identificación de hábitos; y MySQL-JDBC, para manejar la comunicación con una base de datos MySQL. La modificación que se hizo fue la creación de un conector cliente de Webservice SOAP, para la consumir los servicios de la implementación del segmento IoT, y un componente de registro de las alertas y notificaciones en una base de datos que puede ser consumida por el segmento de utilidad.



Figura 23 Componentes implementados del segmento utilidad.

Para la implementación del *Segmento Utilidad*, se hizo el desarrollo de una aplicación web con tecnología JavaEE-JSF, que implementa la librería de EclipseLink JPA2.1, para manejar la persistencia a la una base de datos MySQL donde se consultan las alertas y notificaciones del segmento AmI, se consumen los datos del segmento IoT a través de un cliente de Webservice SOAP; para la publicación de los servicios AmI e IoT, se crean Webservice SOAP para que sean consumidos por un cliente del modelo.

7.3.2 Arquitectura

La arquitectura del prototipo está compuesta por 3 productos de software y dos bases de datos, el detalle de la arquitectura se encuentra en el Anexo 4. En la figura 24 se muestra como están implementados los tres productos de software y la interacción de estos:

- **Producto del segmento IoT:** usa una base de datos donde se registran los datos de los nodos conectados y de los servicios IoT, también se registra la información de usuarios para la administración y configuración de los nodos sensores; se comunica con los otros productos de software, publicando servicios SOAP.
- **Producto del segmento AmI:** usa una base de datos donde se registran: las reglas de los agentes del SMA, los eventos del ambiente y usuario, y los hábitos detectados o modificados del usuario; recibe los datos SOAP y los presenta a un agente por el puerto TCP 5555; registra las alertas y notificaciones en la base de datos y las comunica a través de JPA-JDBC al producto del segmento de utilidad.
- **Producto del segmento utilidad:** consume la misma base de datos del producto del segmento AmI con JPA-JDBC, para ofrecerlos como servicios AmI; y consume el servicio SOAP de producto del segmento IoT, para ofrecerlos como servicios IoT; los

servicios IoT y AmI se publican mediante un Web Service SOAP que puede ser consumido por una aplicación.

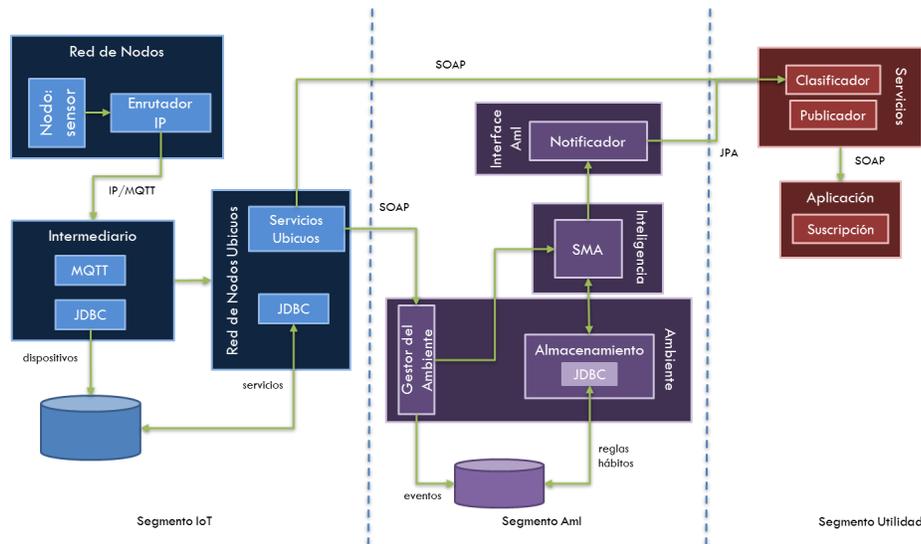


Figura 24 Arquitectura del prototipo.

7.4 Protocolo de pruebas funcionales del modelo

Para probar que el modelo propuesto logra cumplir con el objetivo de brindar bienestar a un adulto mayor que vive solo, se desarrolló el prototipo descrito anteriormente. Este prototipo implementa parcialmente los tres segmentos del *Modelo Integrado AmI-IoT*. Para poner a prueba el prototipo se plantea un protocolo experimental que se divide en dos fases, el detalle del montaje se puede ver el Anexo 9:

- **Prueba de sensores físicos:** para probar las funcionalidades IoT, se diseñó un montaje con un sensor de temperatura ambiental montado sobre un Raspberry PI, que se conecta a dos PC por medio de una red IP.
- **Prueba con simulador:** para probar las funcionalidades AmI, se diseñó un montaje, que usa el simulador desarrollado por Agreda, que simula las condiciones de un adulto mayor en una unidad de vivienda como se describe en el capítulo 5.2 de este documento, para verificar que se identifican los hábitos del adulto mayor.

Para visualizar que los datos generados en los dos tipos de pruebas, se desarrolló un cliente genérico que consume los servicios AmI e IoT, este cliente se desarrolló con tecnología java que consume los servicios SOAP.

7.4.1 Funcionalidad IoT

El primer montaje, se realizó conectando una Raspberry PI, y dos PC en una misma red IP, como se muestra en la figura 25.

- La Raspberry PI, cuenta con el sistema operativo Raspbian, que es una distribución de Linux basada en Debian, en este se montó un sensor digital de temperatura ambiental

y un producto de software JavaSE que implementa la librería PI4J, para gestionar el conector GPIO de la Raspberry PI, donde está conectado el sensor. En la Raspberry PI también se instaló el bróker Mosquitto, que habilita la implementación de un publicador con el protocolo MQTT que es usado por el producto de software JavaSE para comunicar los datos del sensor al prototipo.

- En el primer PC, se instalaron los tres productos de software que conforman el prototipo, se instalaron los motores de bases de datos PostgreSQL y MySQL, un servidor de aplicaciones GlassFish para los productos web y la JVM para el producto standalone. También se instaló el bróker Mosquitto usado para la comunicación con la Raspberry PI, para la prueba se configuro el firewall del sistema operativo para publicar los servicios web.
- En el segundo PC, se instaló el producto de software web sobre un servidor GlassFish que consume los servicios web que publica el PC1.

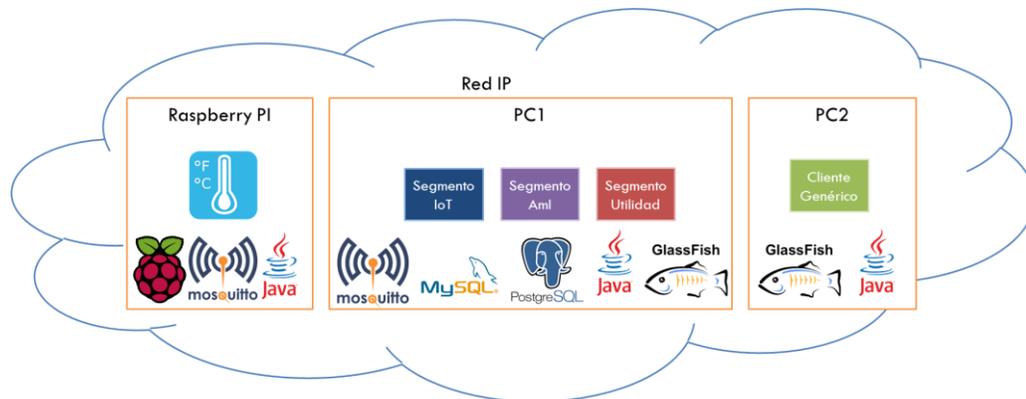


Figura 25 Montaje de funcionalidad IoT.

En este montaje, se hicieron las pruebas para verificar que el modelo propuesto, manejaba información desde la capa más baja, hasta la capa más alta; y las pruebas de integración de tecnología.

7.4.2 Funcionalidad Aml

El segundo montaje, se realizó conectando dos PC en una misma red IP, como se muestra en la figura 26.

- En el primer PC, se instalaron los tres productos de software que conforman el prototipo, al igual que en el primer montaje. A diferencia del primer montaje, en el PC1 se instala el simulador ElderlySim desarrollado por Agreda, (ver figura 27). Este simulador representa a un adulto mayor que vive solo en una vivienda, simulando datos de sensores ambientales y médicos, como lo describe Agreda en [73]. Este simulador se ajusta con el ambiente y eventos del caso de referencia de descrito en este documento. Al simulador se le hizo el ajuste para que envíe los datos simulados a través del producto de software IoT y no directamente al producto de software Aml.
- En el segundo PC, se instaló el producto de software web sobre un servidor GlassFish que consume los servicios web que publica el PC1.

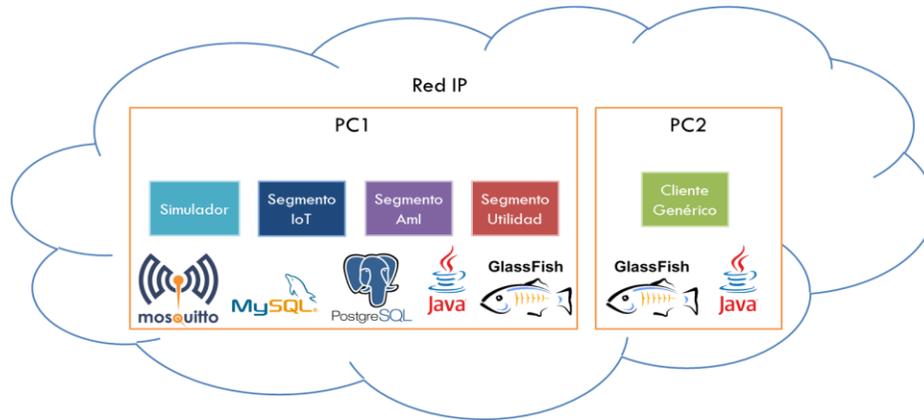


Figura 26 Montaje de funcionalidad AmI.

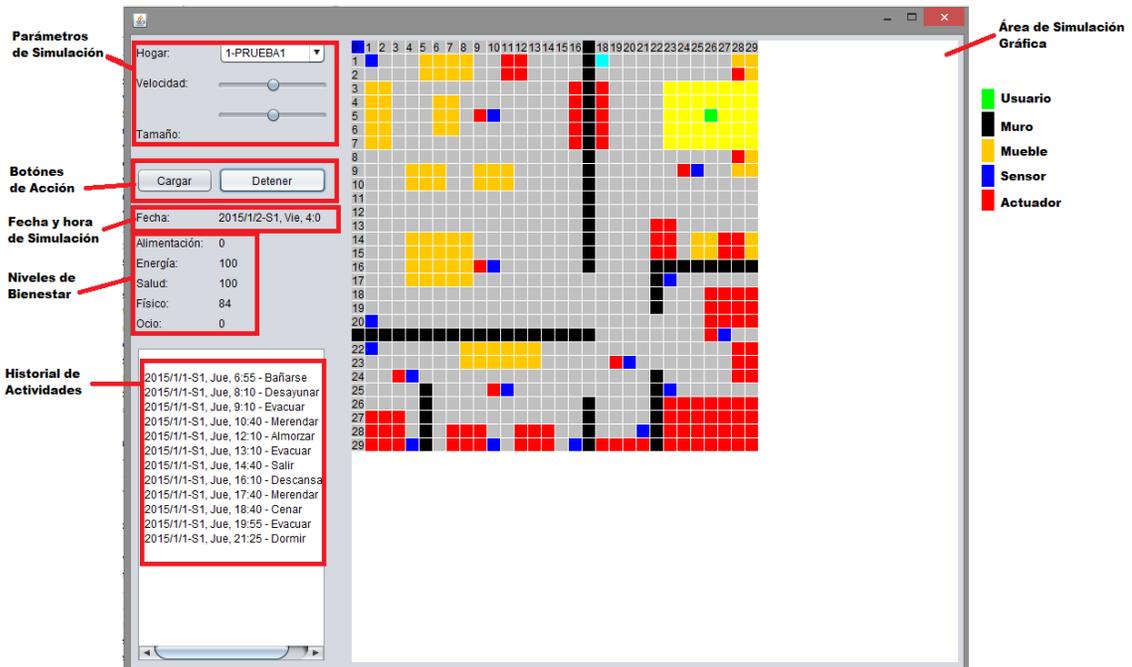


Figura 27 Simulador ElderlySim, tomado de [73].

En este montaje, se hicieron las pruebas para verificar que el modelo propuesto, contaba con las funcionalidades necesarias para supervisar eventos e identificar hábitos, ofreciéndolos como servicios consumibles.

7.4.3 Resultados del protocolo experimental

Como resultados del primer montaje, se comprobó que el prototipo publica la información generada por los nodos sensores, en este montaje también se comprobó la tolerancia del prototipo a la desconexión de los nodos, e integración de varios nodos. Las pruebas realizadas mostraron que la captura, tratamiento y presentación de la información se da por las capas implementadas del modelo.

Como resultados del segundo montaje, se comprobó que en el cliente genérico se puede ver la información generada por ElderlySim. El cliente consulta periódicamente el servicio del producto del segmento de utilidad, para tomar los datos del adulto mayor simulado, como: nivel de bienestar, nivel de salud, alertas. Cambios de habito y sugerencias generadas en el segmento AmI.

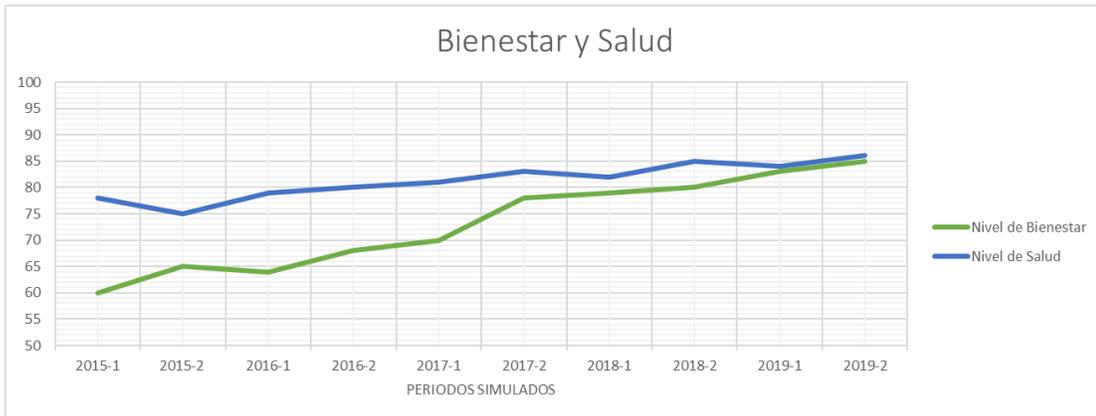


Figura 28 Niveles de bienestar y salud de la funcionalidad AmI.

En la figura 28 se puede apreciar que el nivel de bienestar y de salud aumenta al pasar el tiempo simulado del segundo montaje, esto nos indica que el ajuste al ambiente se hace más preciso al pasar el tiempo y que el prototipo mejora los índices de bienestar y salud.

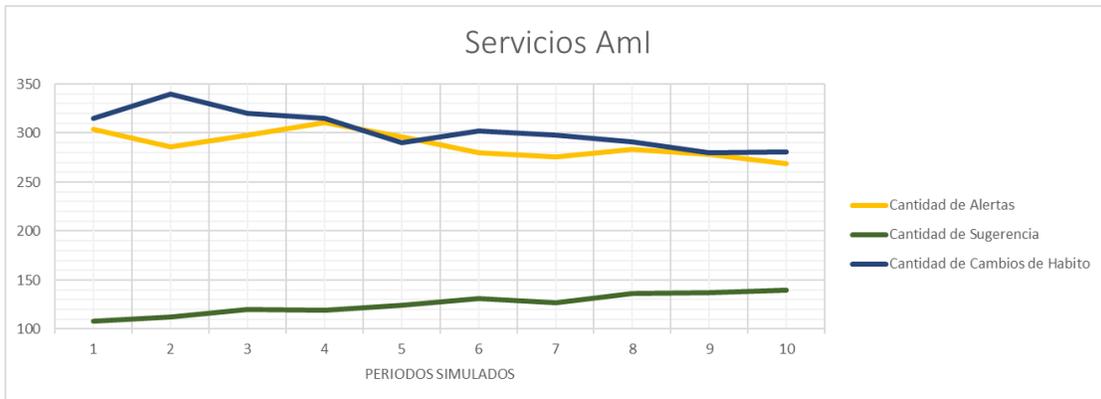


Figura 29 Cantidad de eventos de la funcionalidad AmI.

De igual manera en la figura 29, se muestra una tendencia de reducción de la cantidad de alertas y cambios de habito, y un incremento en las sugerencias. Lo que indica que el prototipo tiene un impacto directo con el comportamiento del adulto mayor simulado.

Con esta tercera prueba, se demostró que se puede implementar una integración de los conceptos AmI e IoT, como lo caracteriza el modelo propuesto. También, se demostró que el modelo garantiza el bienestar de un adulto mayor que vive solo, si se define una inteligencia configurada para tal fin, esto se demostró, con la ayuda del simulador ElderlySim, que define los niveles de bienestar del adulto mayor simulado, los cuales son la motivación para la ejecución de las tareas definidas en el simulador.

8 CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones y trabajos futuros que se identificaron en el desarrollo de este trabajo de grado. En seguida presento la conclusión organizada según el tópico de relevancia.

Respecto a la Problemática

Los adultos mayores en Colombia están en riesgo de vulnerabilidad, por descuido de los familiares y el sistema de salud, es evidente que desde la informática se pueden dar múltiples soluciones que tienen un fuerte impacto para mitigar esta problemática social. Enfocar esfuerzos para desarrollar productos tecnológicos brinda una gran satisfacción, porque tarde o temprano, todos llegaremos a estar en esa población.

También es evidente que la población mundial, tiene la tendencia a vivir más, esto presenta la oportunidad de presentar soluciones tecnológicas robustas y seguras como proyecto de emprendimiento. El potencial mercado que se presenta, puede ser aprovechado por soluciones desarrolladas a partir del modelo propuesto en este trabajo.

Integración de AmI-IoT

En el proceso de creación del modelo, se consultaron diversas fuentes, donde se encontraron múltiples definiciones de AmI e IoT, además de las definiciones que da la industria; como paso inicial se plantearon dos modelos de referencia, uno para AmI y otro para IoT, este paso inicial sirvió como insumo para el posterior planteamiento del Modelo Integrado AmI-IoT.

Los conceptos AmI e IoT, son dos conceptos informáticos que presentan muchas similitudes, como se pudo observar en el planteamiento de los modelos de referencia definidos en este documento. Este grado de similitud permitió plantear un modelo de integración AmI-IoT, que abarcará todas las funcionalidades de AmI e IoT de los modelos de referencia, que se complementan en un solo *Modelo Integrado AmI-IoT*.

El modelo resultante del proceso de integración, fue un modelo amplio y robusto, que abarca los componentes y funcionalidades de AmI e IoT. De igual manera el modelo se planteó para que sea flexible y modular para que las implementaciones que se hagan del mismo, no necesariamente implementen todas las capas y componentes.

Respecto al Bienestar

El *Modelo Integrado AmI-IoT*, propone un modelo de referencia que se puede aplicar al caso de referencia propuesto, que se centra en el cuidado y bienestar, de una persona de la tercera edad que vive solo, en una unidad de vivienda preparada para la automatización del ambiente. Como conclusión, el modelo de propuesto define las funcionalidades necesarias para brindar cuidado y bienestar de un adulto mayor, las implementaciones de este modelo tendrían definida una arquitectura base, a la que solo se debe configurar las reglas de la inteligencia ambiental para garantizar el cuidado y bienestar.

Respecto a la validación

En proceso de evaluación del modelo propuesto, se planteó una metodología que consiste en realizar tres pruebas. La primera prueba, fue la comparación con productos desarrollados con

anterioridad, esta prueba demostró que el modelo es completo y aplicable en el tele-cuidado; además, de ser compatible con otras definiciones AmI-IoT. La segunda prueba, fue la evaluación del modelo por un grupo de expertos, que dio como resultado la validación, que el modelo propuesto es lo suficientemente maduro para ser implementado, además de contar con los atributos de calidad esperados. La última prueba, fue el desarrollo de un prototipo funcional y parcial del modelo propuesto, este prototipo se usó para verificar que el modelo se puede implementar al caso de referencia y la aplicación de tele-cuidado.

Trabajos futuros

Después de validar el modelo propuesto, se identificó que el modelo, cumple con las características de calidad como: coherencia, modularidad, aplicabilidad, completitud, relevancia, compatibilidad. Y que cuenta con un nivel de madurez suficiente para ser implementado. Aunque, como en toda actividad humana, esta propenso a la mejora. Como lo plantean en la evaluación TAM, dentro de las recomendaciones, están los trabajos futuros par mejoras en:

- Una definición de sub-componentes más detallada que facilite aún más la implementación del modelo.
- Mejorar la modularidad de las capas del segmento AmI, que facilite la integración de componentes de Inteligencia artificial enfocada a otros propósitos.
- La especificación de herramientas de analytics y la distribución de las mismas, en las capas descritas en el modelo propuesto, para hacer análisis de datos desde, la captura de los datos hasta la presentación de los servicios.
- Si bien, el modelo propuesto se diseñó con base al caso de referencia, el modelo puede ser fácilmente aplicable a otros escenarios de la inteligencia ambiental como cuidado ecológico del ambiente y las *smart citys*. Para esto se pueden crear sub-componentes que se encarguen de las tareas que diferencian esas aplicaciones.

9 TABLA DE ANEXOS

En el desarrollo del trabajo de grado se realizaron varios documentos y productos de software a los que se hace referencia en este documento. Dichos documentos y productos se organizaron como anexos a este documento de la siguiente manera:

Anexo	Descripción
Anexo 1	Documento de descripción del caso de referencia: Adulto mayor que vive solo.
Anexo 2	Documento de análisis de problemáticas de los adultos mayores, definición de necesidades y alcance.
Anexo 3	Matriz de Trabajos Relacionados y Estado del Arte.
Anexo 4	Documento SAD del prototipo funcional del modelo informático de integración.
Anexo 5	Prototipo funcional del modelo informático de integración (Código Fuente, Aplicaciones y Servidor)
Anexo 6	Comparación del modelo contra prototipos.
Anexo 7	Encuesta TAM (Modelo de Aceptación Tecnológica)
Anexo 8	Evaluación TAM (Modelo de Aceptación Tecnológica)
Anexo 9	Descripción del simulador y montaje del experimento

REFERENCIAS

- [1] F. Salech, R. Jara y L. Michea, «CAMBIOS FISIOLÓGICOS ASOCIADOS AL ENVEJECIMIENTO,» *REV. MED. CLIN. CONDES - 2012*, vol. 1, n° 23, pp. 19-29, 2012.
- [2] Organización de la Naciones Unidas, «CONVENCIÓN SOBRE LOS DERECHOS DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD (CRPD),» Organización de la Naciones Unidas, 2006. [En línea]. Available: <http://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tcccconvs.pdf>. [Último acceso: 5 Abril 2016].
- [3] L. Robles y E. Vázquez, «EL CUIDADO A LOS ANCIANOS: LAS VALORACIONES EN TORNO AL CUIDADO NO FAMILIAR,» *Texto & Contexto Enfermege*, pp. 225-231, 2008.
- [4] Organización Mundial de la Salud, «INFORME MUNDIAL SOBRE EL ENVEJECIMIENTO Y LA SALUD,» Organización Mundial de la Salud, 2015. [En línea]. Available: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/186466/1/9789240694873_spa.pdf. [Último acceso: 15 Abril 2016].
- [5] Ministerio de Hacienda, «PRESUPUESTO GENERAL DE LA NACIÓN Proyecto Presupuesto General de la Nación, 2016.,» Ministerio de Hacienda, 2016. [En línea]. Available: <http://www.minhacienda.gov.co/HomeMinhacienda/presupuestogeneraldelanacion/ProyectoPGN/2016>. [Último acceso: 15 Marzo 2016].
- [6] Ministerio de Salud y Protección Social, «ENVEJECIMIENTO Y VEJEZ, Protección social.,» Ministerio de Salud y Protección Social, 2016. [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/proteccion-social/promocion-social/Paginas/envejecimiento-vejez.aspx>. [Último acceso: 15 Marzo 2016].
- [7] Organización Mundial de la Salud, «DECLARACIÓN DE TORONTO: PARA LA PREVENCIÓN GLOBAL DEL MALTRATO DE LAS PERSONAS MAYORES,» Organización Mundial de la Salud, 2002. [En línea]. Available: http://www.inpea.net/images/TorontoDeclaracion_Espanol.pdf. [Último acceso: 7 Abril 2016].
- [8] M. Hassanalieragh, A. Page, T. Soyata, G. Sharma, M. Aktas, G. Mateos, B. Kantarci y S. Andreescu, «HEALTH MONITORING AND MANAGEMENT USING INTERNET-OF-THINGS (IOT) SENSING WITH CLOUD-BASED PROCESSING: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES,» *IEEE International Conference on Services Computing*, 2015.
- [9] M. Zamora, J. Santa y A. Gómez, «AN INTEGRAL AND NETWORKED HOME AUTOMATION SOLUTION FOR INDOOR AMBIENT INTELLIGENCE,» *PERVASIVE computing Published by the IEEE*, 2010.

- [10] A. Mileo, D. Merico y R. Bisiani, «WIRELESS SENSOR NETWORKS SUPPORTING CONTEXT-AWARE REASONING IN ASSISTED LIVING,» *Conference: Proceedings of the 1st ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, 2008.
- [11] G. DOGALI-CETIN, O. CETIN y C. BAYILMIS, «A REAL-TIME LIFE-CARE MONITORING FRAMEWORK: WARNRED HARDWARE AND SOFTWARE DESIGN,» *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 2015.
- [12] J. Silva, A. Mouttham y A. E. Saddik, «UBIMEDS: A MOBILE APPLICATION TO IMPROVE ACCESSIBILITY AND SUPPORT MEDICATION ADHERENCE,» *MSIADU '09 Proceedings of the 1st ACM SIGMM international workshop on Media studies and implementations that help improving access to disabled users*, pp. 71-78, 2009.
- [13] D. Gachet, M. Buenaga, E. Puertas y M. Villalba, «BIG DATA PROCESSING OF BIO-SIGNAL SENSORS INFORMATION FOR SELF-MANAGEMENT OF HEALTH AND DISEASES,» *9th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, 2015.
- [14] J. Agreda y E. González, «SISTEMA MULTI-AGENTE DE INTELIGENCIA AMBIENTAL PARA ASISTIR A PERSONAS DE LA TERCERA EDAD,» *Pontificia Universidad Javeriana - Facultad De Ingeniería*, 2014.
- [15] E. Ruiz, P. Rafael y M. Torres, «INTEGRATION MODEL FOR ZIGBEE AND 6LOWPAN WIRELESS SENSOR NETWORKS TO CONFORM A UBIQUITOUS SENSOR NETWORK,» *Pontificia Universidad Javeriana - Facultad De Ingeniería*, 2012.
- [16] O. Vivas y E. Ruiz, «PROTOTIPO DEL MIDDLEWARE PARA LA GESTIÓN DE REDES DE SENSORES,» *Pontificia Universidad Javeriana - Facultad De Ingeniería*, 2014.
- [17] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari y M. Ayyash, «Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications,» *EEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, n° 4, pp. 2347-2376, 2015.
- [18] E. Aarts y R. Wichert, *Ambient intelligence: Technology Guide: Principles -- Applications -- Trends*, S. B. Heidelberg, Ed., Berlin, Heidelberg: Bullinger, Hans-J org, 2009, pp. 244-249.
- [19] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini y I. Chlamtac, «Internet of things: Vision, applications and research challenges,» *Ad Hoc Networks*, vol. 10, n° 7, pp. 1497-1516, 2012.
- [20] D. J. Cook, J. C. Augusto y V. R. Jakkula, «Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities,» *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 5, n° 4, pp. 277-298, 2009.

- [21]J. Rodríguez, M. Torres y E. González, «La Metodología AOPOA,» *Pontificia Universidad Javeriana*, pp. 71-78, 2007.
- [22]J. R. Laínez Fuentes, *Desarrollo de Software ÁGIL: Extreme Programming y Scrum*, IT Campus Academy, 2015.
- [23]S. Ambler, «AGILE MODELING: EFFECTIVE PRACTICES FOR EXTREME PROGRAMMING AND THE UNIFIED PROCESS,» *John Wiley & Sons, Inc.*, 2002.
- [24]C. I. Giraldo Villate, C. De Santacruz, C. A. Cano Gutiérrez, M. C. Pardo Sarmiento, S. González Pardo, G. Díaz Granados y M. J. Díaz Granados, *Nos Cuidamos: El día a día de familiares y cuidadores de personas con demencia Alzheimer*, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá, 2014.
- [25]C. D. Ryff, «Happiness is everything, or is it? Exploration on the meaning of psychological well-being,» *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 57, n° 6, pp. 1069-1081, 1989.
- [26]J. Mirowsky y C. E. Ross, «Age and Depression,» *Journal of Health and Social Behavior*, vol. 33, n° 3, pp. 187-205, 1992.
- [27]N. Consuegra Anaya, *Diccionario de psicología*, Bogotá: Ecoe Ediciones, 2011.
- [28]K. Gallegos Carrillo, C. García Peña, C. Duran Muñoz, H. Reyes y L. Durán Arenas, «Autopercepción del estado de salud: una aproximación al los ancianos en México,» *Saúde Pública*, vol. 40, n° 5, pp. 792-801, 2006.
- [29]Organización Mundial de la Salud, «La actividad física en los adultos mayores,» OMS, 2017. [En línea]. Available: http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_olderadults/es/. [Último acceso: 2016].
- [30]M. Stanley y J. Cheek, «Well-being and older people: A review of the literature.,» *Canadian Journal of Occupational Therapy*, vol. 70, pp. 51-59, 2003.
- [31]A. Meyer, M. Muñoz, M. Ortiz y M. Parada, «Factores psicológicos, sociales y organizacionales que afectan la adaptación al proceso vital de jubilación, en profesores del sistema educacional municipal de la comuna de concepción.,» Tesis para optar al grado académico de Licenciado en Psicología, Universidad San Sebastián., 2002.
- [32]C. Barros, «Nivel de bienestar y proceso de envejecimiento,» *Revista de Trabajo Social*, vol. 67, pp. 69-79, 1996.

- [33]L. Ríos, I. Ríos y P. Padial, «La actividad física en la Tercera Edad,» *Digital*, vol. 5, pp. 1-2, 2000.
- [34]R. Fernández, *Evaluación e intervención psicológica en la vejez.*, España: Martínez Roca, 1994.
- [35]D. Mroczek y C. Kolarz, «The effect of age on positive and negative affect: A developmental perspective on happiness.,» *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 75, pp. 1333-1349, 1998.
- [36]S. E. Abasolo, M. A. Carrera, R. X. Gordillo y C. G. Romero, «Evaluación del modelo de referencia de "Internet of Things" (IoT), mediante la implantación de arquitecturas basadas en plataformas comerciales, open hardware y conectividad IPv6,» 2013. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7648/1/AC-ET-ESPE-047621.pdf>. [Último acceso: 17 02 2016].
- [37]Intel, «Una guía para la internet de las cosas,» Intel, 2017. [En línea]. Available: <http://www.intel.la/content/www/xl/es/internet-of-things>. [Último acceso: 20 Enero 2017].
- [38]J. Tan y S. G. M. Koo, «A Survey of Technologies in Internet of Things,» *2014 IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*, pp. 269-274, 2014.
- [39]H. Yoon-Min, K. Moon Gyu y R. Jae-Jeung, «Understanding Internet of Things (IoT) diffusion,» *Information Development*, vol. 32, n° 4, pp. 969 - 985, 2015.
- [40]J. Manyika, M. Chui, J. Bughin, R. Dobbs, P. Bisson y A. Marrs, *Disruptive Technologies: Advances that Will Transform Life, Business, and the Global Economy*, Canada: McKinsey & Company, 2013.
- [41]D. M. Archila Córdoba y F. A. Santamaría Buitrago, «ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES DE SENSORES INALAMBRICOS,» *Tecnología Investigación y Academia*, vol. 2, n° 1, pp. 4-14, 2013.
- [42]S. C. Ardila, «ESTADO ACTUAL DEL MONITOREO REMOTO DE PACIENTES USANDO REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS.,» *Revista Entérese Boletín Científico Universitario*, vol. 27, n° 6, pp. 64-69, 2009.
- [43]A. M. Campoverde Marca, D. L. Hernández Rojas y B. E. Mazón Olivo, «Cloud Computing para el internet de las cosas. Caso de estudio orientado a la agricultura de precisión,» *I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología UTMACH*, vol. 1, n° 1, pp. 47-53, 2015.
- [44]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,» *Gerencia Tecnológica Informática* , vol. 12, n° 33, pp. 85-99, 2013.

- [45] V. Miori y D. Russo, «Domotic Evolution towards the IoT,» *2014 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, vol. 28, pp. 809-814, 2014.
- [46] V. Miori y D. Russo, «Anticipating Health Hazards through an Ontology-Based, IoT Domotic Environment,» *2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, vol. 6, pp. 745-750, 2012.
- [47] R. A. Ramlee, D. H. Z. Tang y M. M. Ismail, «Smart home system for Disabled People via Wireless Bluetooth,» *2012 International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*, pp. 1-4, 2012.
- [48] J. Kim, H.-s. Choi, H. Wang, N. Agoulmine, M. J. Deerv y J. W.-K. Hong, «POSTECH's U-Health Smart Home for elderly monitoring and support,» *2010 IEEE International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM)*, pp. 1-6, 2010.
- [49] M. T. Moutacalli, Marmen, Vincent, A. Bouzouane y B. Bouchard, «Activity pattern mining using temporal relationships in a smart home,» *2013 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Healthcare and e-health (CICARE)*, pp. 83-87, 2013.
- [50] D. Rosner, R. Tataroiu, L. Gheorghe y R. Tilimpea, «UNCHAIN - Ubiquitous Wireless Network Communication Architecture for Ambient Intelligence and Health scenarios,» *2014 International Workshop on Secure Internet of Things (SIoT)*, pp. 44-51, 2014.
- [51] N. Streitz y P. Nixon, «Special issue on "the disappearing computer",» *Communications of the ACM*, vol. 48, nº 3, pp. 32-35, 2005.
- [52] J. C. Augusto y P. McCullagh, «Ambient Intelligence: Concepts and Applications,» *Computer Science and Information Systems*, vol. 4, nº 1, pp. 1 - 28, 2007.
- [53] K. Brooks, «The context quintet: narrative elements applied to context awareness,» *Human Computer Interaction International Proceedings*, 2003.
- [54] D. I. Tapia, J. Bajo, J. M. Corchado, S. Rodríguez, J. F. De Paz, J. M. Sánchez y A. Saavedra, «Arquitectura Multiagente para Entornos Dinámicos: Tecnología e Inteligencia Aplicadas,» *ResearchGate*, 2016.
- [55] G. Acampora, D. J. Cook, P. Rashidi y A. V. Vasilakos, «A Survey on Ambient Intelligence in Health Care,» *PROCEEDINGS OF THE IEEE*, pp. 1-24, 2011.
- [56] B. Asare-Bediako, W. Kling y P. Ribeiro, «Multi-agent system architecture for smart home energy management and optimization,» *Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE), 2013 4th IEEE/PES*, pp. 1-5, 2013.

- [57] V. Evers, S. Wildvuur y B. Kröse, «A Motivational Health Companion in the Home as Part of an Intelligent Health Monitoring Sensor Network,» *AFFINE '10 Proceedings of the 3rd international workshop on Affective interaction in natural environments*, vol. 10, pp. 61-64, 2010.
- [58] L. Fanucci, S. Saponara, T. Bacchillone, M. Donati, P. Barba, I. Sánchez-Tato y C. Carmona, «Sensing devices and sensor signal processing for remote monitoring of vital signs in CHF patients,» *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 62, n° 3, pp. 553-569, 2013.
- [59] Reward Health Sciences, «Necessary Elements of Care Management & Clinical Process Improvement Initiatives,» Reward Health Sciences, 2016. [En línea]. Available: <http://rewardhealth.com/archives/290>. [Último acceso: 25 Febrero 2017].
- [60] M. Abo-Zahhad, S. M. Ahmed y O. Elnahas, «A Wireless Emergency Telemedicine System for Patients Monitoring and Diagnosis,» *International Journal of Telemedicine and Applications*, vol. 2014, n° 4, p. 11, 2014.
- [61] Reward Health Sciences, Inc., «Approach: Care Process Improvement,» Reward Health Sciences, 2016. [En línea]. Available: <http://rewardhealth.com/approach-to-care-process-improvement>. [Último acceso: 15 Febrero 2017].
- [62] L. Atzori, A. Iera y G. Morabito, «The Internet of Things: A survey,» *Computer Networks*, vol. 54, n° 15, pp. 2787-2805, 2010.
- [63] U. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro y P. Smyth, From data mining to knowledge discovery: An overview. In *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*, Cambridge, Mass: AAAI/MIT Press, 1996.
- [64] E. Letouzé, «Big Data for Development : Challenges & Opportunities,» *UNITED NATIONS GLOBAL PULSE*, 2012.
- [65] T. Bayrak, «A Review of Business Analytics: A Business Enabler or Another Passing Fad,» *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 195, pp. 230-239, 2015.
- [66] M. Silva, «MINERIA DE DATO y DESCUBRIMIENTO DE CONOCIMIENTO,» INTA EEAA Corrientes, 2017.
- [67] R. Aguiar, N. Benhabiles, T. Pfeiffer, P. Rodriguez, H. Viswanathan, J. Wang y H. Zang, «Big Data, IoT, ... Buzz Words For Academia Or Reality For Industry?,» *In Proceedings of the 21st Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '15)*. ACM, pp. 550-551, 07 09 2015.

- [68]L. F. Tabares y J. F. Hernández, «Big Data Analytics: Oportunidades, Retos y Tendencias,» *academia.edu: Especialización en Procesos para el Desarrollo de Software*, 2016.
- [69]H. Banaee, M. U. Ahmed y A. Loutfi, «Data Mining for Wearable Sensors in Health Monitoring Systems: A Review of Recent Trends and Challenges,» *Open Access Sensors*, vol. 13, pp. 17472-17500, 2013.
- [70]<https://www.domoticz.com/>, «Domoticz: Control a tu alcance,» Domoticz, 2017. [En línea]. Available: <https://www.domoticz.com/>. [Último acceso: 05 Abril 2017].
- [71]E. E. Ruiz Garcia, «INTEGRACIÓN DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS IEEE 802.15.4 EN APLICACIONES USN,» *Trabajo de Grado: Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación*, vol. PI103, n° 01, pp. 1-100, Julio 2012.
- [72]The Apache Software Foundation, «Apache Maven Project,» The Apache Software Foundation, 2017. [En línea]. Available: <https://maven.apache.org>. [Último acceso: Marzo 2017].
- [73]J. A. Agreda Chamorro, «DISEÑO DE UN MODELO DE INTELIGENCIA AMBIENTAL PARA ASISTIR A PERSONAS DE LA TERCERA EDAD,» *Trabajo de Grado: Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación*, vol. PI133, n° 01, pp. 1-67, 2015.
- [74]L. A. Yong Varela, «MODELO DE ACEPTACIÓN TECNOLÓGICA (TAM), PARA DETERMINAR LOS EFECTOS DE LAS DIMENSIONES DE CULTURA NACIONAL EN LA ACEPTACIÓN DE LAS TIC,» *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM*, vol. XIV, n° 1, pp. 131-171, 2004.
- [75]W. E. Parra Alba, «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),» *Trabajo de Grado: Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación*, vol. PI163, n° 2, pp. 1-70, 2016.