

TESIS DEFENDIDA POR

**ISMAEL VILLANUEVA MIRANDA**

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

---

Dr. José. Antonio García Macías  
*Director del Comité*

---

Dr. Jesús Favela Vara

*Miembro del Comité*

---

Dr. Jaime Sánchez García

*Miembro del Comité*

---

Dra. Ana Isabel Martínez

*Coordinador del programa de posgrado  
en Ciencias de la computación.*

---

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales

*Director de Estudios de Posgrado*

*10 de diciembre de 2009*

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DE ENSENADA**



---

**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS  
DE LA COMPUTACIÓN**

---

**CÓMPUTO AMBIENTAL PARA ASISTIR A PERSONAS DE LA TERCERA  
EDAD**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

**ISMAEL VILLANUEVA MIRANDA**

Ensenada, Baja California, México, Diciembre de 2009.

**RESUMEN** de la tesis de **ISMAEL VILLANUEVA MIRANDA**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de **MAESTRO EN CIENCIAS** en **CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**. Ensenada, Baja California. Noviembre del 2009.

## **CÓMPUTO AMBIENTAL PARA ASISTIR A PERSONAS CON MOVILIDAD RESTRINGIDA**

Resumen aprobado por:

---

Dr. José. Antonio García Macías  
Director de Tesis

Mientras que la esperanza de vida aumenta por todo el mundo, el número de adultos mayores también va en continuo incremento. Dadas estas perspectivas para el futuro, habrá una mayor demanda de servicios y aplicaciones orientadas a la ayuda de adultos mayores. Las personas pasan la mayor parte de su vida en sus casas que en cualquier otro lugar. Por esto, el hogar debe proveer un ambiente agradable y seguro en el cual los habitantes puedan relajarse, entretenerse, aprender y en general poder disfrutar de una vida tranquila. Tomando como base esta afirmación, varios grupos de investigación han dirigido sus esfuerzos en crear ambientes más adecuados haciendo uso de aplicaciones del cómputo persuasivo.

De estos esfuerzos se ha creado un área de investigación llamada Ambientes Asistidos (AAL) que ha ganado gran importancia recientemente. El objetivo principal es la aplicación de tecnología ambiental para asistir a personas en sus actividades diarias. El impacto social aumenta si se aplica sobre escenarios que involucren personas con discapacidades físicas o adultos mayores.

Este trabajo se enfoca en el diseño e implementación de un Ambiente Asistido que ofrezca servicios de monitoreo y asistencia a personas con problemas motrices y de la tercera edad. La arquitectura del AAL consiste de 7 módulos: localización, comandos por voz, detección de actividades, detección de comportamiento, detección de caídas, monitoreo de video y asistencia.

Se realizó la evaluación del sistema con el objetivo de obtener información relevante sobre la percepción de utilidad y de facilidad de uso por parte los cuidadores de la Casa Hogar del Anciano.

**Palabras Clave:** ambientes asistidos, cómputo ubicuo, adultos mayores, problemas motrices

**ABSTRACT** of the thesis presented by **ISMAEL VILLANUEVA MIRANDA** as a partial requirement to obtain the **MASTER OF SCIENCE** degree in **COMPUTER SCIENCE**. Ensenada, Baja California, November 2009.

## **AMBIENT ASSISTED LIVING TO ATTEND PEOPLE WITH RESTRICTED MOBILITY**

Abstract approved by:

---

Dr. José. Antonio García Macías  
Thesis Director

While life expectancy increases worldwide, the number of elderly people will also continuously increase. Given these perspective for the future, there will be a greater demand of services and applications oriented to the aid of elderly people. It has been said that people spend more time in their homes than in any other space. The home ideally provides a safe, comfortable environment in which to relax, communicate, learn, and be entertained. Consequently, many research groups have directed their efforts towards making home environments more adequate by exploiting the pervasive computing applications being developed in laboratories.

Ambient Assisted Living (AAL) is a research area that has been gaining importance recently. Its main goal is to apply ambient technology to assist individuals in performing everyday activities. The social impact of AAL grows even more if it is applied on scenarios that involve physically impaired individuals and new alternatives on helping them to maintain certain degree of independence.

This work focuses the design and implementation of an Ambient Assisted Living environment that offers services for monitoring and attendance to physically impaired individuals and elderly people. The architecture of the AAL consists of 7 modules: indoor location, voice commands, activity detection, behavior detection, fall detection, video monitoring and attendance.

Evaluations of the system were conducted to obtain relevant data on the perception of utility and ease of use by the caretakers of the Casa Hogar del Anciano..

**Keywords:** elderly people, physically impaired, Ambient Assisted Living, ubiquitous computing

# Dedicatoria

A Dios

# Agradecimientos

A Dios por estar siempre conmigo, por darme la fortaleza y motivación de seguir y terminar la maestría a pesar de los momentos difíciles que viví.

☺ A mis padres y mis hermanos ☺.

A mi asesor, Dr. J. Antonio García Macías,  
por permitirme ser su tesista y compartir sus puntos de vista. Muchas gracias Dr. Tony.

Al Dr. Luis Enrique Palafox Maestre por ser un ejemplo a seguir desde la Universidad, por su humildad, su sencillez y por los consejos que compartió conmigo.

Al Dr. Jesús Favela porque cada comentario, observación y sugerencia me ayudaron mucho y siempre las tuve en mente. Gracias por compartir un poco de su gran experiencia.

A los miembros de mi comité, Dr. Jesús Favela Vara y Dr. Jaime Sánchez García por su tiempo e invaluable observaciones.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de la ciudad de Ensenada, Baja California.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología,  
por su apoyo económico sin el cual no hubiera sido posible este trabajo de investigación.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
CONTENIDO .....	v
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABLAS .....	xii
Capítulo I Introducción.....	1
I.1 Antecedentes.....	1
I.1.1 Envejecimiento.....	1
I.1.2 Índice de fragilidad .....	4
I.2 Cómputo ubicuo.....	6
I.3 Planteamiento del problema.....	6
I.4 Objetivo .....	7
I.5 Preguntas de investigación.....	8
I.6 Metodología .....	8
I.7 Organización de la tesis .....	9
Capítulo II Marco teórico .....	10
II.1 Introducción.....	10
II.2 Ambientes Asistidos (AAL).....	10
II.2.1 Ambientes Inteligentes (AmI) .....	12
II.2.2 Arquitectura de un Ambiente Inteligente (AmI).....	14
II.2.3 Características de un Ambiente Inteligente (AmI) .....	15

II.3 Modelos de contexto en Ambientes Asistidos (AAL).....	16
II.4 Requerimientos de diseño de Ambientes Asistidos (AAL).....	17
II.5 Trabajo previo .....	19
II.5.1 ALARM-NET: Red inalámbrica de sensores para asistencia y monitoreo residencial (2006).....	20
II.5.2 BIOMONITOR: Biomonitor inalámbrico para Ambientes Asistidos (2007) ....	21
II.5.3 Lifestyle and Health Management (2007).....	23
II.5.4 Monitoring movement behavior by means of large area proximity sensor array in the floor. (2008).....	24
II.5.5 An accelerometer based fall detector: Development, experimentation and analysis. (2005) .....	25
II.5.5 Behavioral patterns of older adults in assisted living. (2008) .....	26
II.6 Resumen .....	26
Capítulo III Arquitectura .....	28
III.1 Introducción .....	28
III.2 Módulo de localización .....	29
III.3 Módulo de comandos de voz.....	33
III.4 Módulo de detección de actividades .....	34
III.5 Módulo de detección de comportamiento .....	37
III.6 Módulo de detección de caídas .....	38
III.7 Módulo de monitoreo de video .....	40
III.8 Módulo de asistencia.....	42
III.9 Resumen.....	42
Capítulo IV Diseño e implementación del prototipo .....	43
IV.1 Introducción .....	43

IV.2 Hardware utilizado.....	43
IV.3 Diseño e implementación del prototipo .....	45
IV.3.1 Módulo de localización.....	46
IV.3.2 Módulo de comandos de voz.....	49
IV.3.3 Módulo de detección de actividades .....	50
IV.3.4 Módulo de detección de caídas .....	56
IV.3.5 Módulo de monitoreo de video .....	58
IV.4 Resumen.....	60
Capítulo V Evaluación y resultados.....	61
V.1 Introducción .....	61
V.2 Evaluación funcional.....	61
V.2.1 Módulo de localización .....	61
V.2.2 Módulo de comandos de voz.....	64
V.2.3 Módulo para detección de actividades .....	65
V.2.4 Módulo para detección de caídas .....	66
V.2.5 Módulo de video.....	67
V.3 Evaluación cualitativa .....	67
V.3.1 Metodología de evaluación.....	67
V.3.2 Definición del problema .....	68
V.3.3 Diseño del experimento .....	68
V.3.3.1 Preguntas de investigación.....	69
V.3.4 Factores a evaluar .....	69
V.3.5 Configuración de dispositivos y área de experimentación .....	69
V.3.6 Descripción de los participantes.....	70

V.3.7	Secuencia de las actividades.....	70
V.3.8	Escenarios de evaluación.....	71
V.3.8.1	Escenario 1, funcionamiento de detección de actividades.....	71
V.3.8.2	Escenario 2, detección de comportamiento .....	71
V.3.8.3	Escenario 3, detección de caídas.....	71
V.3.8.4	Escenario 4, detección de aproximación a zonas de peligro.....	71
V.3.9	Entrevista y cuestionario de evaluación .....	72
V.3.10	Experimento de evaluación .....	72
V.3.10.1	Aplicación del experimento .....	73
V.3.10.2	Limitantes del experimento.....	73
V.3.11	Análisis de resultados .....	73
V.3.11.1	Evaluación de la percepción de utilidad y facilidad de uso .....	73
V.3.11.2	Propuestas de mejoras.....	80
V.3.12	Conclusiones.....	80
V.4	Resumen .....	81
Capítulo VI	Conclusiones, aportaciones y trabajo futuro.....	82
VI.1	Conclusiones .....	82
VI.1.1	Limitaciones del trabajo.....	84
VI.2	Aportaciones .....	84
VI.3	Trabajo futuro .....	86
REFERENCIAS	.....	87
Apéndice A	.....	91
Apéndice B	.....	97
Apéndice C	.....	106
Apéndice D	.....	107

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Índices de natalidad y mortalidad hasta 2050 a nivel mundial.....	1
Figura 2. Esperanza de vida al nacimiento por sexo, 2000-2050. ....	2
Figura 3. Porcentaje de la población mundial de 60 años y mas respecto a la población total, 1950-2050. ....	2
Figura 4. Porcentaje de la población mundial de 60 años y más en distintos países, 2000, 2030 y 2050. ....	3
Figura 5. Proyección de adultos mayores en México según CONAPO .....	3
Figura 6. Índice de fragilidad.....	4
Figura 7. Metodología empleada para la investigación .....	9
Figura 8. Interacción de los AmI con diferentes áreas (Augusto, 2009). ....	13
Figura 9. Arquitectura de un AmI (Augusto, 2009). ....	15
Figura 10. Dominio de los ambientes inteligentes (Oppermann, 1997). ....	16
Figura 11 Arquitectura y topología de ALARM-NET (Wood et al.,2006). ....	21
Figura 12 Arquitectura de BIOMONITOR (O’Flynn et al.,2007). ....	22
Figura 13 Arquitectura de Lifestyle and Health Management (Hanak et al.,2007).....	23
Figura 14. Esquema de seguimiento de personas (Steinhage, 2008).....	24
Figura 15. Diagrama de flujo del algoritmo de detección de caídas (Brown, 2005). ....	25
Figura 16. Diferentes tipos de alertas y los límites en los comportamientos (Virone, 2008). .....	26
Figura 17. Arquitectura del AAL.....	28
Figura 18 Clasificación de sistemas de localización (Trouva, 2009). ....	30
Figura 19 Triangulación WiFi .....	32
Figura 20 Arquitectura de un sistema de reconocimiento de voz.....	34
Figura 21 Escala de valoración de Barthel. ....	36
Figura 22 Relación entre comportamiento y ritmos sociales y biológicos (Virone, 2008). .	38
Figura 23 a) Mote MICAz b) Placa de sensado MTS310CA c) Placa programadora MIB520CB.....	44

Figura 24 Puntos de acceso Cisco Aironet 1100 Series.....	44
Figura 25. Diagrama de emplazamiento y de componentes de la arquitectura. ....	45
Figura 26 Lecturas realizadas en el DCC durante la fase de medición de intensidad de señal .....	47
Figura 27 Segmentación de las lecturas en 5 cluster, utilizando K-means.....	48
Figura 28 Diagrama de secuencia de enviar lecturas y entrenamiento.....	48
Figura 29 Diagrama de secuencia de estimar ubicación.....	49
Figura 30 Diagrama de secuencia de decodificación de comandos.....	50
Figura 31 Acelerómetro utilizado para adquirir los datos. ....	51
Figura 32 Patrón de comportamiento de la actividad sentado a parado .....	52
Figura 33 Funcionamiento del algoritmo Dinamic Time Warping .....	53
Figura 34 Gráficas de la actividad de sentado a parado. ....	53
Figura 35 Aplicación del Suavizador Kernel con Núcleo Gaussiano a los datos de la actividad sentado a parado.....	54
Figura 36 Similitud entre el promedio y la curva suavizada de los datos utilizando un Lambda = 100.....	55
Figura 37 Interfaz que combina localización y detección de actividad.....	55
Figura 38 Diagrama de secuencia para la detección de actividad .....	56
Figura 39 Patrón de comportamiento de caídas.....	56
Figura 40 Diagrama de secuencia para la detección de actividad .....	57
Figura 41 Interfaz que combina localización, detección de actividad/caídas y video.....	58
Figura 42 Interfaz del portal Web de visualización de escenas.....	59
Figura 43 Estadísticas de caídas mensuales por usuario.....	59
Figura 44 Diagrama de secuencia para la captura de escenas .....	60
Figura 45 Definición de zonas donde se realizó el experimento. ....	62
Figura 46 Modelo TAM.....	72
Figura 47 Índices de natalidad y mortalidad hasta 2050 a nivel mundial.....	91
Figura 48 Esperanza de vida al nacimiento por sexo, 2000-2050. ....	92
Figura 49 Población mundial, 1950-2050.....	92
Figura 50 Pirámide de la población mundial, 2000-2050.....	93

Figura 51 Porcentaje de la población mundial de 60 años y mas respecto a la población total, 1950-2050. ....	93
Figura 52 Porcentaje de la población mundial de 60 años y más en distintos países, 2000, 2030 y 2050. ....	95
Figura 53 Porcentaje de la población mundial de 60 años en 2000.....	96
Figura 54 Porcentaje de la población mundial de 60 años en 2050.....	96
Figura 55 Elementos de una neurona artificial. ....	108

## LISTA DE TABLAS

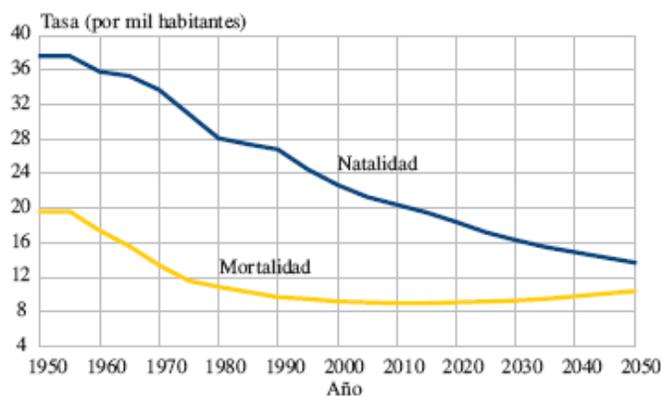
<b>Tabla I</b> Tabla de características del síndrome de fragilidad .....	5
<b>Tabla II</b> Esquema de clasificación de asistencia para AAL (Nehmer, 2006).....	11
<b>Tabla III</b> Ventajas y desventajas de la tecnología WiFi.....	27
<b>Tabla IV</b> Resultados del experimento de estimación de ubicación. ....	57
<b>Tabla V</b> Resultados del experimento de reconocimiento de comandos .....	58
<b>Tabla VI</b> Característica de participantes.....	59
<b>Tabla VII</b> Resultados del experimento para comprobar el comportamiento en la detección de actividades.....	59
<b>Tabla VIII</b> Características de los participantes. ....	60
<b>Tabla IX</b> Resultados del experimento para comprobar el comportamiento en la detección de caídas.....	60
<b>Tabla X</b> Características de los participantes en la evaluación .....	64
<b>Tabla XI</b> Escala de preferencias .....	66
<b>Tabla XII</b> Tabla de resultados de percepción de facilidad de uso y percepción de utilidad. ....	68

### ***1.1 Antecedentes***

#### **1.1.1 Envejecimiento**

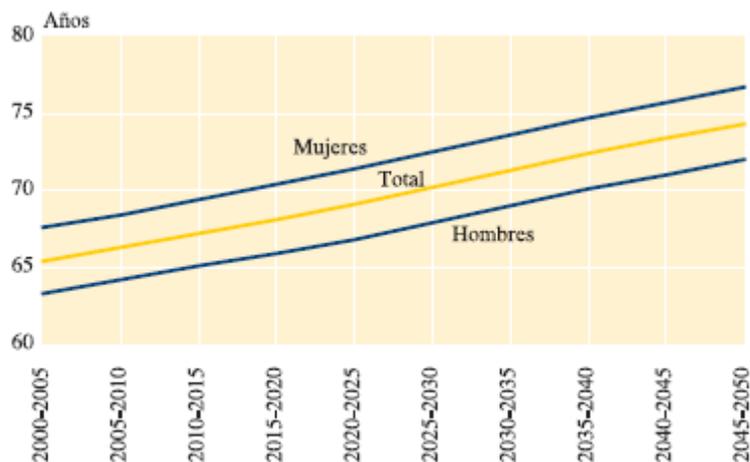
Cada día hay más adultos mayores en el mundo. El incremento en la longevidad determina que la mayor parte de los países desarrollados y algunos como el nuestro, en vías de desarrollo, muestren una expectativa de vida superior a los 70 años de edad. De aquí la necesidad de desarrollar la atención del adulto mayor en sus múltiples y complejas facetas, por razones sociales, biológicas y psicológicas.

Estudios realizados por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), estiman que los niveles de natalidad y mortalidad disminuirán en la primera mitad de este siglo (Ver figura 1). Esta disminución alcanzará niveles de 13.7 nacimientos por cada mil habitantes para el año 2050, mientras que la mortalidad se espera que alcance los menores niveles para el 2015 llegando a las 9 defunciones por cada mil habitantes.



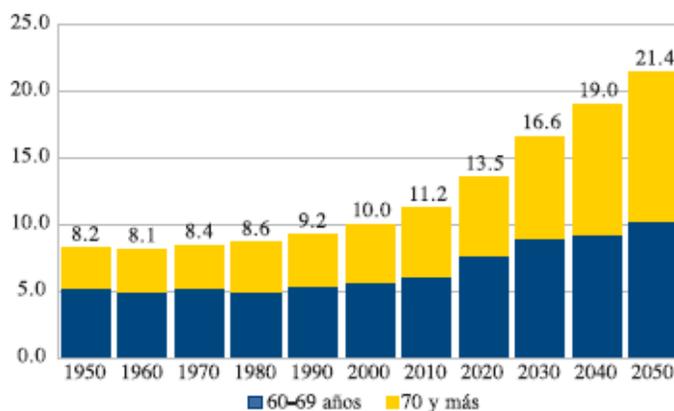
**Figura 1. Índices de natalidad y mortalidad hasta 2050 a nivel mundial.**

El Consejo Nacional de Población (CONAPO) también pronostica que la esperanza de vida (Ver figura 2) aumentara de los 65 años que se estimaban para 2000-2005 a 74 años en 2045-2050.



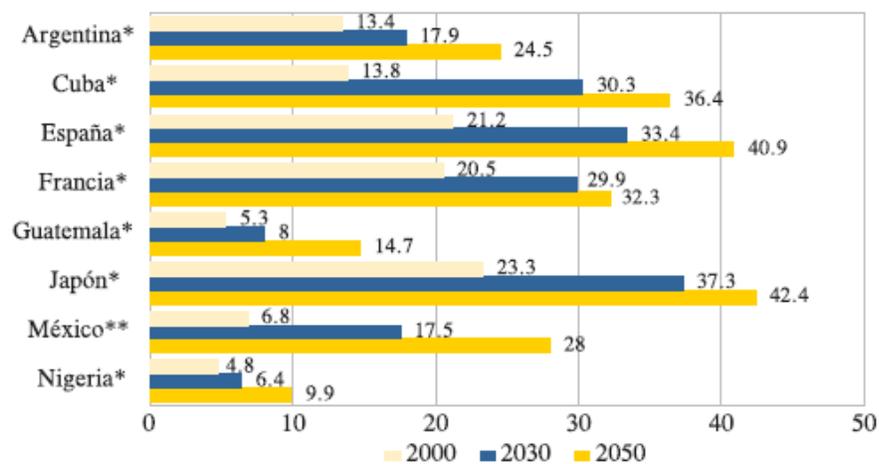
**Figura 2. Esperanza de vida al nacimiento por sexo, 2000-2050.**

De acuerdo a las tendencias previstas del envejecimiento demográfico mundial por parte de la CONAPO, se estima que en 2030 el porcentaje de envejecimiento ascienda a 16.6 % y en 2050 a 21.4% (Ver figura 3). En otras palabras, mientras que en 2000 una de cada diez personas en el mundo era un adulto mayor, para 2050 será una de cada cinco.



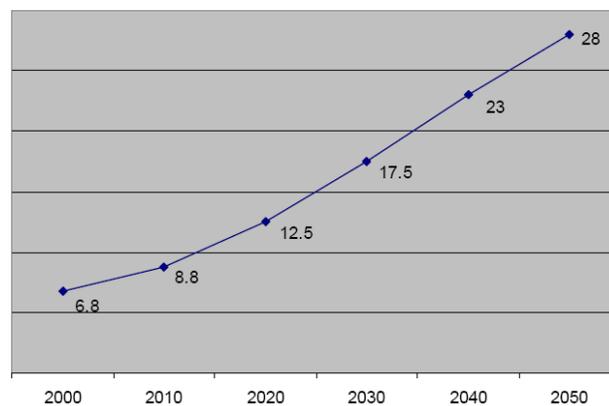
**Figura 3. Porcentaje de la población mundial de 60 años y mas respecto a la población total, 1950-2050.**

Todos los países apuntan a tener mayores proporciones de adultos mayores. En el año 2000, uno de cada diez países tenía una población de adultos mayores que superaba o igualaba a 20 por ciento; mientras que en 2050 serán alrededor de seis de cada diez (Ver figura 4).



**Figura 4. Porcentaje de la población mundial de 60 años y más en distintos países, 2000, 2030 y 2050.**

Haciendo un enfoque en México, el envejecimiento de la población es un tema de gran relevancia para la instrumentación de políticas de población. Nuestro país sigue las tendencias mundiales referentes al crecimiento de adultos mayores, llegando a 28% de la población para 2050 (Ver figura 5).

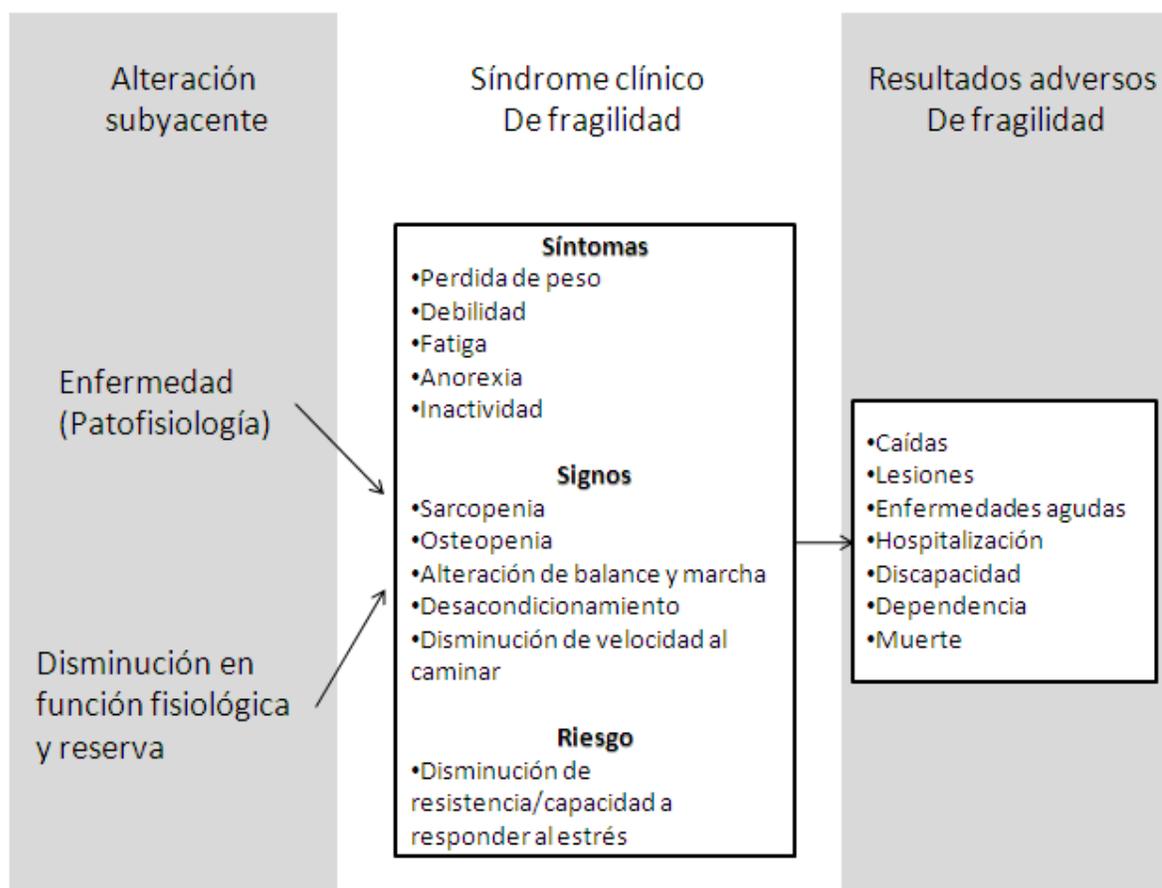


**Figura 5. Proyección de adultos mayores en México según CONAPO**

Estimaciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO) muestran un incremento demográfico llegando a un volumen actual de casi 7.9 millones de adultos mayores. La tasa media anual de crecimiento de este grupo de personas se ha mantenido en ascenso llegando a 3.56% anual.

### I.1.2 Índice de fragilidad

Los gerontólogos a través de los años han intentado distinguir los efectos del verdadero envejecimiento de los efectos relacionados con enfermedades de la vejez. La fragilidad (ver figura 6) ha sido reconocida y caracterizada por una reducción de la capacidad fisiológica y no necesariamente relacionada a procesos de una enfermedad (Chan 2008).



**Figura 6. Índice de fragilidad.**

La fragilidad es definida formalmente como un *síndrome clínico que representa un continuo deterioro físico entre el adulto mayor saludable hasta aquel extremadamente vulnerable en alto riesgo de morir y con bajas posibilidades de recuperación* (Carrasco, 2005).

Para ser considerado frágil (Torpy 2006), un adulto mayor debe tener 3 o más de las características del síndrome de fragilidad (Ver tabla I).

**Tabla I. Tabla de características del síndrome de fragilidad.**

Característica
1. Poca actividad física.
2. Debilidad muscular.
3. Funcionamiento más lento.
4. Fatiga o poca resistencia.
5. Pérdida de peso involuntaria (4.5 kg por año).

Los adultos mayores frágiles son débiles, a menudo tienen muchos problemas médicos complejos, tienen menor habilidad para vivir de forma independiente, pueden tener habilidades mentales reducidas y con frecuencia requieren de ayuda para sus actividades cotidianas tales como vestirse, comer, ir al baño, movilidad (Torpy, 2006).

Estudios realizados por la Asociación Médica Americana (AMA 2006) indican que la mayoría de los adultos mayores frágiles son mujeres (debido a que las mujeres viven más que los hombres), tienen más de 80 años y a menudo reciben cuidados y algún tipo de asistencia por parte de algún familiar o casa de asistencia.

## ***1.2 Cómputo ubicuo***

El paradigma del cómputo ubicuo surgió por las propuestas de crear ambientes saturados de dispositivos embebidos en el ambiente físico con capacidades de comunicación y procesamiento, logrando ser invisibles para el usuario, ofreciendo una ayuda para realizar una tarea cotidiana, de tal manera que su uso forme parte de sus actividades diarias (Weiser, 1991).

Un ambiente de cómputo ubicuo puede adaptarse a las actividades realizadas por el usuario sensando diferentes factores que influyen en el ambiente (Abowd, 2000), esto se conoce como conciencia del contexto.

Como se mencionó en la sección I.1.1, el incremento en el número de adultos mayores que se prevé que habrá en las próximas décadas y los problemas de salud, movilidad y dependencia que trae consigo ese crecimiento, hace que el cómputo ubicuo sea una oportunidad para intentar dar solución a dichos problemas.

La instrumentación de un ambiente con tecnología ubicua intenta ayudar a crear una mayor independencia en las actividades diarias realizadas por adultos mayores. Esta ayuda se ofrece mediante el monitoreo y asistencia requerida por un usuario en un momento determinado.

## ***1.3 Planteamiento del problema***

El envejecimiento genera distintas enfermedades tanto físicas como mentales, provocando la mayoría de las veces dependencias de cuidado, movilidad, asistencia y en otras actividades de la vida diaria.

El cuidado de adultos mayores se convierte en un problema cuando las personas encargadas de su cuidado (familiares, cuidadores) no tienen el tiempo, la capacidad, o la dedicación que se requiere para poner la suficiente atención a todas las necesidades del adulto mayor.

Generalmente cuando una persona llega a la tercera edad las dos opciones de residencia en las cuales puede vivir son que sean llevados a una casa hogar o que los familiares se encarguen de sus cuidados en sus propias casas.

En ambas opciones resulta complejo que los cuidados a los adultos mayores sean cubiertos completamente trayendo con esto deficiencias y problemas en el bienestar del adulto mayor. Por ejemplo puede ocurrir que el familiar o cuidador encargado tenga que realizar alguna actividad ya sea biológica o propia de los cuidados, de forma que por un momento no puede estar atento al adulto mayor. En ese lapso de tiempo pueden ocurrir una serie de posibles accidentes o situaciones fuera de lo común (caídas, cambios en la presión arterial, cambio de posición del cuerpo) que el familiar o cuidador no se daría cuenta de forma oportuna para brindar la ayuda y asistencia necesaria.

#### ***1.4 Objetivo***

Proponer un sistema de asistencia para adultos mayores con ambientes aumentados y tecnología que ayude a mejorar la calidad de vida de personas con problemas motrices incluido el subconjunto de personas de la tercera edad.

1. Estudiar las características en actividades de la vida diaria que realizan personas de la tercera edad.
2. Determinar las características que debe tener un sistema que proporcione asistencia a las actividades identificadas.
3. Diseñar, desarrollar e implementar el sistema que proporcione asistencia a las actividades.
4. Evaluar el desempeño, utilidad y usabilidad del sistema involucrando usuarios específicos. (personas de la tercera edad con problemas motrices)

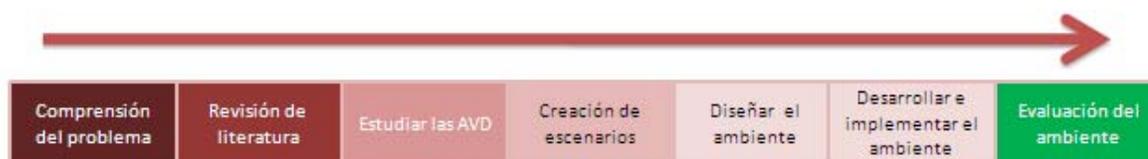
## ***1.5 Preguntas de investigación***

En el presente trabajo se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

- *¿Cuáles actividades cotidianas se pueden asistir con tecnologías de inteligencia ambiental en personas con problemas motrices y de la tercera edad?*
- *¿Qué características debe tener un sistema de asistencia y monitoreo para personas con problemas motrices y de la tercera edad?*
- *¿Cuál es la percepción de facilidad de uso de las AAL (Ambient Assisted Living por sus siglas en inglés) en detección de actividades a personas con problemas motrices y de la tercera edad.*
- *¿Cuál es la percepción de utilidad de AAL enfocados en la detección de ubicación, actividad, caídas y comportamiento de personas con problemas motrices y de la tercera edad?*

## ***1.6 Metodología***

La metodología a utilizar está basada en la propuesta de (González et al., 2004), la cual se ilustra en la figura 7 y que adaptamos a nuestra investigación. El proceso de investigación inicia con una comprensión del problema, en donde se trata de delimitarlo y entender las implicaciones de este. Esta comprensión inicial también se obtiene a través del estudio de literatura relacionada. Una vez delimitado el problema, se procede a estudiar las Actividades de la Vida Diaria (AVD) para definir un conjunto de escenarios de aplicación que vayan acorde al problema en cuestión. Después viene el análisis y diseño de la aplicación con base en los escenarios y en lo aprendido de experiencias previas expuestas en la literatura. Finalmente se realiza una implementación y se evalúa el uso de la aplicación para validar el haber alcanzado los objetivos planteados.



**Figura 7. Metodología empleada para la investigación**

## ***1.7 Organización de la tesis***

Este trabajo de tesis se compone de seis capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el capítulo II se presenta el concepto de Ambientes Asistidos, en los cuales se basa el presente trabajo de tesis, con el objetivo de enfocarnos en los aspectos importantes que deseamos explorar. Asimismo, se revisan los proyectos más representativos reportados en la literatura.

En el capítulo III se presentan la arquitectura del proyecto de este trabajo de tesis. Como se mencionó en este capítulo, el objetivo es proponer un AAL que ayude a mejorar la calidad de vida de personas con problemas motrices, incluido el subconjunto de personas de la tercera edad. La arquitectura consiste de 7 módulos: localización, comandos por voz, detección de actividades, detección de comportamiento, detección de caídas, monitoreo de video y toma de decisiones.

En el capítulo IV se presentan el análisis y proceso seguido para el diseño e implementación del prototipo del ambiente AAL propuesto. La representación y especificación de este diseño se realizó utilizando la notación del lenguaje unificado de modelado (UML).

En el capítulo V se analizará la evaluación realizada al prototipo AAL. El objetivo es obtener información relevante sobre la percepción de utilidad y de facilidad de uso por parte los cuidadores de la Casa Hogar del Anciano.

En el capítulo VI se describen las conclusiones, aportaciones de este trabajo de tesis y trabajo futuro que proponemos

## Capítulo II

### Marco teórico

---

#### ***II.1 Introducción***

En este capítulo se presentan los conceptos y el marco teórico de los Ambientes Asistidos (en lo sucesivo AAL, por sus siglas en inglés *Ambient Assisted Living*) en los cuales se basa el presente trabajo de tesis, con el objetivo de enfocarnos en los aspectos importantes que deseamos explorar.

Iniciaremos con la introducción de conceptos de los AAL abarcando las características que los conforman, para posteriormente describir el trabajo previo en el área y así conocer los proyectos más significativos reportados en la literatura.

#### ***II.2 Ambientes Asistidos (AAL)***

Mejorar la calidad de vida de personas con alguna discapacidad física o mental y de adultos mayores ha venido siendo una de las tareas más importantes en la sociedad actual (Steg, 2006). La calidad de vida de cualquier persona, joven o adulta, depende en gran medida en la eficiencia y confort del lugar que ellos llaman hogar. Para los adultos mayores, el hogar es un sitio de recuerdos en el que vivieron la mayor parte de su vida y psicológicamente es el lugar más apropiado para su permanencia (National Institute on Aging, 2007).

La demanda de adecuaciones en el hogar se incrementa y cambia de acuerdo al envejecimiento, especialmente cuando el estado de salud va en continuo deterioro. Sin embargo, un aspecto importante en todos los adultos mayores que tienen la necesidad de ser asistidos en sus actividades de la vida diaria es el permanecer activos e integrados en la sociedad.

Enfrentando estos retos que presenta el envejecimiento, existen áreas de oportunidad que pueden ser exploradas por diversas áreas de la computación, como los AAL, donde las innovaciones tecnológicas pueden mejorar la calidad de vida de los adultos mayores y personas con discapacidades físicas (Takács, 2007).

El término, Ambientes Asistidos (AAL) es usado para describir *tecnologías que ayuden a mejorar y extender el tiempo en el que un adulto mayor pueda permanecer y vivir en su hogar incrementando su autonomía y asistiéndolo en la realización de sus actividades de la vida diaria* (Wojciechowski, 2008).

Por lo tanto, los AAL pueden ayudar a grupos con discapacidades físicas y al creciente grupo de adultos mayores a vivir más tiempo en un lugar determinado (hogar, casas de asistencia) de la forma más cómoda para ellos, asegurando siempre su calidad de vida, autonomía y seguridad. Esto incluye asistencia para realizar sus actividades diarias, salud, monitoreo, acceso a sistemas médicos y de emergencia y facilitar el contacto social. En la tabla II se muestra un esquema de clasificación para los tipos de asistencia en los AAL propuesto (Nehmer, 2006).

**Tabla II.- Esquema de clasificación de asistencia para AAL (Nehmer, 2006).**

	Servicios de tratamientos de emergencia	Servicios en el mejoramiento de la autonomía	Servicios de confort
<b>Asistencia en interiores</b>	Predicción de emergencia Detección de emergencias Prevención de emergencias	Asistencia cocinando Asistencia comiendo Asistencia bebiendo Asistencia limpiando Asistencia vistiéndose Asistencia medicándose	Servicios logísticos Servicios para encontrar cosas
<b>Asistencia en exteriores</b>	Predicción de emergencia Detección de emergencias Prevención de emergencias	Asistencia comprando Asistencia viajando	Servicios de transporte Servicios de orientación

En general, los AAL pueden mejorar la calidad de vida del grupo de adultos mayores con alguna discapacidad física o médica, permitiendo que sigan viviendo en sus hogares, reduciendo la necesidad de cuidadores y servicios personales de enfermería.

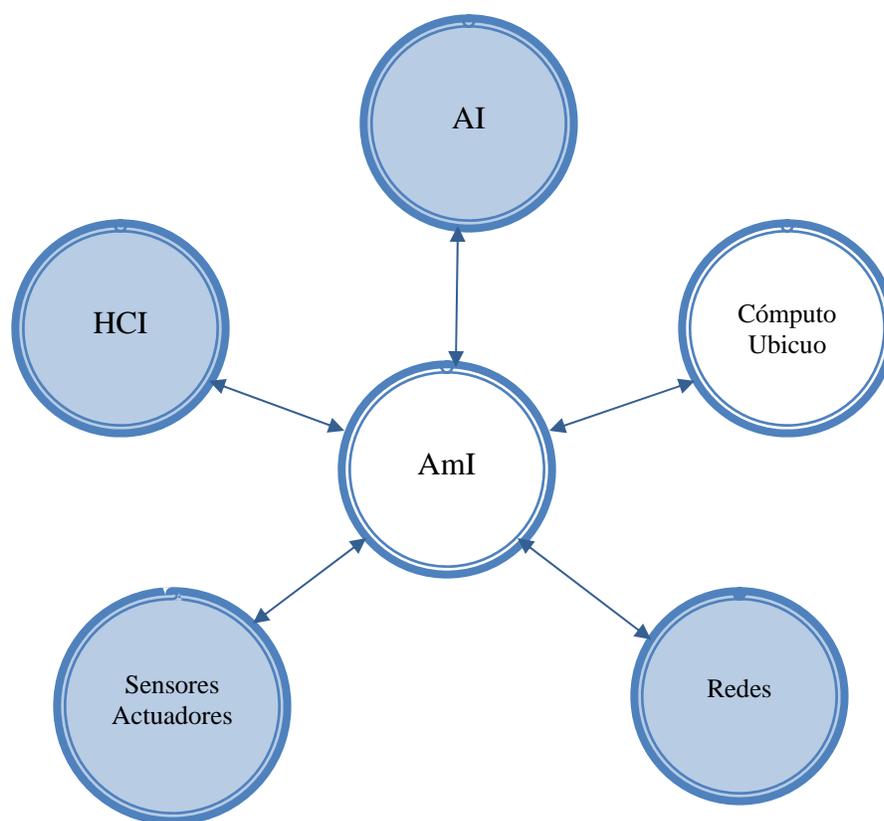
### **II.2.1 Ambientes Inteligentes (AmI)**

Los AAL están basados principalmente en aplicaciones que vienen siendo estudiadas y desarrolladas por otras áreas de investigación como son los Ambientes Inteligentes (AmI). Un AmI han sido definido como “*un entorno digital que de forma proactiva ayuda a las personas en su vida diaria*” (Augusto, 2007). La investigación en AmI sigue los objetivos del cómputo ubicuo propuestos por Mark Weiser. Las computadoras deben ser invisibles para el usuario, con el objetivo de que el usuario pueda comunicarse con un entorno inteligente que le permita realizar sus actividades de manera natural. La interacción natural es realizada mediante el uso de interfaces para el lenguaje, movimiento, gestos y señalamientos (Weiser, 1991).

Un elemento significativo para el desarrollo de los AmI es la evolución de la tecnología. Los avances en la miniaturización de procesadores ha hecho posible el desarrollo de ambientes inteligentes. La capacidad de procesamiento de información ahora está embebida en una gran cantidad de objetos, por ejemplo dentro del hogar (lavadoras, refrigeradores y hornos de microondas), transportados por usuarios fuera del hogar (celulares, PDAs) o sirven de guía para encontrar un sitio (navegación GPS). Toda esta gama de dispositivos que requieren poca energía para su funcionamiento y tienen un objetivo específico, son gradualmente aceptados e introducidos en gran parte de la sociedad (Augusto, 2009). La aceptación de recursos forma la capa tecnológica para la realización de Ambientes Inteligentes.

La Inteligencia Ambiental va mas allá de la capacidad ubicua de los dispositivos, requiere una fuerte participación de la Inteligencia Artificial para alcanzar los objetivos de ser proactiva y sensible. Aquí es donde la Inteligencia Artificial es usada en un amplio sentido,

apoyándose de áreas como el software basado en agentes y la robótica. Lo importante es que los sistemas de AmI ofrezcan flexibilidad, adaptación, anticipación y una interfaz sensible de acuerdo a las necesidades del usuario. Debido a la diversidad de usuarios que interactúan en un AmI y a la necesidad de una interacción directa con el sistema para indicar preferencias o necesidades, la Interacción Humano-Computadora (HCI por sus siglas en inglés *Human-Computer Interaction*) ha sido un área importante de las ciencias de la computación que participan activamente en el desarrollo de Ambientes Inteligentes, proporcionando técnicas en el desarrollo de interfaces interactivas (Augusto, 2009). En la figura 8 se presenta la interacción de AmI con diversas áreas de la computación propuesta por Augusto (2009).



**Figura 8. Interacción de los AmI con diferentes áreas (Augusto, 2009).**

## II.2.2 Arquitectura de un Ambiente Inteligente (Aml)

Los Ambientes Inteligentes están conformados por la coexistencia e interacción de elementos heterogéneos. Software, hardware y redes están integrados para dar servicios a usuarios. La automatización en un Ambiente Inteligente puede ser vista como un ciclo, considerando uno de los siguientes casos:

- a) Percibiendo el estado del ambiente.
- b) Analizando la percepción del ambiente junto con las tareas objetivo y las posibles acciones.
- c) Actuando sobre el ambiente para cambiar el estado actual.

La percepción es el proceso principal. Los sensores monitorean el ambiente usando componentes físicos, ofreciendo la disponibilidad de la información a través una capa de comunicación. Una base de datos almacena la información mientras otros componentes procesan esta información cruda en conocimiento más útil. La nueva información son introducidos en algoritmos que realizan la tarea de toma de decisiones. La ejecución de acciones fluye desde las capas más abstractas a las más concretas. La decisión tomada es comunicada a las capas de servicio que la almacenan y la comunican a las capas físicas. La capa física realiza la acción con la ayuda de actuadores, de esta forma cambia el estado del ambiente y el sistema se pone en espera de una nueva percepción. En la figura 9 se muestra de forma gráfica la arquitectura de un Ambiente Inteligente.

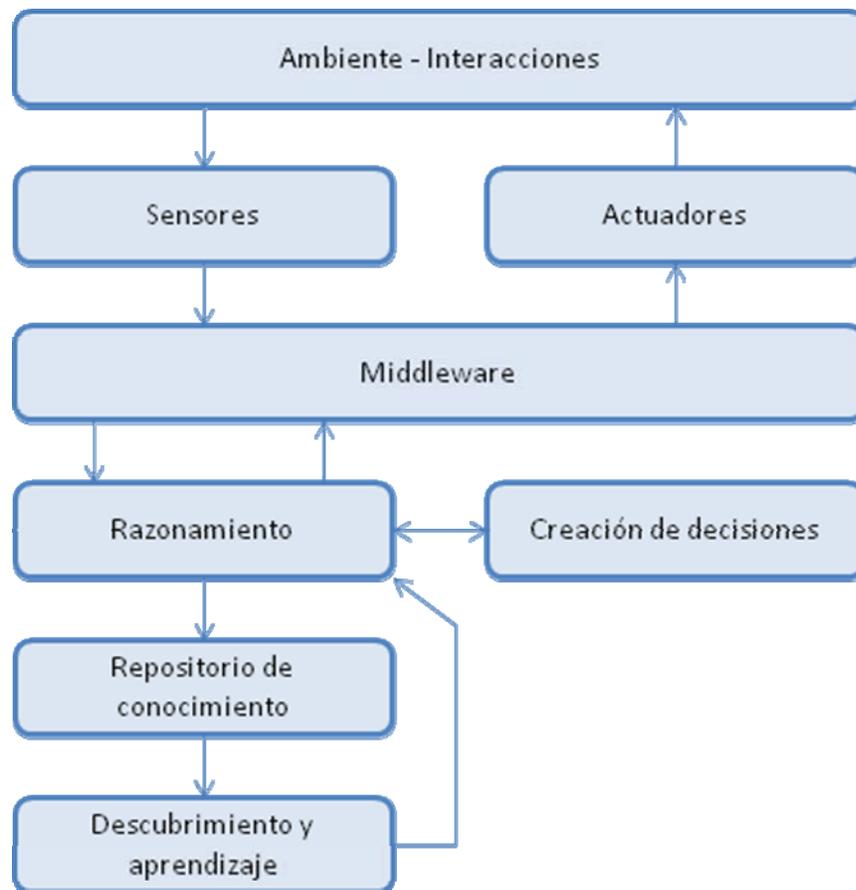


Figura 9. Arquitectura de un AmI (Augusto, 2009).

### II.2.3 Características de un Ambiente Inteligente (AmI)

Los Ambientes inteligentes representan una nueva generación de sistemas que muestran las siguientes características (Oppermann, 1997):

- Invisibles (embebido en ropa, relojes, lentes, etc.)
- Móvil (puede ser transportado)
- Comunicación espontánea entre nodos.
- Heterogénea (uso de diferentes tipos de nodos)
- Concientes del contexto (concientes del entorno local).
- Adaptivos.

El dominio de los ambientes inteligentes (ver fig. 10) abarca 3 áreas: Asistencia de emergencia, mejoramiento de la autonomía y por último confort.

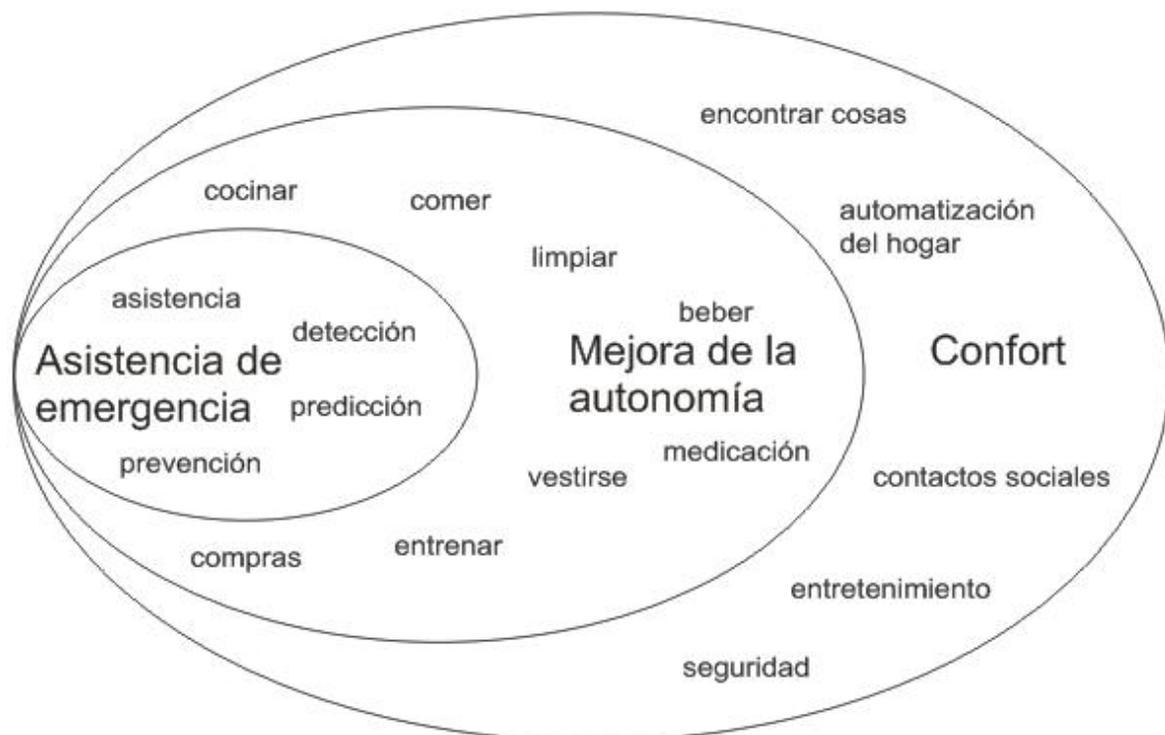


Figura 10. Dominio de los ambientes inteligentes (Oppermann, 1997).

### ***II.3 Modelos de contexto en Ambientes Asistidos (AAL)***

Siendo el contexto un atributo importante en los AAL, este se define como “*cualquier información que puede usarse para caracterizar la situación de una entidad. Una entidad es una persona, lugar u objeto que es considerado relevante para la interacción entre un usuario y una aplicación*” (Dey, 2000).

Un modelo de contexto es una descripción formal de aspectos relevantes del mundo real. Es necesario abstraer los detalles técnicos del contexto sentido y conectar el mundo real a la perspectiva técnica de las aplicaciones adaptadas al contexto (Becker, 2004).

Dentro de los modelos de contexto para los AAL se identifican los siguientes requerimientos: adaptabilidad de la aplicación, servicios móviles, descubrimiento de servicios, generación de código y la conciencia de contexto de las interfaces de usuario (Preuveneers, 2004). Basado en los requerimientos mencionados anteriormente se introduce una ontología en los AAL (Wojciechowski 2008) que se enfoca en cuatro aspectos principales: usuario, entorno, plataforma y servicio. Por lo tanto basándose en la ontología, los servicios pueden construirse de forma tal que puedan adaptarse a los cambios que se presenten en esos cuatro aspectos. Es por esto que el contexto es de utilidad para ofrecer una interacción natural y servicios proactivos dentro de los AAL.

Estos servicios son clasificados dentro de las siguientes categorías (Wojciechowski 2008):

- **Salud.**- Ayudan a mantener tanto la salud y el cuidado médico, por ejemplo servicios de nutrición personalizada o supervisión de signos vitales.
- **Seguridad.**- Adaptan los ambientes a necesidades específicas del usuario.
- **Confort.**- Mejoran la experiencia de vida dentro de un ambiente e incrementan la autonomía del usuario.
- **Entorno social.**- Mantienen y crean contactos sociales del usuario, por ejemplo mediante video conferencias.
- **Económica.**- Ayudan a ahorrar costos de mantenimiento y operación de los hogares.

#### ***II.4 Requerimientos de diseño de Ambientes Asistidos (AAL)***

Para ofrecer ayuda eficiente a una persona en su vida diaria, en este caso un adulto mayor, es de gran valor e importancia conocer en detalle sus condiciones actuales de salud y comportamiento en general, por lo tanto la asistencia en el hogar debe estar consciente de las necesidades del usuario. Dependiendo del contexto, el ambiente debería: ofrecerle los servicios necesarios, aprender de sus actividades, detectar cualquier situación anormal y actuar de acuerdo a ella. De acuerdo a lo anterior, se han identificado los siguientes requerimientos en el diseño de AAL (Andrushevich, 2009):

- **Ayuda informativa**

Un AAL debería proveer la información y servicios que una persona necesita en el momento. Por ejemplo, instrucciones para tomar sus medicinas por la mañana frente al espejo del baño, una aplicación para ubicar objetos, etc.

- **Comportamiento inteligente del ambiente**

Los AAL deberían aprender de los comportamientos y actividades humanas y ofrecer la asistencia correcta en el momento oportuno. En este caso los escenarios más apropiados son aquellos que involucran secuencias de comportamientos similares y repetitivos, por ejemplo levantarse por las mañanas (encender luces, abrir cortinas, preparar la ducha, etc.).

- **Predicción en caso de emergencia**

De acuerdo con cambios fisiológicos y de comportamiento, un AAL podría predecir futuras situaciones de peligro probablemente con medidas preventivas apropiadas como alertar a miembros de la familia, cuidadores y/o personal médico. Situaciones peligrosas pueden ser caídas u olvidar que se dejó encendida la estufa, en este caso (incluido el adulto mayor) puede ser alertado o la estufa puede apagarse automáticamente.

- **Reconocimiento del caso de emergencia**

Los AAL deberían detectar cualquier situación anormal y actuar de acuerdo a lo que sucede. El sistema puede sentir que el adulto mayor no se levantó como lo hace habitualmente por las mañanas e inicia una alerta al cuidador o a sus familiares de un posible caso de emergencia.

- **Seguridad**

Los adultos mayores requieren un incremento del nivel de seguridad en su entorno, esto es debido a la discapacidad parcial tanto física como cognitiva. Un AAL, por

ejemplo debería reconocer que una puerta no ha sido asegurada y actuar ya sea dando una alerta o asegurando la puerta automáticamente.

- **Privacidad**

Adultos mayores con un buen funcionamiento físico y mental muestran una preocupación relacionada con el nivel de monitoreo sobre su vida diaria. No desean sentir que están siendo monitoreados en todas sus actividades (Andrushevich, 2009).

## ***II.5 Trabajo previo***

Se han tenido avances importantes en la investigación y desarrollo de AAL en los últimos años. Este impulso es resultado de la creación de grupos de investigación en todo el mundo, principalmente en instituciones de Estados Unidos. De entre estos grupos se pueden destacar los siguientes:

- ***Aware Home Research Initiative, Georgia Institute of Technology:*** Es un grupo de investigación interdisciplinario creado en 1998, que se enfoca en el estudio de problemas sociales y en el diseño de soluciones que incrementen la calidad de vida en personas con alguna discapacidad física y adultos mayores.
- ***Smart Medical Home Research Laboratory, University of Rochester:*** El objetivo de este grupo es desarrollar un sistema personal de salud utilizando diversas tecnologías. El sistema permite en la comodidad del hogar del usuario, mantener su salud, detectar características que puedan desencadenar una enfermedad y manejarla.
- ***Medical Automation Research Center, University of Virginia:*** Este grupo ha desarrollado soluciones tecnológicas de monitoreo dentro del hogar, con el objetivo de proveer una mejor calidad de vida. El sistema de monitoreo incluye una gama de sensores no invasivos de bajo costo, almacenamiento de datos, módulo de

comunicación todo esto integrado en un módulo de manejo de datos, a los cuales se puede tener acceso desde internet.

- ***House\_n, Massachusset Institute of Technology:*** La misión de este grupo es hacer investigación en el diseño y construcción de entornos reales (*living labs*) que son usados para el estudio de tecnologías y estrategias de diseño. Cuentan con *The PlaceLab*, un departamento residencial en Cambridge, Massachusetts, diseñado para ser un observatorio flexible y multidisciplinario que permita a los investigadores el estudio de personas y sus interacciones con nuevas tecnologías y entornos.

A continuación citaremos tres proyectos que consideramos cubren la mayoría de las características estudiadas dentro de los AAL.

### **II.5.1 ALARM-NET: Red inalámbrica de sensores para asistencia y monitoreo residencial (2006)**

ALARM-NET es un proyecto compuesto por una red inalámbrica de sensores enfocada en ofrecer asistencia y monitoreo residencial. Está red escalable, heterogénea y segura, está integrada por sensores ambientales y fisiológicos. La obtención de los datos capturados por los sensores se realiza en tiempo real por medio de un protocolo de acceso (Query Protocol) y estos son enviados a las interfaces de usuario y programas de análisis para ser procesados.

La implementación se ha realizado utilizando el siguiente hardware: motes micaZ, puertas de enlace StarGate, iPAQs, PDAs y PCs. Los motes micaZ fueron modificados y se agregaron sensores infrarrojos de movimiento, temperatura, luz, pulso y oxigenación sanguínea. El software empleado fue TinyOS para la obtención y seguridad de los datos en los motes micaZ; AlarmGate, una aplicación java embebida para el control de energía; monitores implementados en Java residentes en las PDAs y PCs; y un programa de análisis del ritmo circadiano. En la figura 11 se muestra la arquitectura y topología de ALARM-NET.

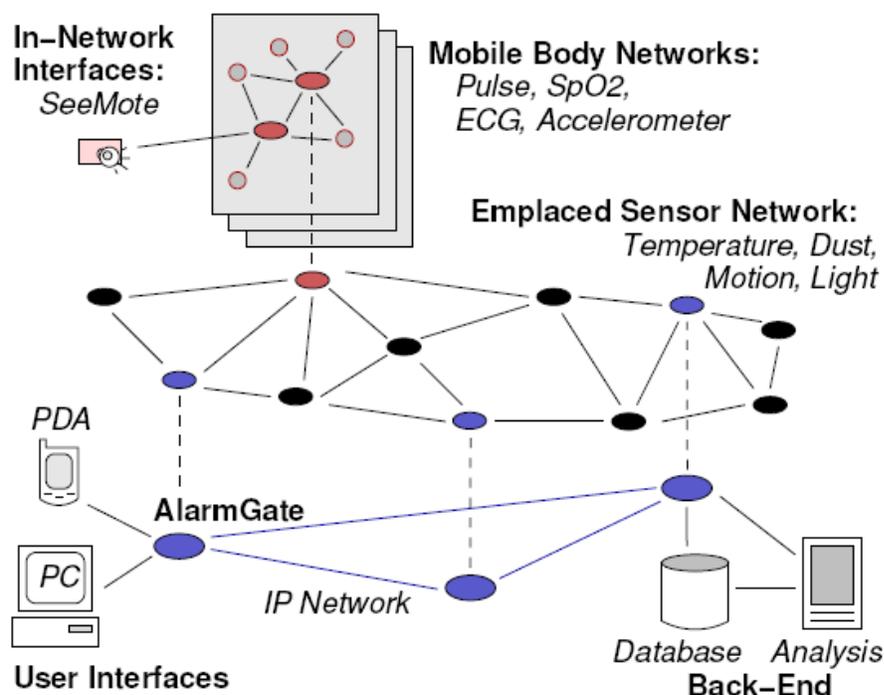
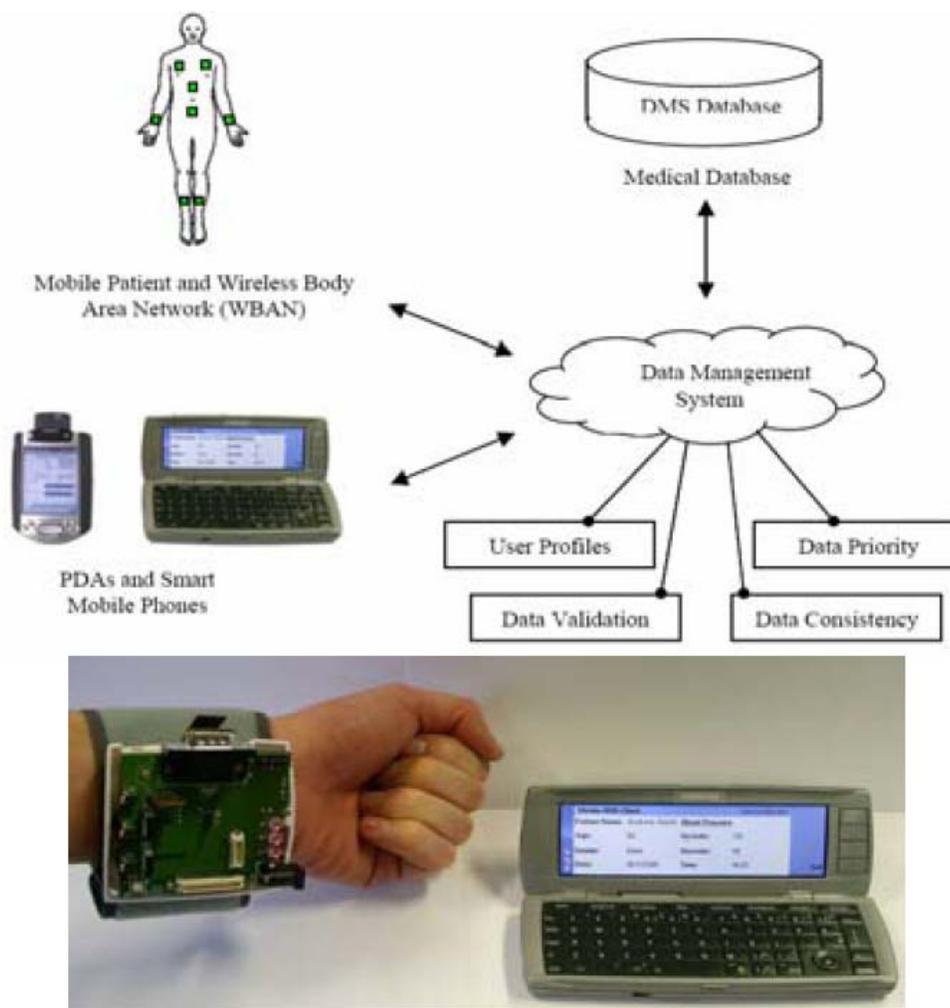


Figura 11 Arquitectura y topología de ALARM-NET (Wood et al.,2006).

El desempeño de ALARM-NET se analizó llevando a cabo la implementación y una evaluación en un departamento de 7 recámaras. Se diseñaron 5 escenarios para probar por separado cada función de ALARM-NET. Por ejemplo, para verificar la eficiencia de los sensores infrarrojos de movimiento, se instaló en una PC el software (Back-End) y un miembro del grupo simuló a una persona con problemas físicos caminaba por varios lugares del departamento llevando con él la PC.

### II.5.2 BIOMONITOR: Biomonitor inalámbrico para Ambientes Asistidos (2007)

BIOMONITOR es un proyecto enfocado en ofrecer asistencia y monitoreo de presión sanguínea, frecuencia cardíaca y Electro Cardiograma en tiempo real con el objetivo de mejorar el diagnóstico médico del usuario. El sistema está formado por una plataforma llamada DMS (Sistema de Manejo de Datos) que recolecta en tiempo real los datos capturados por los sensores y con los cuales se establece el contexto medico dentro de la red.



**Figura 12** Arquitectura de BIOMONITOR (O'Flynn et al.,2007).

El dispositivo desarrollado es una pulsera (ver figura 12) sobre la cual se ha instalado el mote (Tyndall 25) con los sensores. El funcionamiento inicia enviando las condiciones actuales del usuario a la plataforma DMS, para ser analizadas, procesadas y convertirlas en información de fácil interpretación para finalmente ser almacenada en la base de datos. El personal médico, puede acceder a las condiciones actuales o analizar el estado previo del usuario desde diversos dispositivos (PDAs, PCs).

### II.5.3 Lifestyle and Health Management (2007)

Lifestyle ofrece un entorno transparente de monitoreo y asistencia para adultos mayores que permite una mejor interacción con los cuidadores o personal médico. La arquitectura está dividida en tres partes (ver figura 13); la primera es un conjunto de dispositivos de monitoreo ubicados en diferentes partes de la casa (básculas, temperatura), sensores de salud (presión sanguínea, frecuencia cardiaca, niveles de glucosa, oxigenación, respiración) que son llevados por los adultos mayores y pantallas ambientales; la segunda son dispositivos móviles (PDAs, celulares) con los cuales se procesa la información proveniente de sensores y se administran las aplicaciones del ambiente, todo conectado usando tecnologías WiFi y 3G; y la tercera está compuesta por dos aplicaciones, una encargada de almacenar toda la información proveniente del ambiente y otra llamada INes usada para emitir alertas.



Figura 13 Arquitectura de Lifestyle and Health Management (Hanak et al.,2007).

Lifestyle tiene la capacidad de enviar y recibir audio y video; esta característica es aprovechada para enviar ejercicios de motivación, video conferencias con doctores y familiares. Los medicamentos son administrados mediante despachadores de pastillas controlados mediante WiFi. Las pantallas ambientales son utilizadas para mostrar el estado

del tiempo y sugerir que ropa vestir en el día. Periódicamente se presentan juegos que ayudan a verificar el estado mental y poder predecir estados de depresión.

#### II.5.4 Monitoring movement behavior by means of large area proximity sensor array in the floor. (2008)

Este trabajo describe un sistema de sensores que permite detectar y dar seguimiento al movimiento de personas en una habitación (Steinhage, 2008). Estos sensores están incrustados en una alfombra que se coloca por debajo de la cubierta del piso actual. Así, cuando una persona camina sobre el piso se activan eventos en cada uno de los sensores por donde va caminando. Estos eventos son transmitidos inalámbricamente hasta una estación central llamada Smart Adapter en donde son procesados para determinar la ubicación de la persona. Basándose en esta información, el Smart Adapter puede controlar interruptores inalámbricos de puertas automáticas, alarmas, luces, calefacción, contadores de tráfico. Una característica importante es que este sistema se puede conectar con una red de control ya existente en un edificio.

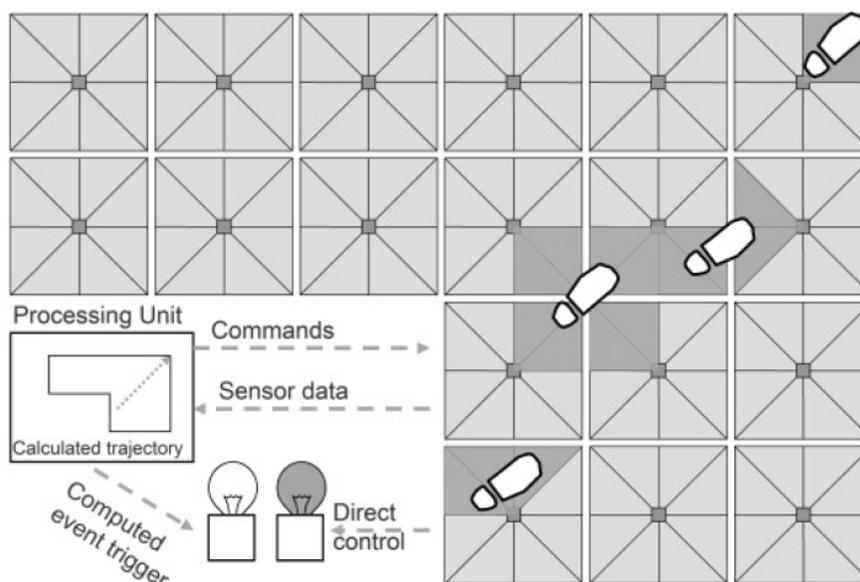


Figura 14. Esquema de seguimiento de personas (Steinhage, 2008).

### II.5.5 An accelerometer based fall detector: Development, experimentation and analysis. (2005)

En este trabajo se presenta un sensor detector de caídas basado en el microprocesador GPSADXL compuesto por un acelerómetro de dos ejes ( $\pm 10g$ ), un módulo de GPS y cuatro megabytes de memoria RAM estática. La alimentación de energía se provee mediante la utilización de tres baterías recargables AAA a 1.2 volts, con una vida útil de alrededor 10 horas en un uso continuo. En cuanto a los acelerómetros están posicionados con un ángulo de 90 grados uno con otro para permitir hacer mediciones de aceleración en tres dimensiones. El pequeño modulo GPS es utilizado para conocer información de la hora, latitud y longitud de la persona en caso de ocurrir una caída.

El algoritmo diseñado y utilizado para la detección de caídas aplica las siguientes reglas:

1. Esta a la espera de un cambio significativo en el ángulo dentro de un intervalo de tiempo específico.
2. Una vez que se ha identificado un cambio en el ángulo, inicia la búsqueda de un cambio significativo en la aceleración dentro del mismo intervalo de tiempo.
3. Si se han identificado ambas acciones dentro del mismo intervalo de tiempo, se ejecutan las acciones programadas previamente.

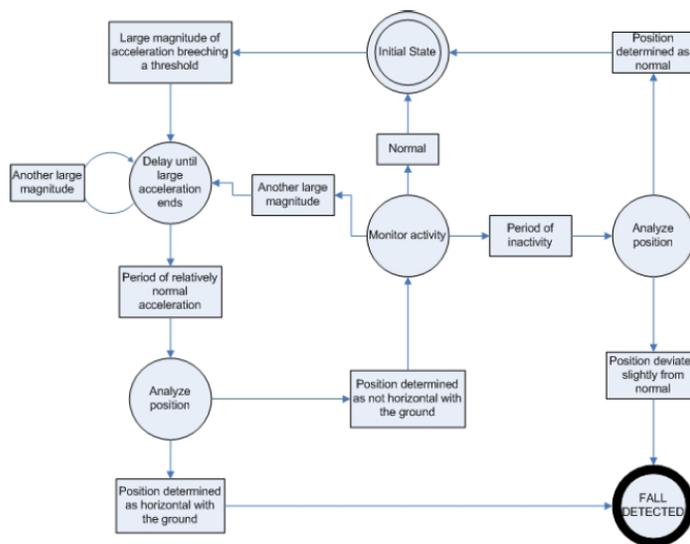


Figura 15. Diagrama de flujo del algoritmo de detección de caídas (Brown, 2005).

### II.5.5 Behavioral patterns of older adults in assisted living. (2008)

En este trabajo se presenta un estudio piloto para examinar ritmos de actividad en el hogar, realizado con 22 residentes en una casa de asistencia. La obtención de los datos para establecer los patrones de comportamiento se realiza mediante el uso de software especial basado en un algoritmo estadístico predictivo que modela los ritmos de actividad circadianos y sus desviaciones. Los ritmos circadianos y el nivel de actividad son estimados estadísticamente basándose en el tiempo promedio en el que un residente permanece en cada habitación. Los movimientos de los residentes son grabados utilizando un sistema de monitoreo (IMS) el cual establece los periodos de ocupación y niveles de actividad en cada habitación. Utilizando estos datos, el comportamiento circadiano de los residentes es identificado y las desviaciones indican anomalías detectadas. Considerando esto, el sistema puede ser usado para detectar desviaciones en patrones de actividad y alertar a los cuidadores de que ha ocurrido un cambio en la salud de los residentes.

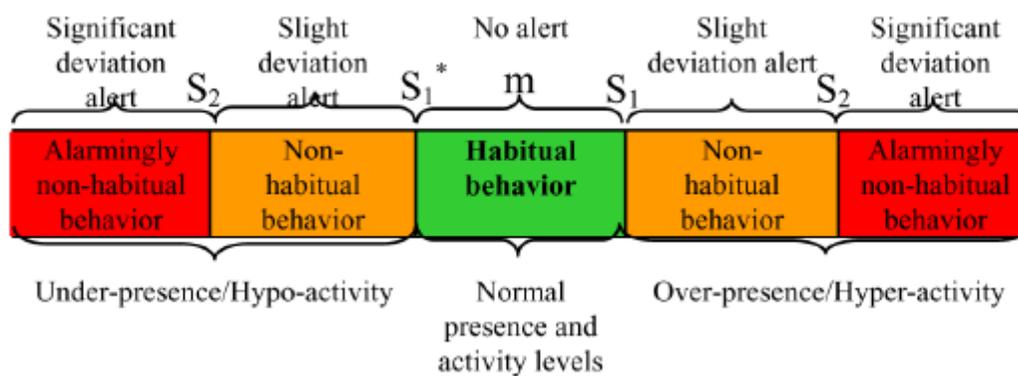


Figura 16. Diferentes tipos de alertas y los límites en los comportamientos (Virone, 2008).

### II.6 Resumen

En este capítulo se presentaron los conceptos para comprender el objetivo y utilidad de los Ambientes Asistidos en escenarios que involucran el cuidado y asistencia de personas de la tercera edad con discapacidades físicas. También se analizaron los requerimientos que se

deben tomar en cuenta al momento de diseñar e implementar un AAL, para que cumpla con el objetivo esencial de brindar asistencia en el desarrollo de las actividades diarias (o cotidianas). Finalmente se citaron varios proyectos que cubren la mayoría de las características que son consideradas para un AAL, así como su área de aplicación, arquitectura y funcionamiento.

## Capítulo III

### Arquitectura

#### III.1 Introducción

En este capítulo se presenta la arquitectura del sistema que se concibió y desarrolló en el marco de este trabajo de tesis. Como se mencionó previamente en el Capítulo I, el objetivo es proponer un AAL que ayude a mejorar la calidad de vida de personas con problemas motrices, incluido el subconjunto de personas de la tercera edad. La arquitectura consiste de 7 módulos: localización, comandos por voz, detección de actividades, detección de comportamiento, detección de caídas, monitoreo de video y asistencia (ver figura 17). Cada módulo tiene su función específica que sirve de apoyo a los demás, de tal modo que todos van interconectados hasta lograr conformar el AAL propuesto.

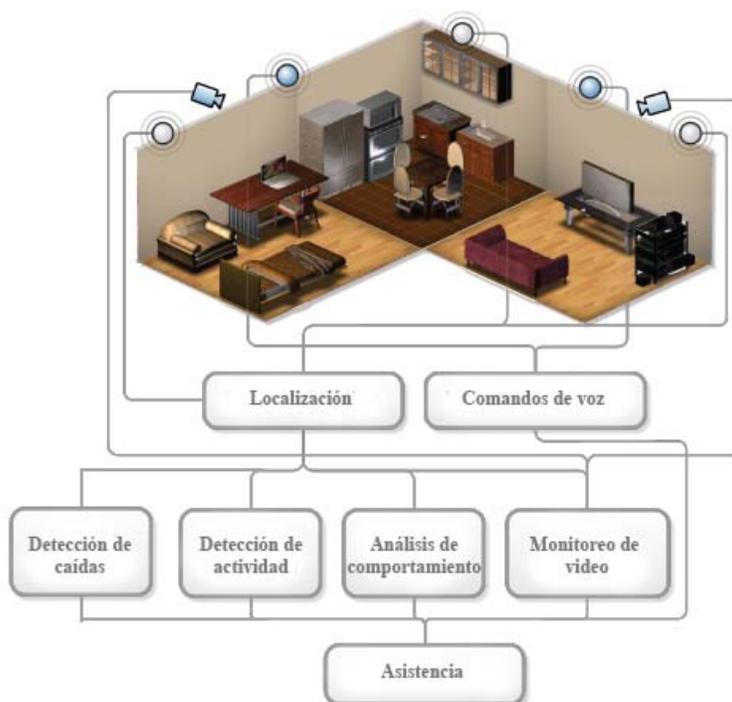


Figura 17. Arquitectura del AAL.

Los módulos de la arquitectura fueron diseñados tomando en consideración tanto los requerimientos de diseño de Ambientes Asistidos presentados en la sección II.4, el estudio de literatura relacionada con deterioros físicos que se presentan en adultos mayores así como tres visitas que se hicieron a la Casa Hogar del Anciano para realizar observaciones relacionadas con las actividades habituales de cuidado que realizan los cuidadores. De lo anterior se desprendió que el Ambiente Asistido debería contar con lo siguiente:

- La capacidad de poder conocer la ubicación física aproximada de un adulto mayor que permita dar asistencia en caso de presentarse algún imprevisto que lo requiera.
- Debido a las limitaciones físicas que se presentan en los adultos mayores, se requiere un servicio que permita la interacción directa con objetos del medio que los rodea tales como puertas, para esto se incluye un modulo de comandos por voz.
- La capacidad de poder detectar caídas como resultado en el deterioro físico de los adultos mayores.
- Poder identificar actividades como caminar, sentarse, pararse y acostarse.
- Tener la capacidad de analizar el comportamiento para conocer desviaciones fuera de lo común, considerando historiales de actividades y ubicaciones.
- Poder monitorear con equipo de video distintas zonas que sirvan de apoyo para confirmar posibles accidentes que se llegaran a presentar.
- Ofrecer asistencia a situaciones de emergencia tales como caídas mediante avisos visuales y acústicos para cuidadores.

### ***III.2 Módulo de localización***

Al ocurrir un evento considerado de importancia dentro de cualquier AAL, la principal necesidad que se tiene es saber en qué lugar ocurrió para poder brindar la ayuda o asistencia necesaria. Esta situación ha hecho que la localización de personas tanto en exteriores como en interiores (hogares, oficinas, guarderías, etc.) esté tomando importancia. En este trabajo, la localización es uno de los puntos claves para ofrecer todos los servicios que se proponen.

En el diseño de sistemas de localización en interiores, existen varios parámetros que se deben considerar (Trouva, 2009):

- **Exactitud:** Este es el parámetro principal, e indica que tan lejos se desvía la posición estimada respecto a la posición real.
- **Costo:** Debe considerarse utilizar componentes estándar y baratos que estén disponibles en el mercado siempre que sea posible para que los gastos no se incrementen desproporcionadamente.
- **Consumo de energía:** Es importante considerarlo en todos los casos cuando se utilicen dispositivos que funcionen con baterías.
- **Escalabilidad:** El sistema debe ser capaz de extenderse a nuevas habitaciones y agregar nuevos dispositivos sin problema.
- **Duración de la estimación:** Calcular el tiempo que el sistema tarda en predecir dos o más ubicaciones.
- **Robustez:** Este parámetro incluye el nivel de inmunidad del sistema debido a las interferencias provenientes de otros dispositivos.

Considerando los parámetros anteriores, se han propuesto una variedad de sistemas (ver figura 18) utilizando diferentes tecnologías como Bluetooth, WiFi, RFID, infrarrojo, señales ultrasónicas y de radio frecuencia, GSM/UMTS y GPS.

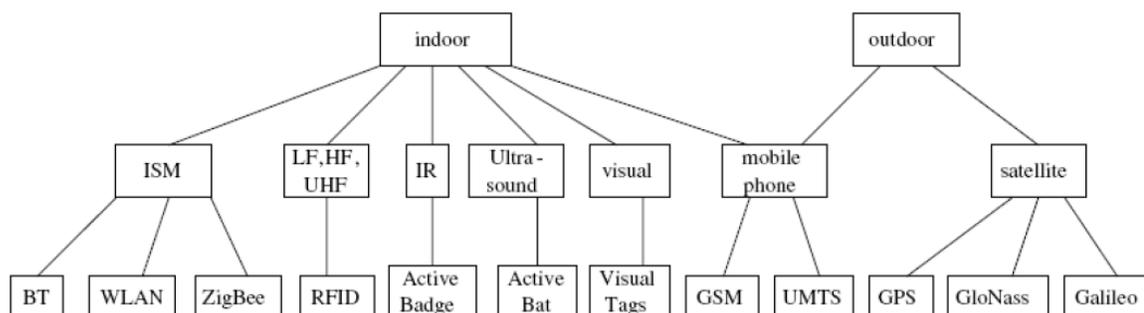


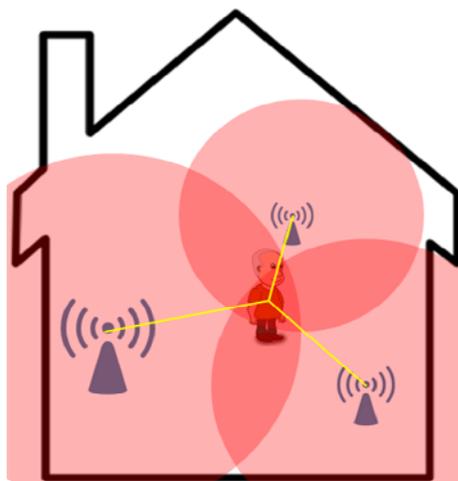
Figura 18 Clasificación de sistemas de localización (Trouva, 2009).

Considerando los parámetros mencionados anteriormente para el diseño de sistemas de localización, la tecnología que se decidió utilizar fue WiFi. Esto debido a que los puntos de acceso son económicos, de fácil instalación en nuevas áreas para cubrir un espacio más grande y existe una diversidad de dispositivos que vienen integrados con tarjetas inalámbricas, lo que ayuda a tener una mayor y mejor escalabilidad. Esta tecnología presenta algunas ventajas y desventajas como pueden verse en la tabla III.

**Tabla III.-** Ventajas y desventajas de la tecnología WiFi.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplio rango de cobertura (100 mts.), se necesitan menos puntos de acceso para cubrir grandes áreas.</li> <li>• Los puntos de acceso son baratos.</li> <li>• Se puede hacer uso de redes inalámbricas existentes sin que se requiera alguna instalación extra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La banda de radio frecuencia es compartida, generando posibles interferencias.</li> <li>• Baja precisión.</li> </ul>

Para estimar la posición de una persona (ver figura 16), se mide el nivel de intensidad de la señal recibida en la interfaz WiFi de cada uno de los puntos de acceso (AP) que forman la estructura de la red WLAN. Esta medida es función de la distancia y de los obstáculos que se encuentran entre los APs y el usuario. Desafortunadamente, en ambientes interiores, el canal inalámbrico es muy ruidoso y la señal de RF se ve afectada por los fenómenos de la reflexión, refracción y difracción, en lo que se conoce como efecto del multi-trayectoria, lo que hace que el nivel de señal recibido sea una función compleja respecto de la distancia y del tiempo.



**Figura 19 Triangulación WiFi**

Estos sistemas trabajan en dos fases: entrenamiento y estimación (Trouva, 2009). Durante la primera, se construye el mapa de forma manual (lectura de señales). En la fase de estimación se obtiene un vector con los niveles de la señal recibida de cada uno de los APs y se comparan con los resultados del entrenamiento de la red neuronal para obtener la posición estimada como aquella en la que los niveles de señal son más cercanos. Las técnicas de estimación de la posición se dividen en determinísticas y probabilísticas (Trouva, 2009). En las primeras, el entorno se divide en celdas y durante la fase de estimación se obtiene la posición como aquella celda en la que las medidas almacenadas en el patrón son más parecidas. Por otro lado las técnicas probabilísticas mantienen una distribución de probabilidad sobre todas las posibles ubicaciones del entorno. Estas técnicas consiguen una precisión superior a cambio de un mayor costo computacional.

### **III.3 Módulo de comandos de voz**

Los humanos somos seres sociales por naturaleza, por lo tanto interactuar de forma oral es un proceso natural y automático. Considerando la naturalidad de la comunicación oral y la evolución tecnológica en el reconocimiento del habla, podemos desarrollar aplicaciones que nos permitan interactuar con una amplia gama de dispositivos. Tomando ventaja de esta interacción, decidimos diseñar una herramienta que nos permitiera interactuar con puertas, cajones, persianas dentro de nuestro AAL.

El reconocimiento automático de voz es el proceso por el cual una computadora transforma una señal acústica de voz a texto. Existen tres categorías de sistemas de reconocimiento de voz: dependientes, independientes y adaptables al hablante (Arévalo, 2000).

El sistema **dependiente del hablante** es desarrollado para funcionar exclusivamente para un solo hablante, no teniendo una escalabilidad tan flexible. Por lo general estos sistemas cuentan con una alta precisión.

El sistema **independiente del hablante** es desarrollado para funcionar con cualquier hablante de un determinado idioma. La complejidad de desarrollo es muy alta y la precisión es menor que los dependientes.

El sistema **adaptable al hablante** es desarrollado para adecuar su funcionamiento a las características de nuevos hablantes.

Cualquiera de los tres sistemas puede funcionar aplicándose de una manera continua o discreta. Un sistema de **reconocimiento discreto** funciona con palabras simples, necesitando de una pausa entre cada palabra. Haciendo estas pausas es fácil identificar los puntos de finalización de cada palabra. Un sistema de **reconocimiento continuo** funciona sobre un lenguaje en el que las palabras están conectadas (no separadas por pausas). Este reconocimiento es más difícil de tratar debido a la variedad de efectos, dificultad de encontrar el inicio y el final de las palabras, otro problema es la coarticulación, la generación de cada fonema se ve afectada por la generación de los fonemas adyacentes, y

de modo parecido, el comienzo y final de las palabras se ven afectados por las palabras que las preceden y suceden. En la figura 20 se muestra la arquitectura básica de un sistema de reconocimiento de voz (Seltzer, 2003).

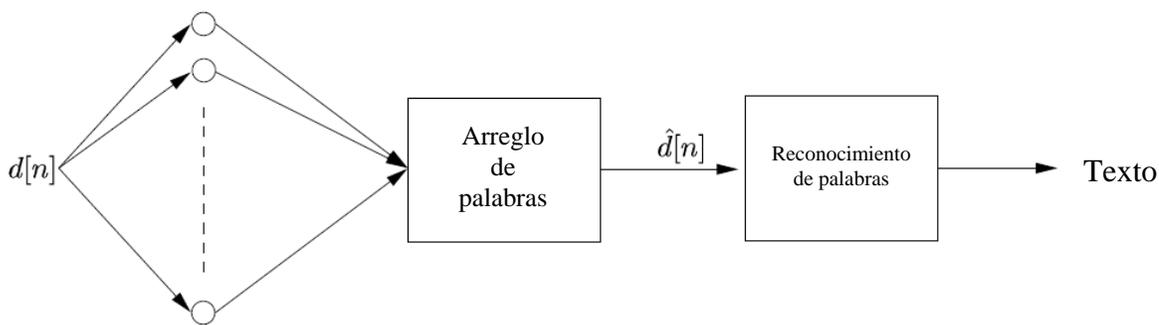


Figura 20 Arquitectura de un sistema de reconocimiento de voz

### **III.4 Módulo de detección de actividades**

Las actividades de la vida diaria (AVD) son el pilar fundamental de la funcionalidad de las personas. Se definen por ser tareas ocupacionales que una persona realiza diariamente para prepararse y desarrollar el rol que le es propio. Las actividades de la vida diaria tienen distinta complejidad y se dividen en básicas, instrumentales y avanzadas (Casanova, 1998).

#### **Actividades básicas de la vida diaria (ABVD)**

Son el conjunto de actividades primarias de la persona, encaminadas a su auto cuidado y movilidad, que le dan autonomía e independencia elementales y le permiten vivir sin precisar ayuda continua de otros; entre ellas se incluyen actividades como: comer, controlar esfínteres, usar el baño, vestirse, bañarse, trasladarse, caminar, etc.

**Actividades instrumentales de la vida diaria (AIVD)**

Son las que permiten a la persona adaptarse a su entorno y mantener una independencia en la comunidad; incluyen actividades como: hacer llamadas por teléfono, comprar, cocinar, cuidar la casa, utilizar transportes, manejar la medicación, manejar el dinero, etc.

**Actividades avanzadas de la vida diaria (AAVD)**

Constituyen un conjunto de actividades especialmente complejas y elaboradas de control del medio físico y del entorno social que permiten al individuo desarrollar un papel social, mantener una buena salud mental y disfrutar de una excelente calidad de vida. Entre ellas encontramos: ejercicios intensos, trabajos (jardinería, bricolaje), aficiones, viajes, participación social, deportes, etc.

La valoración del estado funcional de una persona puede realizarse mediante el uso de varias escalas. Este tipo de valoración puede ofrecer índices de predicción de la mortalidad, el riesgo de institucionalización y el deterioro físico. En este trabajo nos interesan personas que puedan realizar actividades básicas de la vida diaria. Entre las principales escalas de ABVD destacan: índice de Barthel e índice de Katz.

El índice de Barthel (ver figura 21) es el fruto de un equipo interdisciplinario y recomendado por la British Geriatrics Society; en la actualidad es la escala más utilizada internacionalmente. Evalúa 10 tipos de ABVD, su rango es de 0 a 100 y clasifica a los pacientes en cuatro grupos de dependencia. En este trabajo nos interesa el grupo de personas con un puntaje de entre 45-55 (dependencia moderada).

<b>COMER</b>	
10	INDEPENDIENTE. Capaz de comer por sí solo y en un tiempo razonable. La comida puede ser cocinada y servida por otra persona.
5	NECESITA AYUDA para cortar la carne o el pan, pero es capaz de comer solo
0	DEPENDIENTE. Necesita ser alimentado por otra persona
<b>VESTIRSE</b>	
10	INDEPENDIENTE. Capaz de quitarse y ponerse la ropa sin ayuda
5	NECESITA AYUDA. Realiza sólo al menos la mitad de las tareas en un tiempo razonable
0	DEPENDIENTE.
<b>ARREGLARSE</b>	
5	INDEPENDIENTE. Realiza todas las actividades personales sin ninguna ayuda. Los complementos necesarios pueden ser provistos por otra persona.
0	DEPENDIENTE. Necesita alguna ayuda
<b>DEPOSICIÓN</b>	
10	CONTINENTE. Ningún episodio de incontinencia.
5	ACCIDENTE OCASIONAL. Menos de una vez por semana o necesita ayuda, enemas o supositorios
0	INCONTINENTE.
<b>MICCIÓN</b> (Valorar la situación en la semana anterior)	
10	CONTINENTE. Ningún episodio de incontinencia. Capaz de usar cualquier dispositivo por sí sólo.
5	ACCIDENTE OCASIONAL. Máximo un episodio de incontinencia en 24 horas. Incluye necesitar ayuda en la manipulación de sondas u otros dispositivos.
0	INCONTINENTE.
<b>IR AL RETRETE</b>	
10	INDEPENDIENTE. Entra y sale sólo y no necesita ayuda de otra persona
5	NECESITA AYUDA. Capaz de manejarse con una pequeña ayuda, es capaz de usar el cuarto de baño. Puede limpiarse sólo.
0	DEPENDIENTE. Incapaz de manejarse sin una ayuda mayor.
<b>TRASLADO SILLÓN – CAMA</b> (Transferencias)	
15	INDEPENDIENTE. No precisa ayuda
10	MÍNIMA AYUDA. Incluye supervisión verbal o pequeña ayuda física
5	GRAN AYUDA. Precisa la ayuda de una persona fuerte o entrenada.
0	DEPENDIENTE. Necesita grúa o alzamiento por dos personas. Incapaz de permanecer sentado.
<b>DEAMBULACIÓN</b>	
15	INDEPENDIENTE. Puede andar 50 metros, o su equivalente en casa, sin ayuda o supervisión de otra persona. Puede usar ayudas instrumentales (bastón, muleta), excepto andador. Si utiliza prótesis, debe ser capaz de ponérsela y quitársela sólo.
10	NECESITA AYUDA. Necesita supervisión o una pequeña ayuda física por otra persona. Precisa utilizar andador.
5	INDEPENDIENTE (en silla de ruedas) en 50 metros. No requiere ayuda ni supervisión.
0	DEPENDIENTE
<b>SUBIR Y BAJAR ESCALERAS</b>	
10	INDEPENDIENTE. Capaz de subir y bajar un piso sin la ayuda ni supervisión de otra persona
5	NECESITA AYUDA
0	DEPENDIENTE. Incapaz de salvar escalones.
<b>&lt;20: dependencia total; 20-40: dependencia grave; 45-55: moderada; 60 o más: leve</b>	

**Figura 21 Escala de valoración de Barthel.**

Las actividades que estamos interesados en identificar son 5:

1. De sentado a parado.
2. De parado a sentado.
3. Caminado.
4. Sentado a acostado.
5. Acostado a sentado.

Este modulo está compuesto por tres componentes: acelerómetro, traductor y algoritmo de identificación de actividad. El acelerómetro está integrado en una placa de sensado para los motes MicaZ. Se utiliza el sistema operativo Lite OS embebido en el mote para ejecutar el programa de lecturas de la aceleración. Estas lecturas se envían a la estación base en donde se encuentra en ejecución el traductor, desarrollado en JAVA cuya función es recibir los datos, darles el formato e ingresarlas al algoritmo de identificación de actividad.

El procedimiento utilizado para identificar cada una de las cinco actividades es el siguiente:

1. El traductor siempre está en constante recepción de los datos provenientes del acelerómetro.
2. Se está a la espera de un cambio en la aceleración por arriba de los 530  $\mu\text{g}$ .
3. Una vez que se ha identificado un cambio en la aceleración se captura una serie de datos de 5 segundos duración.
4. La serie es introducida al algoritmo Dynamic Time Warpping para el reconocimiento de la actividad.
5. Si se ha identificado alguna actividad, esta se despliega en la interfaz de visualización utilizada para monitorear a los adultos mayores. Si se ha detectado que la actividad se desea monitorear con video, se manda una señal de activación al modulo de video.

### ***III.5 Módulo de detección de comportamiento***

Los humanos son influenciados principalmente por dos tipos de ritmos (ver figura 22), el social y el biológico (Virone, 2008). Los ritmos sociales son definidos como aquellos que son dependientes de la vida diaria (trabajo, comunidad, hora de dormir, tiempo de ocio, etc.) y son altamente influenciados por el entorno social de la persona (cultura, educación, condiciones ambientales, niveles de estrés, etc.). Los ritmos biológicos son internos y gobiernan las funciones fisiológicas, como el metabolismo y la actividad celular.

Considerando estos dos ritmos, se ha demostrado que los humanos siguen un ritmo que fluctúa en promedio cada 24 horas, llamado ritmo circadiano.



**Figura 22 Relación entre comportamiento y ritmos sociales y biológicos (Virone, 2008).**

Considerando tanto los ritmos sociales como biológicos y la manera en que cómo se relacionan con el comportamiento, en este trabajo nos interesa identificar los siguientes patrones de comportamiento:

1. Comportamientos repetitivos (hora de levantarse de la cama, meterse a bañar, tiempo de permanencia en zonas de la casa, hora de abrir cortinas, etc.).
2. Comportamientos fuera de lo normal (levantarse de la cama en horas anormales, aumento en la frecuencia de ir al baño, permanecer demasiado tiempo en lugares, etc.).

### ***III.6 Módulo de detección de caídas***

Debido a los diversos deterioros físicos que ocurren durante la tercera edad, los adultos mayores tienen una mayor probabilidad de sufrir algún accidente dentro de su propio hogar. De acuerdo a las estadísticas (Graham, 1992), en tres de cuatro accidentes fatales ocurridos dentro de los hogares están involucradas personas que sobrepasan los 65 años de edad. Por

otra parte, el 95% de los accidentes fatales son atribuidos a quemaduras, heridas, envenenamientos y caídas.

La mayoría de las caídas ocurren debido a ineficiencias *de los objetos* en el ambiente *que los rodea*, ya que los hogares de personas de la tercera edad están acondicionados de una forma inadecuada. Esto incluye pisos con poca tracción, muebles susceptibles a caídas y falta de reparaciones. Así que aproximadamente una tercera parte de los adultos mayores de 65 años experimentan al menos una caída anualmente, incluso esta tendencia se incrementa a más de un 50% en mayores de 80 años, trayendo consigo graves problemas de salud e incluso de movilidad (Graham, 1992).

*En el grupo de accidentes generados por caídas*, un 30-50% de ellas resultan en traumatismos de tejidos blandos y un 20-30% tienen riesgo de muerte. Sin embargo, aquellos adultos mayores que sufren de caídas con traumatismos moderados a severos, tendrán como resultado una limitada movilidad afectando de esta manera su independencia en sus actividades diarias. Otro problema que ocasionan las caídas en personas de la tercera edad son las fracturas. Se estima que 1 a 2% de todas las caídas causan fracturas de cadera, que representan la mayoría de la morbilidad y mortalidad relacionadas con ellas. De igual forma se estima que de 3 a 5% de las caídas, traen consigo otro tipo de fracturas, tales como mano, tobillo, fémur (Graham, 1992).

Una característica importante a considerar en caídas es la fuerza, esto ayuda a determinar si una persona se fracturará o no. Caídas desde su propia altura o de lugares más altos tienen en promedio de 400 a 500 J de energía potencial, la cual es suficiente para romper un hueso. Otro punto importante es el ángulo en que una persona cae. Así, caer de lado o de frente es más riesgoso que caer de espaldas.

Los factores de riesgo (Kannus, 2005) que ayudan o propician caídas de adultos mayores son los siguientes:

1. Disminución de velocidad del control postural.
2. Pobre organización de la marcha.
3. Disminución de la fuerza y la flexibilidad.
4. Disminución en la capacidad sensorial.
5. Disminución en la velocidad de las respuestas motoras.
6. Disminución de la agudeza visual, campos visuales, visión de profundidad y de objetos en movimiento.
7. Debilidad de las flexiones de los pies.
8. Dificultad en estabilizar la cabeza en respuesta a cambios posturales.

Considerando las estadísticas y los factores de caídas, se observó que es una necesidad monitorear posibles caídas y ofrecer la asistencia necesaria dentro del AAL propuesto en este trabajo de tesis, convirtiéndose en el objetivo de este módulo.

### ***III.7 Módulo de monitoreo de video***

El cuidado del comportamiento de personas de la tercera edad, usualmente requiere la presencia de uno o más cuidadores, lo cual a veces se ve impedido principalmente porque tienen más de una función a su cargo. Es por ello que diferentes equipamientos tecnológicos, como los sistemas de video, pueden utilizarse para monitorear actividades o comportamientos específicos y almacenarlas para su posterior análisis (Truong, 2001).

Como cualquier otro sistema de captura (sonido, escritura, entre otros) el de video está compuesto por cuatro fases (Riisgaard, 2005) que permiten completar el flujo captura-acceso:

1. **Inicial:** En esta fase se hace la preparación de las cámaras (configuración, instalación física, conexión).
2. **Captura:** Se inicia la captura de acuerdo a los comportamientos o acciones que se desean almacenar establecidos previamente en la configuración de la fase inicial.

3. **Clasificación:** En esta fase se realiza un análisis y clasificación de los videos capturados y son almacenados de acuerdo a criterios específicos de clasificación.
4. **Acceso:** Esta última fase a través de una interfaz, permite acceder al conjunto de videos previamente capturados y clasificados.

El enfoque principal de este módulo dentro del AAL propuesto en este trabajo de tesis, consiste en capturar actividades y/o eventos que los cuidadores consideren importantes los cuales son establecidos en la configuración del AAL. Las actividades y/o eventos que pueden ser capturados pueden incluir uno o más de los siguientes:

1. Comportamientos fuera de lo normal (levantarse de la cama en horas anormales, permanecer demasiado tiempo en lugares, entro otros.).
2. Sentarse en ciertos lugares de la casa.
3. Caminado en áreas consideradas poco seguras.
4. Acostarse.
5. Posibles caídas.
6. Caídas.

Este modulo se activa a petición de los módulos de detección de actividades y caídas. Cuando se detecta alguna actividad que se desea monitorear o caída, este modulo se encarga de leer el registro de la ultima ubicación en donde se identifico que pasaba el adulto mayor. Considerando esta información se activa la cámara que cubre la zona en donde ocurrió el evento y se inicia la captura y almacenamiento en la base de datos de 10 frames a partir del momento en que se hizo la petición de grabar. Estos frames inmediatamente están disponibles en el portal del AAL para ser visualizadas por los cuidadores o personas interesadas.

### **III.8 Módulo de asistencia**

Se ha incrementado el uso de la Tecnología de Asistencia (AT) para compensar el impacto que tienen las discapacidades en la vida de las personas resultado de accidentes, enfermedades y el envejecimiento (Boger, 2005).

El envejecimiento es uno de los problemas que aborda este trabajo, como se mencionó previamente en el capítulo I. Es por esto que la asistencia que se ofrece está orientada a dar soporte a actividades que tienen un alto grado de complejidad. Las actividades seleccionadas debido a que se consideran básicas y de uso cotidiano dentro del hogar son las siguientes:

- Abrir y cerrar puertas y persianas mediante el uso de comandos de voz.
- Encender y apagar luces mediante el uso de comandos de voz y detección de personas.
- Emitir alarmas visuales y sonoras, así como enviar mensajes de texto a celulares de cuidadores cuando ocurran alguna de las siguientes situaciones:
  - Ha ocurrido una posible caída.
  - Comportamientos fuera de lo normal (levantarse de la cama en horas anormales, permanecer demasiado tiempo en lugares, entre otros.).
  - Se ha detectado que una persona está caminado en áreas consideradas poco seguras.

### **III.9 Resumen**

En el presente capítulo se hizo un análisis de cada uno de los módulos que conforman la arquitectura propuesta en este trabajo de tesis. Como se pudo observar, cada módulo realiza una tarea específica para cubrir cada una de las necesidades que requiera el usuario final. Sin embargo cada módulo tiene una salida que es requerida por otros módulos para realizar su función. Esta interacción es la que une a todos los módulos y forman el Ambiente Asistido, haciendo que esto sea una de las mayores aportaciones del presente trabajo.

## Capítulo IV

### Diseño e implementación del prototipo

---

#### ***IV.1 Introducción***

En este capítulo se presentan el análisis y proceso seguido para el diseño e implementación del prototipo del ambiente AAL propuesto. Esta implementación nos permitió conocer la factibilidad e inconvenientes prácticos arrojando información que permitió mejorar el diseño. La representación y especificación de este diseño se realizó utilizando la notación del lenguaje unificado de modelado (UML) (Fowler, 2003).

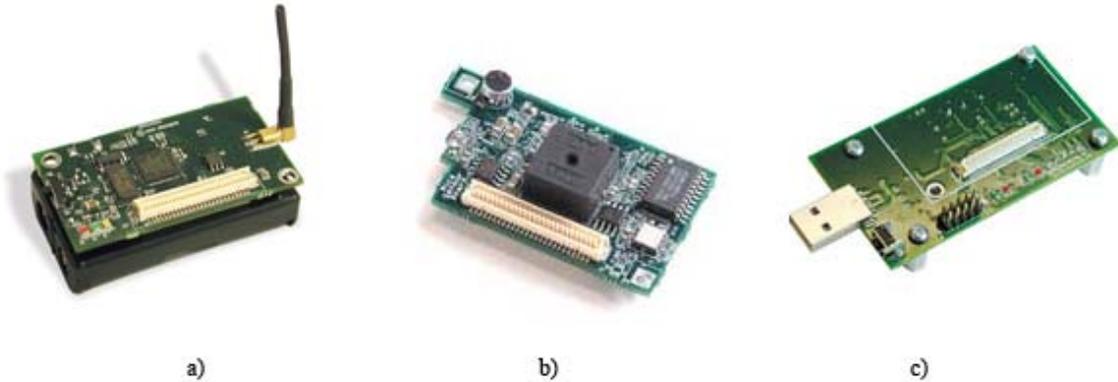
#### ***IV.2 Hardware utilizado***

En este prototipo se utilizaron una serie de componentes para implementar cada uno de los módulos descritos en el capítulo III. A continuación se describen brevemente los componentes:

Nodos **MICAz** (ver figura 23a), estos motes son para redes de sensores de bajo consumo de energía. Poseen varias características: un transmisor/receptor RF compatible con el estándar IEEE 802.15.4/ZigBee; transmisión de 2.4 a 2.4835 GHz; tasa de transferencia de 250 Kbps; compatible con TinyOS 1.1.7 o superior e incluye un conector para placas de sensado, gateways y software de la compañía Crossbow. La energía la obtiene a través de dos baterías AA con un rendimiento de un año en estado de espera o una semana si su uso es constante.

Placas de sensado **MTS310CA** (ver figura 23b) que incluyen varios sensores: un acelerómetro, un magnetómetro, luminosidad, temperatura, un micrófono y una bocina.

Una placa programadora **MIB520CB** (ver figura 23c) que permite la comunicación de una red de sensores con una PC a través de su interfaz USB. Cualquier nodo MICAz puede funcionar como estación base cuando se encuentra instalada en la placa.



**Figura 23 a) Mote MICAz b) Placa de sensado MTS310CA c) Placa programadora MIB520CB.**

Una cámara Web Logitech USB, provee el medio de captura de imágenes mediante el framework JMF.

Se utilizaron 3 puntos de acceso Cisco Aironet 1100 Series (ver figura 24), que cumplen con el estándar IEEE 802.11b/g, 2.4 GHz, tasas de transferencia hasta 54 Mbps, el rango de transmisión alcanza los 125 mts@1Mbps en interiores y los 213mts@1Mbps en exteriores.



**Figura 24 Puntos de acceso Cisco Aironet 1100 Series**

### IV.3 Diseño e implementación del prototipo

En esta sección se describen los detalles de diseño e implementación del sistema, el cual está basado en la arquitectura presentada en el capítulo III. En la figura 25 se muestra el diagrama global de emplazamiento y de componentes del sistema en el que puede ver la interacción entre módulos.

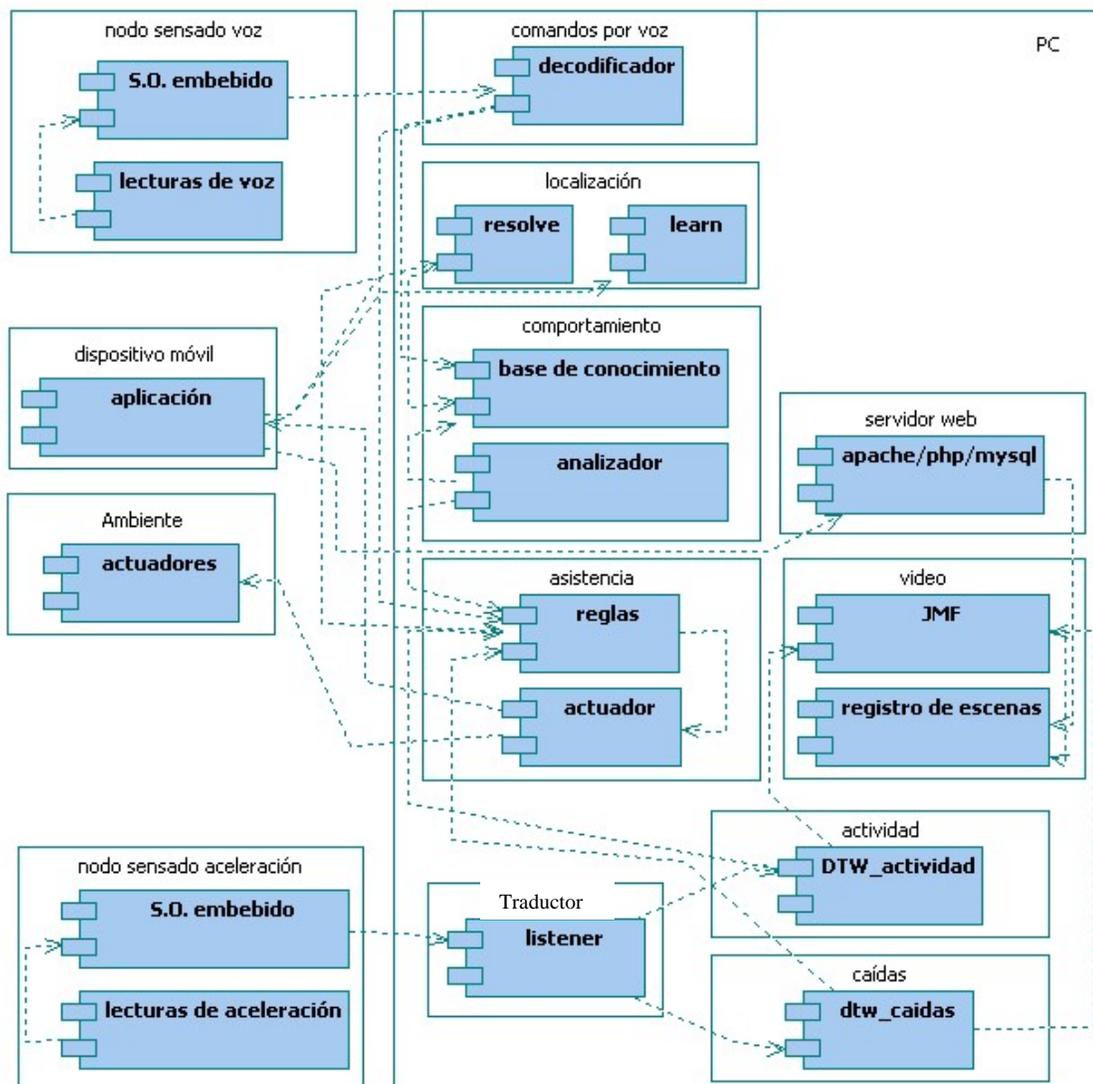


Figura 25. Diagrama de emplazamiento y de componentes de la arquitectura.

La arquitectura se compone de lo siguiente:

**S.O. embebido:** En el nodo de sensado se encuentra instalado el S.O. embebido LiteOS sobre el cual se ejecutan los programas que leen los sensores.

**Lecturas de voz:** Se encarga de leer los comandos de voz entrantes y prepararlos para ser enviados a la estación base.

**Decodificador:** Es el modulo encargado de decodificar los comandos de voz y transformarlos en acciones específicas.

**Resolve:** Se encarga de estimar la localización de un usuario dependiendo de las lecturas de la intensidad de la señal WiFi.

**Learn:** Se encarga de realizar el entrenamiento de la red neuronal tomando en cuenta las lecturas de intensidades de la señal WiFi.

**Base de conocimiento:** Almacena los registros históricos de comportamiento para ser analizados posteriormente.

**Analizador:** Se encarga de analizar los registros históricos de comportamiento y compararlos con la actividad actual que está siendo desarrollada por el usuario e identificar posibles desviaciones.

**Listener:** Es el traductor encargado de recibir y dar formato a los datos enviados por el acelerómetro para pasarlos al algoritmo de detección de actividad o caídas.

**DTW\_actividad:** Módulo encargado de detectar la actividad de un usuario de acuerdo a los datos reportados por el acelerómetro utilizando el algoritmo Dinamic Time Warpping.

**dtw\_caídas:** Se encarga de detectar caídas utilizando información proveniente del acelerómetro.

**Registro de escenas:** Se encarga de almacenar en la base de datos los frames provenientes del sistema de video.

### IV.3.1 Módulo de localización

El sistema de localización WiFi está basado en la medición de la intensidad de la señal proveniente de distintos puntos de acceso cercanos a un nodo, para calcular su posición.

Este módulo se desarrolló basándose en el trabajo de (Castro, 2005). Sin embargo este trabajo solo se hace uso del servicio sin entrar en muchos detalles de su implementación. El funcionamiento de este servicio está constituido de 3 fases:

1. Medición de intensidades de señales WiFi.
2. Entrenamiento de las redes neuronales.
3. Utilización del servicio.

Durante la fase de medición de intensidad de señales WiFi, se realizaron 7500 lecturas en 150 distintas ubicaciones de forma aleatoria dentro del edificio del Departamento de Ciencias de la Computación (ver figura 26). Cabe señalar que en cada ubicación que se realizaba la medición, se enviaban 50 lecturas consecutivas del mismo punto. El software cliente que se utilizó e implementó para realizar las mediciones está desarrollado en JAVA, ejecutándose sobre una laptop HP DV4000 y consiste en un mapa (del DCC) sobre el cual se puede posicionar el indicador del mouse de acuerdo a la ubicación donde se esté físicamente. Esta acción envía al servidor para su almacenamiento un conjunto de datos compuesto por 4 elementos: dirección MAC del punto de acceso, intensidad de la señal, latitud y longitud.



**Figura 26 Lecturas realizadas en el DCC durante la fase de medición de intensidad de señal**

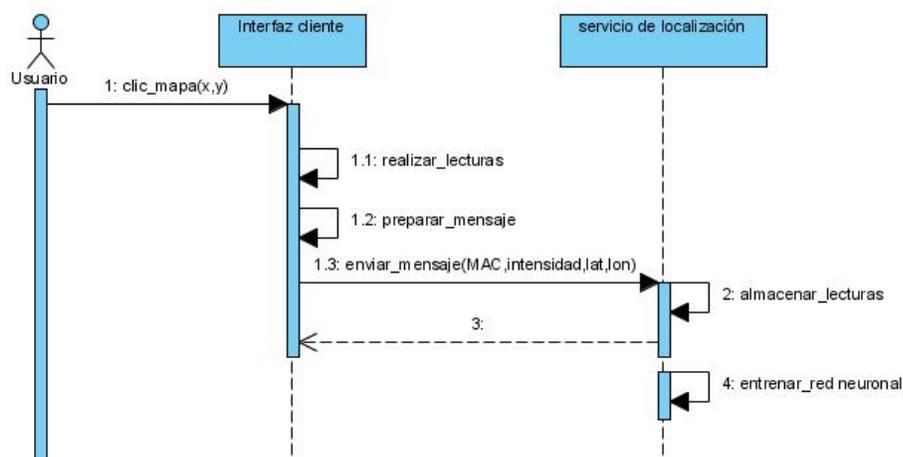
La red neuronal de tipo retro propagación fue implementada utilizando el Framework Joone, el cual permite implementar redes neuronales en Java. La arquitectura la red neuronal es (8,6,2), siendo esta configuración la que arrojó mejores resultados considerando tiempo de entrenamiento y error. En el apéndice C se muestra la documentación de la implementación de la red neuronal. En la fase de entrenamiento la red

neuronal fue entrenada utilizando las lecturas obtenidas en la fase anterior. Con el objetivo de hacer más rápido el entrenamiento y la predicción, el conjunto de lecturas obtenidas se dividió en 5 clústers mediante el algoritmo K-means<sup>1</sup> (ver figura 27). Una vez terminado el entrenamiento el servicio queda listo para su utilización.



**Figura 27 Segmentación de las lecturas en 5 cluster, utilizando K-means**

Para la utilización del servicio, se diseñó una aplicación cliente que envía lecturas de los puntos de acceso al servidor cada 10 segundos, en donde se realiza la estimación de la ubicación basándose en los resultados que se obtuvieron durante la fase de entrenamiento. En la figura 28 se presenta el diagrama de secuencia del comportamiento de enviar lecturas de las señales de los puntos de acceso y su posterior entrenamiento.



**Figura 28 Diagrama de secuencia de enviar lecturas y entrenamiento**

<sup>1</sup> Es un método muy conocido para asignar la pertenencia a un clúster que consiste en minimizar las diferencias entre los elementos de un clúster al tiempo que se maximiza la distancia entre los clústeres.

En la figura 29 se muestra el diagrama de secuencia del comportamiento de utilización del servicio de estimación de la ubicación de un usuario.

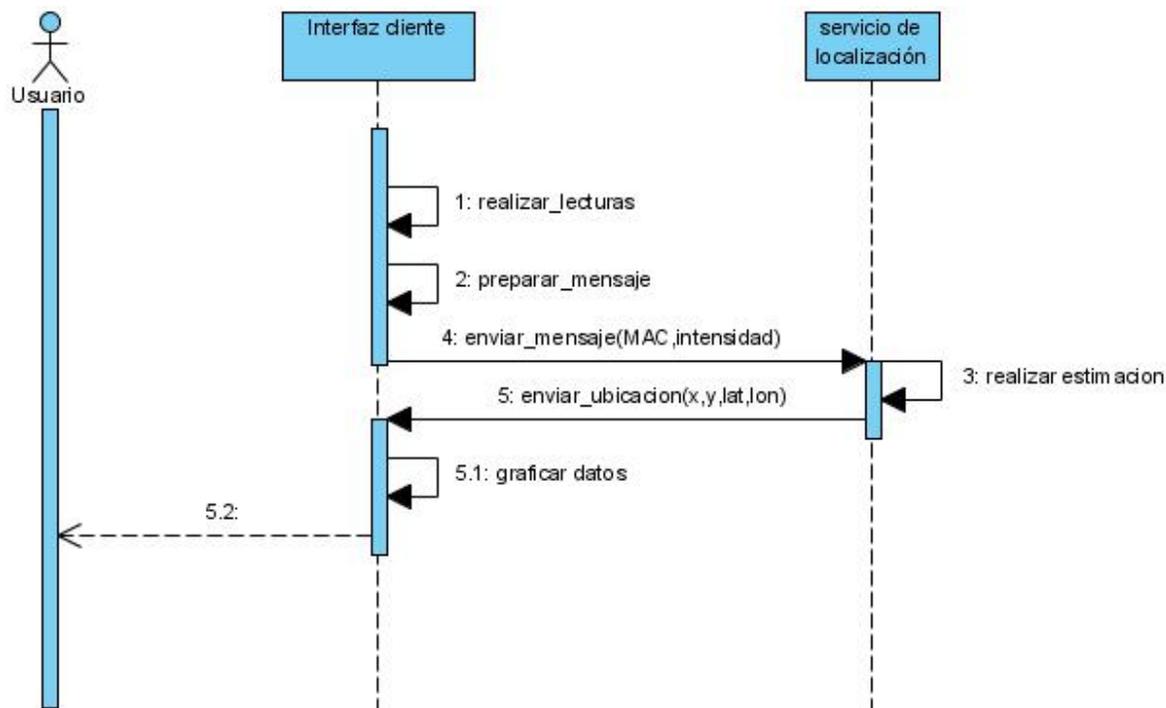


Figura 29 Diagrama de secuencia de estimar ubicación

### IV.3.2 Módulo de comandos de voz

Este módulo provee una opción de interacción natural entre el usuario y el AAL. Está conformado por dos partes, captura de voz y transformación de la voz en comandos. La captura de la voz puede hacerse de dos formas: utilizando un micrófono conectado a la estación base y/o utilizando los micrófonos de la red de sensores. El uso del micrófono es la forma más sencilla al estar directamente conectado a la estación base. En cambio la red de sensores captura el sonido y determina si está dentro del rango de la voz humana, si es así la envía a la estación base (Palafox, 2009).

En la estación base se instaló Sphinx-II, el cual es un sistema de reconocimiento del habla desarrollado en Carnegie Mellon University. Cuenta con un diccionario de palabras más

utilizadas dentro del idioma inglés. Se implementó un script en lenguaje PERL, utilizando el API que proporciona Sphinx-II, en donde se especificaron los comandos a utilizar y la acción que deben realizar al ser identificados. Debido a que no se cuenta con relays para abrir puertas, ventanas, cajones, etc., se decidió utilizar un reproductor para tocar música y probar el reconocimiento. Para controlar el reproductor se utilizaron 4 comandos: play, next, pause y stop. En la figura 30 se muestra el diagrama de secuencia del sistema de decodificación de comandos.

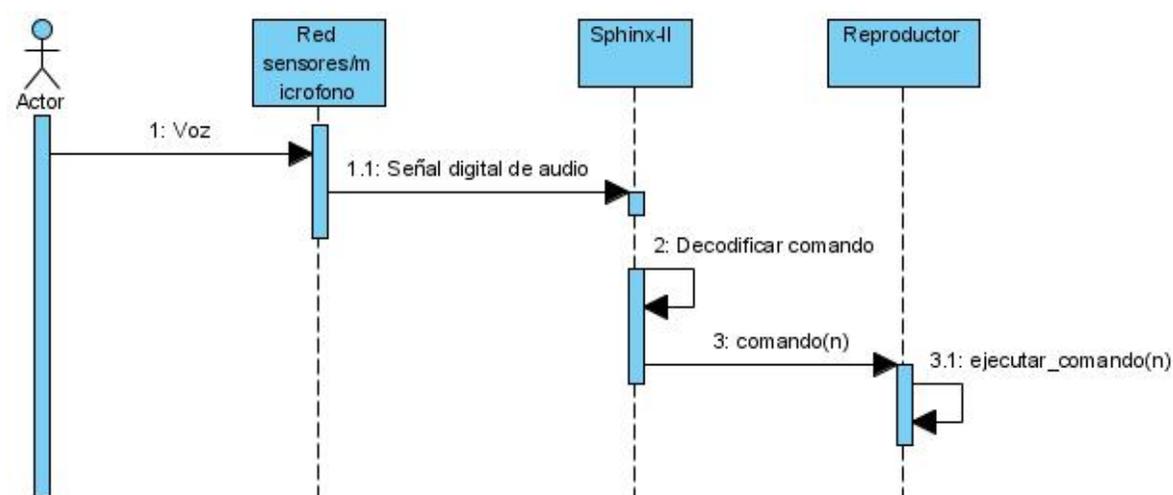


Figura 30 Diagrama de secuencia de decodificación de comandos

### IV.3.3 Módulo de detección de actividades

Este módulo ofrece la posibilidad de inferir ciertas actividades básicas de la vida diaria mediante el uso de la información proporcionada por un sensor de aceleración. El acelerómetro utilizado viene integrado en la placa de sensado **MTS310CA**, el cual se monta sobre un mote MICAz. LiteOS es un sistema operativo parecido a UNIX de código abierto, diseñado para redes inalámbricas de sensores (Cao, 2008), que se utilizó para programar los motes y poder acceder a la lectura del sensor de aceleración. Una vez implementado e instalado el programa de lectura de aceleración en el mote, se procedió a planear en que parte del cuerpo se pondría el sensor. La primera opción que se probó fue sujetarlo en un brazo, sin embargo debido a la cantidad de movimiento que se presenta en

esa parte (braceo, balanceo del tronco superior) se observó que no era factible colocarlo en la parte superior del cuerpo. La segunda opción y definitiva fue a la altura de la cintura, ahí se pudo comprobar que se detectaban movimientos propios de cambios de postura como pasar de estar sentado a parado, todo esto sin mucho ruido. Para sujetar el sensor al cuerpo se utilizó una funda con clip como se muestra en la figura 31.

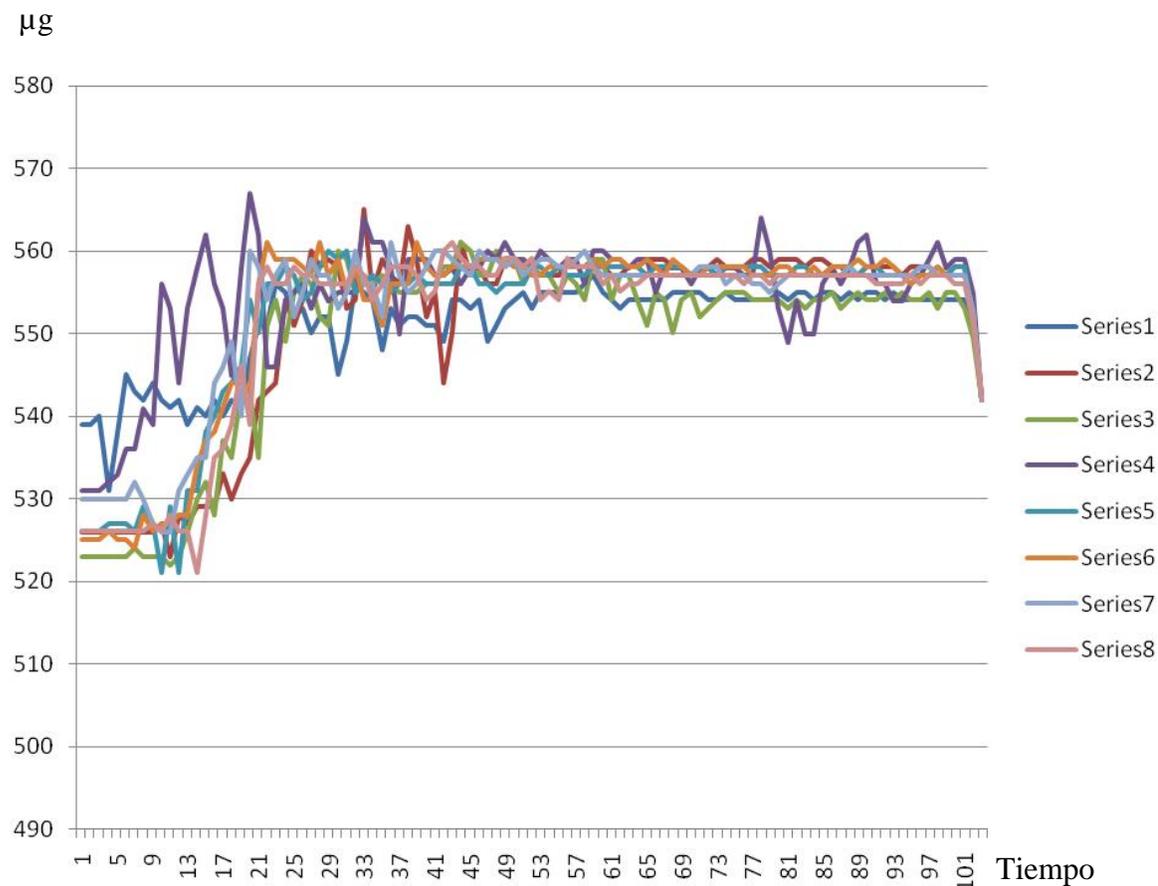


Figura 31 Acelerómetro utilizado para adquirir los datos.

El software principal de este módulo se desarrolló en JAVA, no obstante había problemas de comunicación de datos entre LiteOS y JAVA. Por este motivo fue necesaria la implementación de un *traductor* que permitiera traducir y transferir datos desde LiteOS hacia JAVA. Este traductor está en ejecución constante siempre en la espera de recepción de datos provenientes de LiteOS.

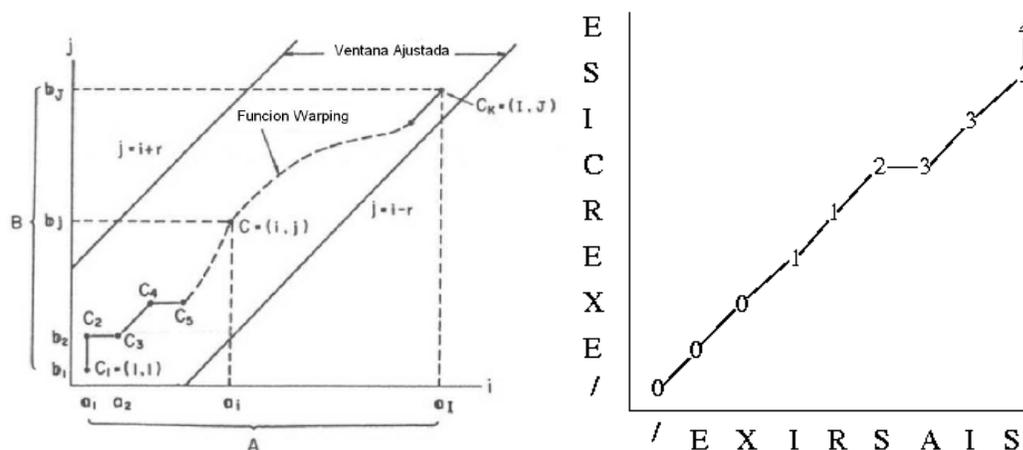
Superado este obstáculo, se procedió a realizar pruebas preliminares para ver el comportamiento del acelerómetro. Para esto se eligieron *cinco actividades básicas* seleccionadas como resultado de las tres visitas de observaciones realizadas a la “Casa Hogar del anciano, las actividades seleccionadas fueron: pasar de sentado a parado, de parado a sentado, de sentado a acostado, de acostado a sentado y por último caminar. En

cada una de las actividades se observó un patrón común en los datos como se muestra por ejemplo en la figura 32.



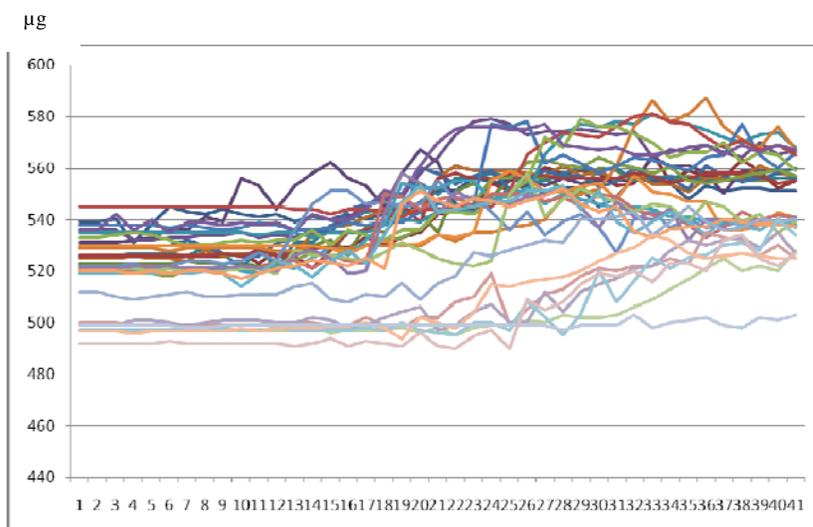
**Figura 32 Patrón de comportamiento de la actividad sentado a parado**

Una vez observado el patrón de cada actividad, se buscaron varias opciones que ayudaran a identificar la actividad a partir de los datos del acelerómetro. De entre una gama de algoritmos se decidió utilizar DTW (Dynamic Time Warping), debido a que este algoritmo permite medir la similitud entre dos series las cuales pueden variar en tiempo y velocidad (Keogh, 2001). En la figura 33 se muestra el funcionamiento de DTW. Utiliza tres criterios: la sustitución o concordancia (/) suma una unidad, la inserción (|) suma una unidad y el borrado (-) suma una unidad. De esta forma se van comparando punto a punto dos series aplicando los tres criterios anteriores. Al final la suma más pequeña indica la similitud entre dos series.



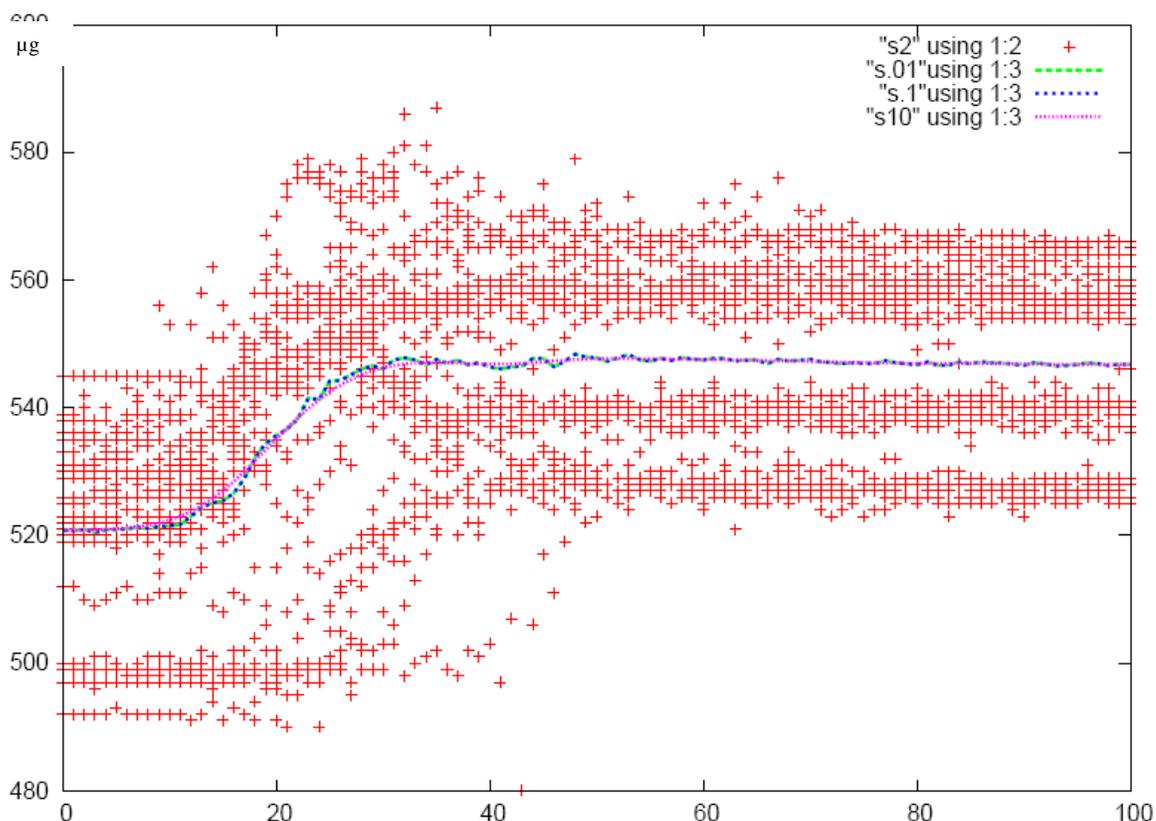
**Figura 33** Funcionamiento del algoritmo **Dinamic Time Warping**

El requerimiento principal para aplicar DTW es que se deben definir series base que sirvan de comparación entre ella y futuras series. Por ello, para sacar las series base o predictores y considerando que las series medidas tienen un mismo patrón, se promediaron las series obtenidas de una misma actividad. Para verificar y demostrar que el promedio era adecuado como predictor, se utilizó una técnica de suavizado por núcleos en la estimación no paramétrica de curvas llamada Suavizador Kernel con Núcleo Gaussiano (Hastie, 2008). En la figura 34 se muestran 32 gráficas pertenecientes a la actividad de pasar de sentado a parado.



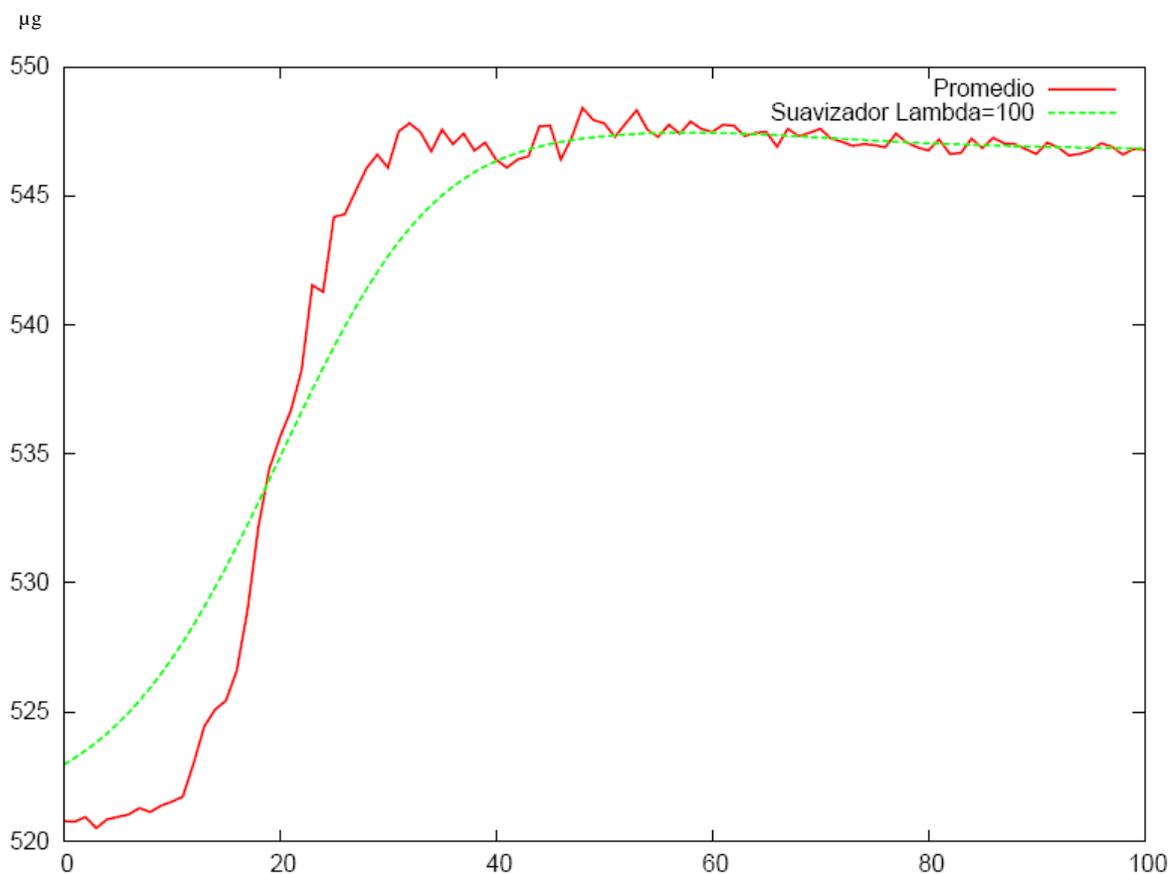
**Figura 34** Gráficas de la actividad de sentado a parado.

Al aplicar el suavizador al conjunto de datos mostrado en la figura 31 se obtuvieron tres curvas, las cuales se pueden ver en la figura 35 y que caracterizan a la actividad y las cuales pasan por el centro de los datos. El parámetro (Lambda) de suavizado utilizado por el Suavizador Kernel con Núcleo Gaussiano es la varianza.



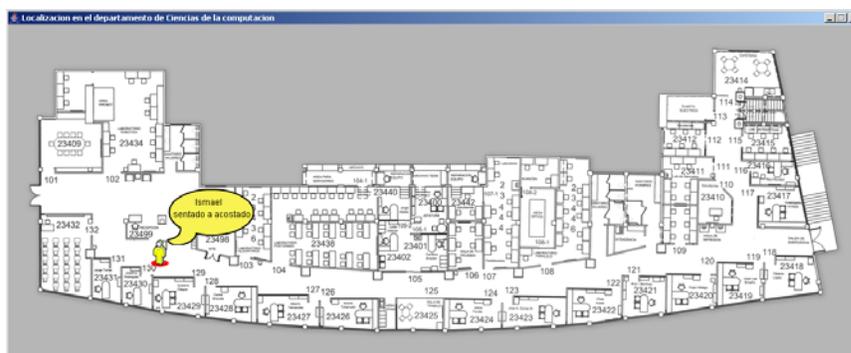
**Figura 35** Aplicación del Suavizador Kernel con Núcleo Gaussiano a los datos de la actividad sentado a parado.

Utilizando una de las curvas obtenidas en el suavizado, se procedió a compararla con la curva del promedio de los datos obtenidos en la actividad de sentado a parado (ver figura 31). En la figura 36 se puede observar la similitud entre el promedio y la curva suavizada (Lambda = 100) de los datos. Con esta observación se demuestra que la utilización del promedio es adecuado como predictor. El procedimiento anterior se realizó con cada una de las actividades. En total se calcularon 5 series promedio (predictores) base, una para cada actividad.



**Figura 36** Similitud entre el promedio y la curva suavizada de los datos utilizando un Lambda = 100.

Este módulo interactúa con el de localización para determinar en qué lugar del edificio el usuario está realizando las actividades detectadas. En la figura 37 se muestra la interfaz en donde se despliega la ubicación del usuario y la actividad realizada.



**Figura 37** Interfaz que combina localización y detección de actividad

En la figura 38 se muestra el diagrama de secuencia para la detección de actividad.

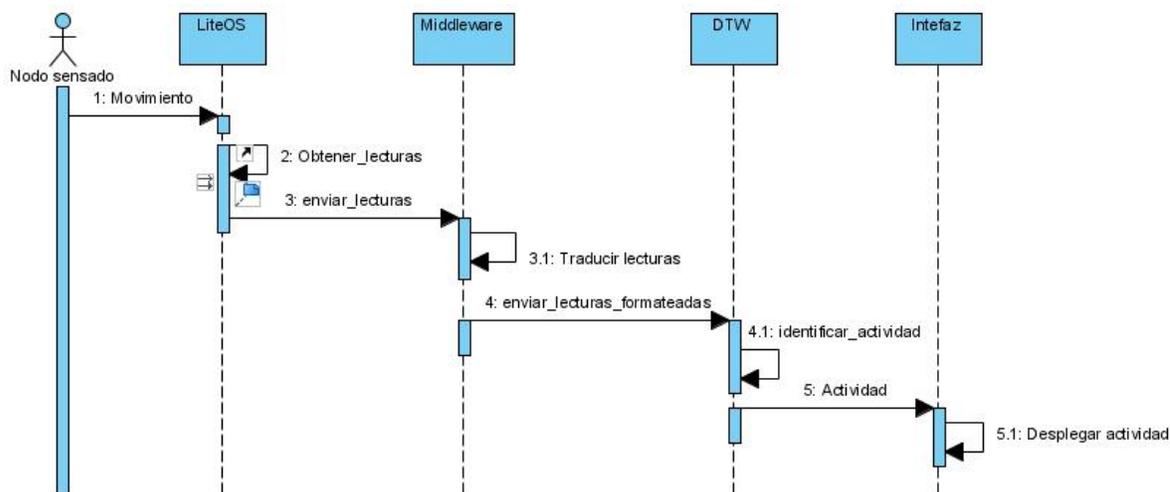


Figura 38 Diagrama de secuencia para la detección de actividad

#### IV.3.4 Módulo de detección de caídas

Este módulo provee la función de detección de caídas basándose en el mismo principio que el módulo de detección de actividades (ver sección IV.3.3). El cambio principal es que en este módulo se detecta una sola actividad donde existe un cambio brusco en la aceleración en un corto lapso de tiempo. Como se puede ver en la figura 36, las caídas medidas en este trabajo siguen un patrón común. En la figura 39 se puede ver el diagrama de secuencia para este modulo.

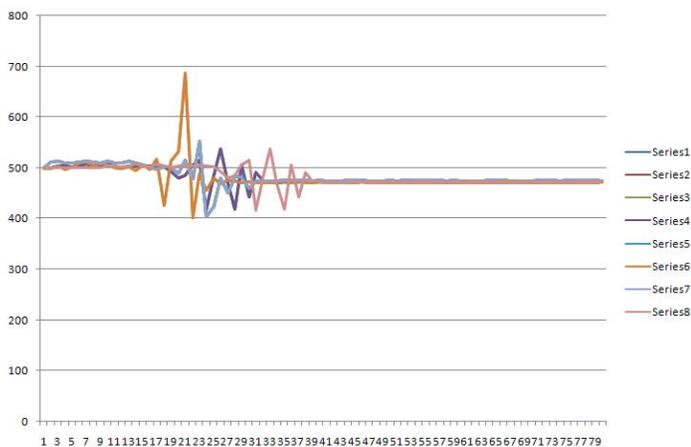


Figura 39 Patrón de comportamiento de caídas.

Este módulo está integrado por tres componentes: acelerómetro, traductor y algoritmo de detección e caídas. El acelerómetro se porta a la altura de la cintura y está enviando constantemente las lecturas hasta la estación base. Estas lecturas son procesadas por el traductor cuya función es recibir los datos, darles el formato e ingresarlas al algoritmo de detección de caídas.

El procedimiento utilizado para identificar una caída es el siguiente:

1. El traductor siempre está en constante recepción de los datos provenientes del acelerómetro.
2. Se está a la espera de un cambio en la aceleración por arriba de los 530  $\mu\text{g}$ .
3. Una vez que se ha identificado un cambio en la aceleración se captura una serie de datos de 5 segundos duración.
4. La serie es introducida al algoritmo Dynamic Time Warpping para la identificación de la caída.

Si se ha detectado la caída, se envía dos señales: una al modulo de asistencia para que emita una señal acústica y visual, y otra señal al modulo de video para que inicie a tomar frames de la caída de acuerdo al lugar donde ocurrió.

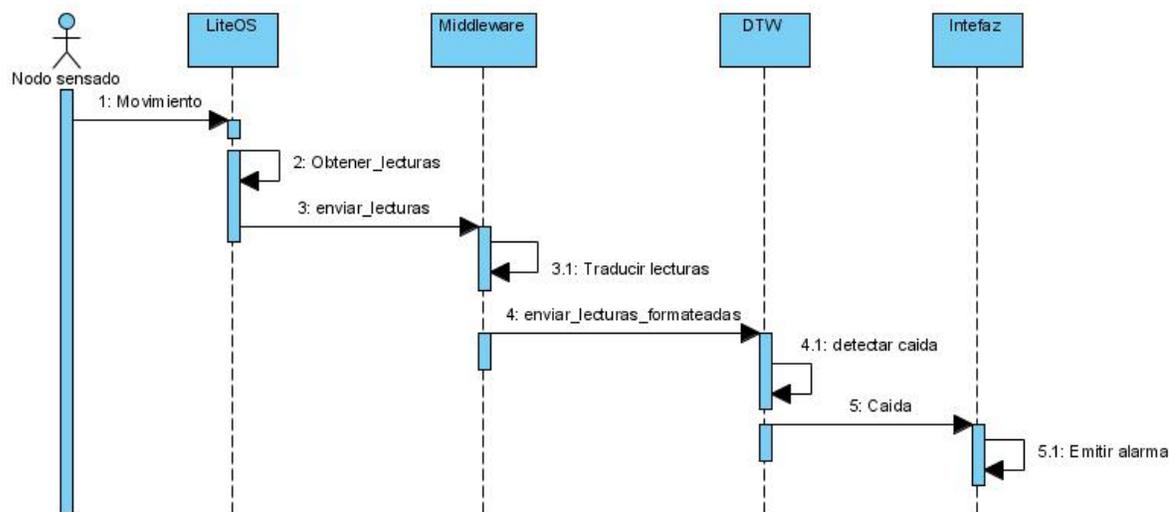


Figura 40 Diagrama de secuencia para la detección de actividad

### IV.3.5 Módulo de monitoreo de video

Este sistema de video sirve como herramienta auxiliar para otros módulos que requieran apoyo al momento de tener que tomar una decisión. Principalmente sirve al módulo de detección de actividades y detección de caídas en donde el cuidador pueda hacer uso del video para poder tomar la acción necesaria de asistencia.

El desarrollo de este módulo se realizó utilizando Java Media Framework que permite la manipulación de video y una cámara Web Logitech USB. El funcionamiento del módulo inicia a petición de alguno de los módulos (detección de actividad y/o caídas). Al recibir la petición, el sistema se activa considerando la ubicación en donde ocurre el evento a monitorear (ver figura 41). Pueden ocurrir dos situaciones, la primera es que la petición de activación provenga del módulo de detección de actividades, en este caso se inicia una captura de 10 frames cada vez que se detecta movimiento. La segunda situación consiste en que la petición provenga del módulo de detección de caídas, en donde la captura de escenas es continúa por un lapso de 30 segundos a partir de la petición. En ambas situaciones, las escenas capturadas son almacenadas en una base de datos para que puedan ser analizadas en el momento que sea oportuno para el cuidador o la persona interesada en el suceso.

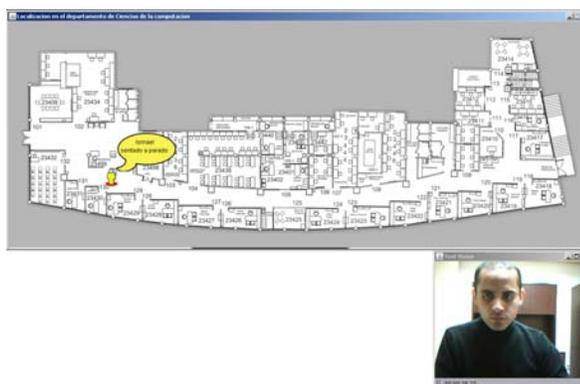


Figura 41 Interfaz que combina localización, detección de actividad/caídas y video

Para poder visualizar los eventos registrados por el sistema de video, se desarrolló un portal Web (ver figura 42) con la finalidad que se pudiera acceder a las escenas desde cualquier parte, no necesariamente dentro del lugar donde se lleva a cabo el monitoreo. Este portal está desarrollando utilizando el servidor Apache, PHP 5 y MySQL. De todas las escenas

que se registran son listadas las últimas 10 que han ocurrido, pudiendo buscar por fecha o los más visualizados dentro de la opción Caídas. El portal también es capaz de reportar estadísticas (ver figura 43), específicamente la cantidad de caídas por día, mes o año, lugar en donde ocurren más caídas, así como el número de caídas por usuario y en qué zona.

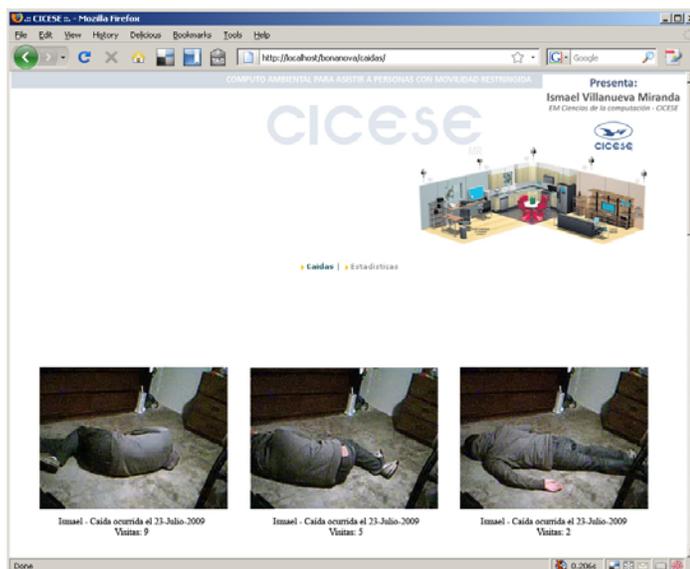


Figura 42 Interfaz del portal Web de visualización de escenas.

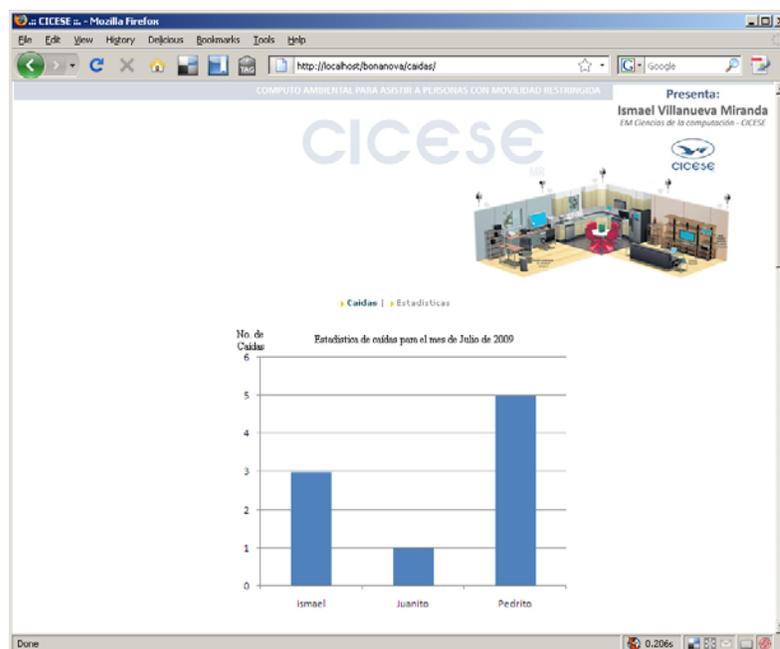


Figura 43 Estadísticas de caídas mensuales por usuario

En la figura 44 se muestra el diagrama de secuencia para la captura de escenas.

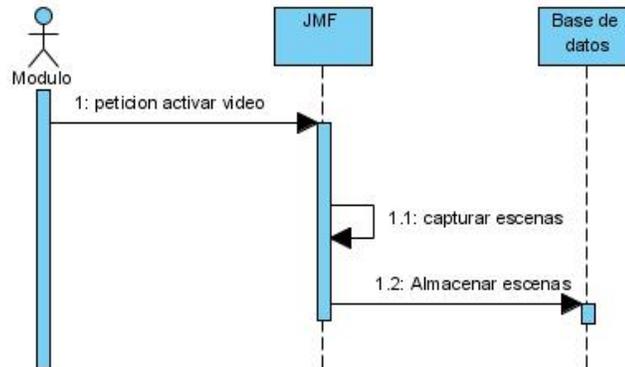


Figura 44 Diagrama de secuencia para la captura de escenas

#### ***IV.4 Resumen***

En este capítulo se presentó a detalle el desarrollo de cada uno de los módulos que se implementaron y que conforman el AAL. Cada módulo tiene una función específica y esencial para que en conjunto puedan ofrecer los servicios requeridos en diversos escenarios que se presenten. La localización juega un rol importante debido a que otros módulos se basan en la localización para poder ofrecer los servicios dependiendo de dónde estén ocurriendo los eventos. La detección de actividades y caídas son servicios básicos dentro del AAL ya que a partir de la actividad de un usuario se pueden llegar a conocer sus patrones de comportamiento y poder predecir sucesos que permitan ofrecer servicios de asistencia sin que se requiera participación consiente de los usuarios.

## Capítulo V

### Evaluación y resultados

---

#### ***V.1 Introducción***

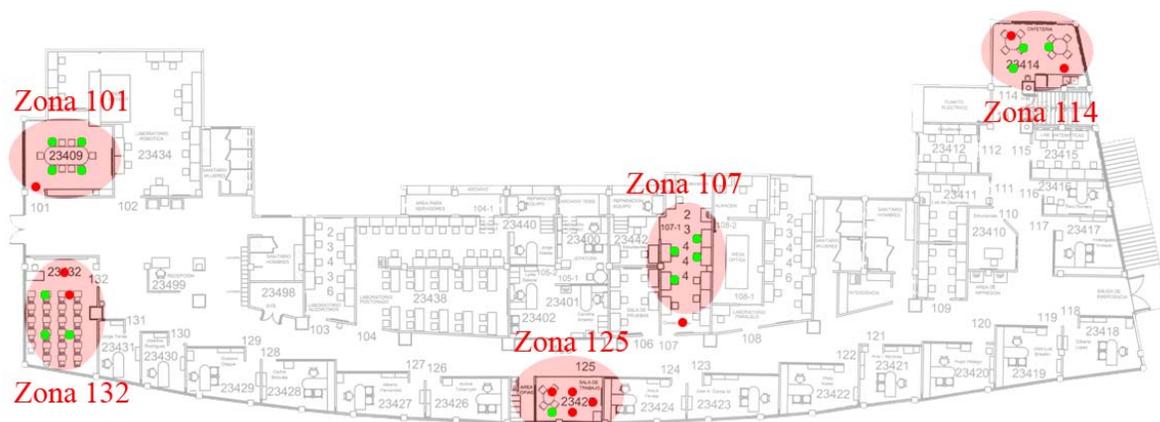
En este capítulo se analizará la evaluación realizada al prototipo AAL. Primero se presenta una evaluación funcional de los módulos implementados con el objetivo de conocer su comportamiento y eficacia. Después se presenta una evaluación cualitativa del prototipo AAL, el objetivo es obtener información relevante sobre la percepción de utilidad y de facilidad de uso por parte de los cuidadores de la Casa Hogar del Anciano. Como primer paso se describirá la metodología utilizada para después mostrar el proceso de diseño y realización del experimento y terminar con la presentación de los resultados obtenidos en la evaluación.

#### ***V.2 Evaluación funcional.***

En esta sección se presenta la evaluación funcional de los módulos implementados en este trabajo. El objetivo es conocer el comportamiento y la eficacia de estos módulos e identificar mejoras que puedan realizarse.

##### **V.2.1 Módulo de localización**

Para probar la eficacia del sistema de localización se diseñó un experimento que consistió en estimar cinco posiciones, esto debido a que se previó que eran suficientes para la estimación de la localización de un individuo dentro de cada una de las cinco zonas que se eligieron dentro del Departamento de Ciencias de la Computación (ver figura 45).



**Figura 45 Definición de zonas donde se realizó el experimento.**

El criterio que se utilizó para seleccionar las zonas fue elegir ubicaciones que contemplaran todo el edificio y de esta forma poder detectar la mayor cantidad de puntos de acceso posibles. Es importante mencionar que adicionalmente a los tres puntos de acceso con que cuenta el edificio, se detectan otros provenientes de los alrededores.

Las zonas fueron nombradas como: Zona 101, Zona 132, Zona 125, Zona 107 y Zona 114. El dispositivo para realizar el experimento fue una Laptop HP Pavillion DV4000 a una altura aproximada de 1 metro sobre el suelo. Como se mencionó, lo que se intenta conocer con este experimento es la eficiencia al estimar la zona en donde se encuentra un usuario, no siendo necesario para nuestro objetivo conocer en que parte específica dentro de la zona se encuentra. Con conocer únicamente la zona donde se encuentra un usuario el AAL puede:

- Saber el lugar donde se desarrolla alguna de las actividades (módulo de detección de actividades).
- Saber donde ha ocurrido una caída.
- Indicarle al módulo de video cual cámara activar.

El promedio de la precisión del sistema 3.88 metros. Se utilizó la siguiente nomenclatura para representar los datos obtenidos:  $E_n$  es el numero de la estimación, 1 si el sistema

estimó correctamente dentro de la zona y 0 si la estimación fue afuera, en la tabla IV se observan los resultados obtenidos.

**Tabla IV Resultados del experimento de estimación de ubicación**

	E1	E2	E3	E4	E5	No. de estimaciones correctas	% de estimaciones correctas
<b>Zona 101</b>	1	1	1	1	0	4	80%
<b>Zona 132</b>	0	0	1	1	1	3	60%
<b>Zona 125</b>	0	0	0	0	1	1	20%
<b>Zona 107</b>	1	1	1	1	0	4	80%
<b>Zona 114</b>	0	1	1	0	1	3	60%
						% global de estimaciones correctas	60%

El resultado del experimento no fue muy bueno, ya que se lograron estimar el 60% de las ubicaciones. Sin embargo al ser una aproximación de la ubicación, este resultado nos puede dar una idea de en donde pudo haber ocurrido algún evento que se deseara monitorear.

Durante el desarrollo del experimento se observaron casos muy particulares en donde el sistema tuvo dificultades para realizar la estimación. La primera es cuando se intenta realizar una estimación estando muy cerca de las paredes. En estos casos el sistema regresaba una ubicación fuera de la zona sobre la que se encontraba el usuario, por ejemplo en el cuarto de al lado o pasillo. Esto se puede observar en los resultados obtenidos en las zonas 101,132, 107 y 114 en las que las estimaciones cercas de las paredes fueron erróneas.

El segundo caso en donde el sistema tiene dificultades en realizar la estimación es en zonas más pequeñas que la precisión del sistema. Como se puede ver en la tabla IX, en la zona 125 solo se obtuvo una estimación correcta debido a que el ancho del espacio no sobrepasa los 3 metros. Para corregir y aumentar la precisión es necesario realizar una mayor cantidad de mediciones, aproximadamente 640 puntos que en total serian 32,000 muestras en contraste con los 150 puntos y 7,500 lecturas que se hicieron en este trabajo. Esta solución se propone como consecuencia de analizar los resultados que se obtuvieron en este

experimento concluyendo que ha mayor cantidad de lecturas la precisión aumenta. Esto también se sustenta observado los resultados presentados por (Castro, 2005) en donde señala que se tomaron 32,300 muestras en total y se obtuvieron resultados satisfactorios.

## V.2.2 Módulo de comandos de voz

Se diseñó y realizó un experimento para conocer el comportamiento general del sistema de comandos de voz. Se puso a prueba con nueve personas para reconocer cuatro comandos: play, next, pause y stop. A cada participante previamente se le demostró la pronunciación de cada comando y posteriormente se le pidió introducirlo, si era correctamente reconocido por el sistema se asignaba 1 y 0 si fallaba. Se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla V.

**Tabla V Resultados del experimento de reconocimiento de comandos**

	play	next	pause	stop	No. de comandos reconocidos	% de comandos reconocidos
<b>Usuario 1</b>	1	1	0	1	3	75%
<b>Usuario 2</b>	1	1	0	1	3	75%
<b>Usuario 3</b>	1	0	1	0	2	50%
<b>Usuario 4</b>	1	1	0	1	3	75%
<b>Usuario 5</b>	1	1	1	1	4	100%
<b>Usuario 6</b>	1	1	0	1	3	75%
<b>Usuario 7</b>	1	1	1	1	4	100%
<b>Usuario 8</b>	1	0	0	1	2	50%
<b>Usuario 9</b>	1	1	1	1	4	100%
					<b>% de reconocimiento global</b>	<b>77.77%</b>

El sistema fue capaz de reconocer el 77.7% de los comandos introducidos por los usuarios. Se observó una condición en la cual el sistema tuvo deficiencias en reconocer los comandos. Esta es que el diccionario utilizado por el decodificador Sphinx II está en idioma inglés y la mayoría de los participantes tienen poca práctica en la pronunciación; sin embargo, esto se puede solucionar creando un diccionario en español. El tiempo promedio de decodificación es de 4 segundos por comando.

### V.2.3 Módulo para detección de actividades

Para conocer el comportamiento del módulo de detección de actividades, se diseñó e implementó un experimento en el que participaron 4 individuos. A cada uno de ellos se les fijó el acelerómetro a la altura de la cadera y realizaron 8 veces cada una de las 5 actividades. Estas actividades fueron: Pasar de sentado a parado, de parado a sentado, de sentado a acostado, de acostado a sentado y caminar. En total se obtuvieron 32 muestras para cada actividad. En la tabla VI se muestran las características de los participantes.

**Tabla VI Característica de participantes.**

No. Participante	Edad	Género
1	23	Masculino
2	25	Masculino
3	25	Femenino
4	28	Masculino

La nomenclatura para el experimento es:  $p_1 \dots p_n$  el número de pruebas realizada por cada participante, 1 cuando el sistema reconocía la actividad y 0 cuando no se identificaba. Los resultados arrojados por el experimento se muestran en la tabla VII.

**Tabla VII.- Resultados del experimento para comprobar el comportamiento en la detección de actividades.**

	Participante 1								Participante 2								Participante 3								Participante 4								$\Sigma$	%
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8		
Sentado a parado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	24	75
Parado a sentado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	23	71.875
Sentado a acostado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	24	75
Acostado a sentado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	25	78.125
Caminando	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	24	75

De acuerdo a los resultados de la tabla VII, se puede observar que el sistema fue capaz de detectar entre un 71 a 78% de las actividades desarrolladas en el experimento.

Como se puede observar en la tabla VI los participantes en este experimento son personas jóvenes y no adultos mayores, esto fue realizado así, porque se deseaba probar el concepto que se propone. Sin embargo como trabajo futuro se planea trasladar este experimento a la Casa Hogar el Anciano para obtener resultados más acordes a los adultos mayores.

Posterior a la realización del experimento, se quiso investigar cómo mejorar la efectividad del sistema. En mediciones que se realizaron nuevamente, se detectó una situación que ocasionaba problemas de reconocimiento. Este problema es que si el acelerómetro se ponía por debajo de la cintura, la serie que reportaba el acelerómetro estaba desfasada en el eje Y respecto a las series que se reportaban cuando el acelerómetro estaba a la altura de la cintura. Este problema se detectó al observar que el *participante 4* traía el pantalón un poco caído por debajo de lo normal, por esto fue el participante con menor porcentaje de detecciones correctas como se observa en la tabla XII. Para solucionarlo, es necesario asegurarse que el acelerómetro esté aproximadamente a la altura de la cintura.

#### V.2.4 Módulo para detección de caídas

Para conocer el comportamiento del módulo de detección de caídas, se diseñó e implementó un experimento en el que participaron 3 individuos. Cada uno de ellos realizó 8 caídas, en total se obtuvieron 24 muestras de caídas. En la tabla VIII se muestran las características de los participantes.

**Tabla VIII Características de los participantes.**

No. Participante	Edad	Género
1	23	Masculino
2	25	Masculino
3	28	Masculino

La nomenclatura para el experimento son:  $p_1 \dots p_n$  el número de pruebas realizada por cada participante, 1 cuando el sistema reconocía la caída y 0 cuando no se identificaba. Los resultados arrojados por el experimento se muestran en la tabla IX.

	Participante 1								Participante 2								Participante 3									
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	Σ	%
Caída	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	21	87.5

**Tabla IX.- Resultados del experimento para comprobar el comportamiento en la detección de caídas.**

De acuerdo a los resultados de la tabla IX, se puede ver que se detectaron exitosamente 87.5% de las 24 caídas en total que se midieron. Este numero de detección de caídas nos indica que cumple la función para la que fue diseñado este modulo, trayendo con esto una buena confiabilidad en la detección.

### **V.2.5 Módulo de video**

La capacidad y eficiencia del funcionamiento del módulo de video está directamente relacionada con el módulo de detección de actividad y caídas. En la configuración se especifica qué actividades se desean monitorear y almacenar, siendo la detección de caídas la actividad monitoreada por default. De esta forma, en los experimentos realizados y descritos en las secciones V.8.3 y V.8.4 se configuró para que el sistema monitoreara las 5 actividades y caídas. Se observó que el sistema *fue capaz de activarse el 100%* de las veces que los módulos de actividad y caídas lo solicitaron, cumpliendo el objetivo para el cual fue diseñado.

## **V.3 Evaluación cualitativa**

El objetivo de la evaluación cualitativa es obtener información relevante sobre la percepción de utilidad y de facilidad de uso por parte de los cuidadores de la Casa Hogar del Anciano.

### **V.3.1 Metodología de evaluación**

Para la realización de esta evaluación se utilizó la metodología propuesta por (Córdova, 2006), que está constituida por cinco etapas:

1. **Definición del problema:** Consiste en identificar y delimitar el problema a evaluar en el experimento.
2. **Diseño del experimento:** Consiste en elegir la forma en la cual se realizará el experimento, definir preguntas de investigación, factores a evaluar, configuración del área de experimentación, tamaño de la muestra, identificar las actividades a realizar, escenarios y finalmente aplicar cuestionario de salida.
3. **Experimento de evaluación:** Se efectúan las actividades del experimento siguiendo las reglas de la etapa dos.
4. **Análisis de resultados:** Se analizan comentarios vertidos en las entrevistas que al final se cotejan con los resultados obtenidos mediante la aplicación del cuestionario de salida.
5. **Conclusiones:** Se hacen afirmaciones considerando los resultados obtenidos en el experimento.

### **V.3.2 Definición del problema**

En este trabajo se ha propuesto y desarrollado un prototipo de AAL que permite el monitoreo y asistencia de personas con problemas motrices, incluidos los adultos mayores. Conocer el impacto y beneficio del uso de esta tecnología en el cuidado del adulto mayor y sus múltiples facetas es de gran importancia, por lo tanto es necesario conocer y obtener información significativa relacionada a la percepción de utilidad y facilidad de uso.

### **V.3.3 Diseño del experimento**

En esta sección se explica detalladamente el proceso de diseño del experimento de evaluación.

### **V.3.3.1 Preguntas de investigación**

Las preguntas de investigación que se pretenden responder mediante la aplicación de esta evaluación son las siguientes:

- *¿Cuál es la percepción de los cuidadores relacionada a la facilidad de uso de un AAL orientado al cuidado y asistencia de personas con problemas motrices y de la tercera edad?*
- *¿Cuál es la percepción de los cuidadores relacionada a la utilidad de un AAL orientado al cuidado y asistencia de personas con problemas motrices y de la tercera edad?*
- *¿Cuál sería la intención de uso de un AAL por parte de los cuidadores?*

### **V.3.4 Factores a evaluar**

Los factores que se pretenden evaluar son:

- Percepción de utilidad de un AAL orientado al cuidado y asistencia de adultos mayores.
- Percepción de facilidad de uso de un AAL orientado al cuidado y asistencia de adultos mayores.
- Intención de uso de un AAL orientado al cuidado y asistencia de adultos mayores.

### **V.3.5 Configuración de dispositivos y área de experimentación**

La evaluación se llevó a cabo un jueves en el área de fisioterapia de la Casa Hogar del Anciano, por ser el único día y lugar donde se reúnen la mayoría de los cuidadores que ayudan a ejercitar a los adultos mayores. El objetivo fue hacer una presentación a la 7 de los cuidadores, mediante la utilización de un cañón de proyección.

### V.3.6 Descripción de los participantes

Para realizar esta evaluación se contó con la ayuda del personal de cuidado de la Casa Hogar del Anciano ubicada en Ensenada, B.C. La participación total fue de siete personas, 6 cuidadores y la responsable de la Casa Hogar, con un intervalo de edades que van desde los 25 hasta los 71 años. El 43% de los participantes tiene una experiencia de más de 10 años en el cuidado de adultos mayores. En la tabla X se muestra a detalle las características de los participantes.

**Tabla X.- Características de los participantes en la evaluación**

No. Participante	Edad	Género	Años de experiencia
1	62	Femenino	Más de 10
2	25	Femenino	0 a 2
3	71	Femenino	0 a 2
4	66	Femenino	0 a 2
5	65	Femenino	Más de 10
6	54	Femenino	0 a 2
7	52	Femenino	Más de 10

### V.3.7 Secuencia de las actividades

Las actividades que se llevaron a cabo para esta evaluación consistieron en tres etapas: introducción y descripción del proceso de evaluación, demostración de los escenarios de aplicación y finalmente la aplicación del cuestionario de salida y entrevistas.

### **V.3.8 Escenarios de evaluación**

A continuación se describirán los escenarios mostrados en el video que se proyectó a los cuidadores con el objetivo de explicar el uso del AAL.

#### **V.3.8.1 Escenario 1, funcionamiento de detección de actividades**

Juanito inicia el día *levantándose de su cama* y queda sentado al borde por un instante mientras busca sus pantuflas. Después hace un recorrido *caminando* dentro de su cuarto y decide salir hasta la *estancia* en donde se encuentra la televisión para finalmente *sentarse* sobre el sillón.

#### **V.3.8.2 Escenario 2, detección de comportamiento**

Se muestra el funcionamiento de la detección de comportamiento sobre un usuario que actúa de forma anómala a lo habitual. En este caso se trata de una persona que regularmente despierta y se *levanta* aproximadamente a las 6:30 am pero el día de hoy pasa de las 10 am y el sistema ha detectado que aún sigue *acostado* en su cama con *poco movimiento*. Se presenta una *alarma visual en la pantalla del cuidador* y una alarma sonora de aviso sobre lo extraño del comportamiento.

#### **V.3.8.3 Escenario 3, detección de caídas**

Se muestra el funcionamiento de la detección de caídas sobre un usuario. Inicialmente se encuentra *sentado* en la *estancia* observando televisión y decide *levantarse* y *caminar* hacia otra *habitación*. Durante el trayecto tropieza y sufre la *caída*. El sistema *detecta* el accidente y despliega una señal tanto *visual* como *auditiva*.

#### **V.3.8.4 Escenario 4, detección de aproximación a zonas de peligro**

Se muestra la detección de ubicación sobre zonas de peligro y/o no permitidas para usuarios en específico. Un usuario se encuentra en el *patio principal* *sentado* sobre una banca. Se *pone de pie* e inicia un recorrido *caminando* hacia una *zona de riesgo* donde se

encuentra una *escalera*. El sistema *detecta* la intrusión en la zona y despliega una *alarma* visual en la pantalla del cuidador y auditiva avisando el posible riesgo de un accidente.

### V.3.9 Entrevista y cuestionario de evaluación

Se elaboró un protocolo de entrevista compuesto por un cuestionario de salida basado en el modelo TAM (Technology Acceptance Model) (Davis, 1989) el cual establece que la percepción de utilidad y la facilidad de uso son puntos claves para determinar la intención que tiene el usuario para utilizar la tecnología propuesta.



Figura 46 Modelo TAM

Las preguntas aplicadas en el cuestionario de salida fueron medidas utilizando la escala likert de 5 niveles (Likert, 1932) como se muestra en la tabla XI.

Tabla XI.- Escala de preferencias

1	2	3	4	5
Completamente de acuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

### V.3.10 Experimento de evaluación

En este apartado se describirá en que consistió la sesión de evaluación que se realizaron con los participantes.

### **V.3.10.1 Aplicación del experimento**

El experimento con los cuidadores se llevó a cabo de forma grupal con los 7 participantes, presentando el video con los escenarios descritos anteriormente. Posterior a la explicación de los escenarios, hubo una sesión corta de preguntas y respuestas que permitió un intercambio de información y aclaración de dudas que surgieron al ver los escenarios, para finalmente aplicar el cuestionario de salida.

### **V.3.10.2 Limitantes del experimento**

Al inicio se había contemplado hacer pruebas en la Casa Hogar del Anciano, dejando que los cuidadores y los encargados de la Casa Hogar interactuaran directamente con el AAL. Pero la razón por la cual no se llevó a cabo fue por las características del trabajo del ambiente de los cuidadores al no tener demasiado tiempo para dedicarle al sistema. Esto principalmente a que son pocos cuidadores y muchos adultos mayores a los cuales deben cuidar y dar atención.

### **V.3.11 Análisis de resultados**

En esta sección se presenta el análisis de los resultados obtenidos en la aplicación del experimento. Estos resultados están basados en los cuestionarios de salida y en las entrevistas otorgadas por los cuidadores, los cuales reflejan la opinión relacionada al AAL.

#### **V.3.11.1 Evaluación de la percepción de utilidad y facilidad de uso**

Con base al cuestionario de evaluación de salida (Apéndice B), se obtuvo información relacionada con la percepción de uso y facilidad de un grupo de 7 participantes. El cuestionario está compuesto por 15 preguntas, 8 para evaluar la facilidad de uso y 7 para percepción de utilidad. En la tabla XII se muestran los resultados obtenidos en el cuestionario.

Pregunta	Promedio	Desviación estándar
1. La información presentada en el video es suficiente para permitirme entender como apoyaría esta tecnología, en mi trabajo cotidiano dentro de la casa hogar.	4.6	0.55
2. Considero posible y sencilla la integración de esta tecnología en mi entorno de trabajo dentro de la casa hogar	4.2	0.84
3. Al interactuar con el sistema me es claro y entendible.	4.2	0.84
4. La utilización de este sistema me es difícil.	3.0	1
5. Me es confusa la interacción con el sistema.	2.2	0.45
6. Es fácil llegar a ser hábil en el uso del sistema.	3.8	0.84
7. Es fácil interpretar la información que presenta el sistema.	4.0	0.71
8. Considero que el sistema es fácil de usarse	4.4	0.55
9. Considero de utilidad contar con un registro de actividades de las personas de la tercera edad a mi cargo	4.4	0.55
10. Considero de utilidad contar con un portal (pagina web) en donde se pueda observar cómo ocurrieron las caídas	4.6	0.55
11. Encuentro útil este sistema en mi ambiente de trabajo.	4.4	0.89
12. Asumiendo que estuviera implementado el sistema, lo utilizaría.	4.4	0.55
13. Considero que esta tecnología podría brindarme apoyo para monitorear el	4.4	0.55

estado de las personas de la tercera edad a mi cargo.		
14. El llevar un registro de actividades de las personas de la tercera edad no me es de utilidad.	1.4	0.55
15. Considero que el uso de este sistema no resultaría útil en el apoyo a mis actividades diarias de trabajo.	1.4	0.55

**Tabla XII.-** Tabla de resultados de percepción de facilidad de uso y percepción de utilidad.

De acuerdo al resultado arrojado por la pregunta número dos, que tiene un promedio de 4.6 con una desviación estándar de 0.55, los encuestados consideran que la integración de este sistema en su entorno es posible y sencilla. En entrevista, la encargada de la Casa Hogar opinó:

*“es muy favorable yo ya quiero que comience lo antes posible que me digan cuando estamos sumándonos ahí para poder nosotros buscar recursos que vengan a sumarse a estas medidas de protección a nuestros abuelitos”.*

Lo que nos demuestra el interés y la apertura para este tipo de tecnología, lo que facilita en gran medida la implantación de nuevas tecnologías.

Los resultados de la pregunta tres con promedio de 4.2 y una desviación estándar de 0.84, muestran que a los encuestados el sistema les pareció bastante claro y entendible, propiciando que la aceptación sea más rápida. Una cuidadora opinó en entrevista:

*“es bastante preciso y bastante claro de verdad, sobre todo claro, preciso y conciso”.*

Para los encuestados, la percepción de complejidad de uso del sistema es un poco ambigua, la pregunta cuatro tiene un promedio de 3 y una desviación estándar de 1, lo que significa que para algunos encuestados pudo ser más difícil que para otros. En la entrevista, un cuidador opina:

*“Pues mira este mapa que ustedes hicieron de las diferentes áreas de la casa hogar, este, siento yo que están bastante entendibles si nos las explican un poquito más y que veamos si ya quedaron todas contempladas de lo que está aquí especialmente los comedores de la parte de abajo, en las recamaras de los abuelitos, las diferentes áreas que ocupan cada abuelito tenemos que verlas aquí”.*

De acuerdo con la pregunta cinco, que tiene un promedio de 2.2 y una desviación estándar de 0.45, nos muestra que la interacción con el sistema les pareció poco confusa a los encuestados lo que ayuda a concluir junto con la pregunta tres que la interacción con el sistema es clara y entendible.

Los participantes indican que es fácil lograr una habilidad del uso del sistema. Al preguntarles la facilidad de llegar a ser hábil, se obtuvo una media de 3.8 con una desviación estándar de 0.84 Este resultado nos ayuda a concluir que la interacción con el sistema es sencilla, clara y entendible.

La interpretación de la información presentada en la interfaz del sistema, resultó ser fácil para los encuestados. Comenta una cuidadora al respecto:

*“con esto te das cuenta inmediatamente donde están o localizar o que está pasando con ellos”*

Al preguntar si el sistema era fácil de usarse, se obtuvo un promedio de 4.4 con una desviación estándar de 0.55. Este resultado y considerando el resultado de las otras preguntas, nos permite finalmente dar por válido el argumento de que el sistema les pareció fácil de usar a los encuestados.

Relacionado a la evaluación de la percepción de utilidad, se obtuvieron resultados favorables que indican la gran utilidad del AAL.

Al preguntar si el llevar un registro de las actividades que realizaron los adultos mayores es de utilidad, se obtuvo un resultado favorable, indicado que fue correcta la decisión de agregar esa funcionalidad al sistema. Comentando al respecto, la encargada de la casa hogar dice:

*“el estar detectando los estados de abuelitos, la salud de los abuelitos, el llevar un control de caídas o monitoreo de los abuelitos, todos esto se viene a sumar a controles estándares de calidad”*

El contar con una herramienta que permita tener un historial de caídas y poder consultar el motivo y como ocurrió, es de utilidad para los encuestados. Esta afirmación está respaldada por la opinión de una cuidadora:

*“Me ayudará a darme cuenta de que está pasando, porque muchas veces se puede caer alguien y no te das cuenta si realmente se cayó o donde está y con esto te das cuenta inmediatamente donde están o localizar o que están pasando con ellos”*

Al preguntar si se encontraba útil este sistema, los resultados indican que este sistema es de gran utilidad para el ambiente de cuidado que se realiza en la Casa Hogar, logrando con esto alcanzar el objetivo de ser útil para adultos mayores. Una cuidadora opinó:

*“Yo creo que es mucho más seguro para los abuelos porque se da uno cuenta realmente que está pasando con ellos”.*

Uno de los retos en la implantación de nuevas tecnologías es la resistencia al uso. Sin embargo los resultados obtenidos señalan que los cuidadores estarían en plena disposición en utilizar el sistema. Uno de ellos opina:

*“Me gustaría que se implantara lo más rápido posible”.*

El estar siempre pendiente de los adultos mayores por parte de los cuidadores es una actividad que en ocasiones es difícil llevar a cabo con efectividad por diversas situaciones. El sistema propuesto cumple con el objetivo de brindar apoyo en esta actividad, esto lo revelan los resultados de la pregunta trece. Opina al respecto uno de los cuidadores:

*“para los mismos cuidadores, les permite estar más tranquilos y tener un mejor cuidado y mejor aplicación sin tanto estrés”*

Los resultados de la pregunta quince, ayudan a establecer que verdaderamente es útil el sistema en el cuidado y asistencia de adultos mayores. Al ser preguntada de forma negativa, ayuda a compararla con la pregunta 10, logrando obtener la conclusión que la percepción de utilidad es muy buena. Un cuidador comenta:

*“nos va a permitir este, brindar mejor protección a nuestros ancianos, y va a ser más eficientes los servicios”.*

Durante el proceso de evaluación, los participantes mostraron un gran entusiasmo al estar realizando la explicación del AAL. Para conocer mejor las opiniones de los participantes, se preguntó la opinión en relación al uso de tecnología que ayude a realizar su trabajo, uno de ellos comentó:

*“es una de la tecnologías de punta, que tenemos que estar implementando siempre para bien de nuestros adultos mayores y de todos los que estamos aquí va a ser una tecnología que aparte de cuidar y proteger a los abuelitos va también a contribuir en esta profesionalización de atención y cuidado que queremos estar implementando día con día aquí en Casa Hogar del Anciano y que pues imagínate, este, con toda esa tecnología y todo ese avance todo lo que se viene a sumar a esta profesionalización de atención al adulto mayor.*

Los cuidadores estaban muy interesados en conocer cuando se instalaría el AAL, uno de ellos entusiasmado comentó:

*“Una vez que ya este el proyecto empezarlo a aplicar y empezarles a dar capacitación a todos, como vamos a trabajar, verdad, con esta tecnología de punta y estar también capacitándonos todos en el manejo de este nuevo sistema”*

No obstante al entusiasmo mostrado por los cuidadores, era interesante saber desde su perspectiva y experiencia, cómo sería la reacción de los adultos mayores frente a esta tecnología, uno de ellos opinó lo siguiente:

*“Ellos van a estar encantados ¡he!, el hecho de que los abuelitos les dé una seguridad un aparatito donde ellos puedan tener el auxilio en un momento de un accidente, va a ser una seguridad y una garantía y una estabilidad emocional, se van a sentir bien, se van a sentir protegidos.”*

La hermana encargada de la Casa Hogar, al final puntualizó cuales serían los beneficios de utilizar AAL en su ambiente, y comenta:

*“¡uuu! Los beneficios serán muchos, primero que vamos a hacer muy felices a nuestros ancianos, segundo que les vamos a proporcionar seguridad, tercero una mejor calidad de atención de vida, cuarto se va a reducir el estrés en el personal, por el hecho de estar monitoreando a cada uno personalmente, y quinto qué pues vamos a ir con el mundo con la tecnología de punta y que pues bueno gracias a Ustedes que están poniendo muy en alto y que han tenido la iniciativa de brindar esta parte a los ancianos, no saben lo que le vienen a brindar a ellos.”*

Al final del proceso de evaluación se acercaron varios cuidadores y expresaron los siguientes comentarios:

*“estoy de acuerdo que se pueda implantar ese monitoreo para tener control de los movimientos de los abuelos”*

*“todo está perfecto, gracias por acordarse de los abuelos”*

*“me agrada que por medio de la tecnología se proteja la seguridad del ser humano”*

*“Lo que menos me agrada es que todavía no está instalado en la casa hogar”*

*“¡le agregaría muchas ganas de poner el proyecto en acción en la casa hogar!”*

### **V.3.11.2 Propuestas de mejoras**

Nos interesaba identificar mejoras para el AAL. Durante las entrevistas logramos identificar algunas mejoras que se podrían incluir, comenta la encargada de la casa hogar:

*“que los abuelitos a través de ese chip emitan una señal de petición de quiero levantarme al cuidador, podría venir me siento mal al cuidador, o necesito ayuda, eso yo estaría agregando para que el cuidador donde quiera que esté este viendo que aquel abuelito ayuda una asistencia”.*

Más adelante comentó que sería interesante diseñar una pulsera que les permita llamar a los cuidadores.

### **V.3.12 Conclusiones**

La encuesta de salida se dividió en dos partes, la primera mide la percepción de facilidad de uso del sistema y la segunda la percepción de utilidad. La percepción de facilidad de uso nos sirvió para responder la primera pregunta que se planteó en la sección V.4.1:

*¿Cuál es la percepción de los cuidadores relacionada a la facilidad de uso de un AAL orientado al cuidado y asistencia de personas con problemas motrices y de la tercera edad?*

Los resultados obtenidos en la percepción de facilidad de uso ayudaron a evidenciar que si son fáciles para los cuidadores agregando los comentarios positivos vertidos en las entrevistas.

La segunda pregunta a responder es:

*¿Cuál es la percepción de los cuidadores relacionada a la utilidad de un AAL orientado al cuidado y asistencia de personas con problemas motrices y de la tercera edad?*

Los resultados obtenidos en la percepción de utilidad dan los argumentos suficientes para afirmar que los cuidadores de la Casa Hogar de Anciano ven una gran utilidad en el uso e implementación del AAL en su área de trabajo.

#### **V.4 Resumen**

En este capítulo se describió la forma en que se llevaron a cabo las evaluaciones del AAL propuesto en este trabajo. En un inicio se mostro la evaluación funcional de todos los módulos implementados con el objetivo de verificar su comportamiento y eficacia, y con esto poder identificar posibles mejoras. También se mostró el proceso de diseño de la evaluación cualitativa que incluye el diseño del experimento, descripción de los participantes y cómo se realizó la evaluación dentro de la Casa Hogar del Anciano.

Los resultados obtenidos en el cuestionario de salida, dan evidencia de que a los cuidadores el AAL les resulta de gran utilidad y fáciles de usar. Esto nos permitió comprobar que la intención de uso es muy grande, sumando los comentarios expresados por los participantes en los cuales comentan su interés por que se implante lo más pronto posible el sistema, para que los beneficios ofrecidos se puedan aplicar al cuidado de personas de la tercera edad.

## Capítulo VI

### Conclusiones, aportaciones y trabajo futuro

---

#### ***VI.1 Conclusiones***

Con la llegada del envejecimiento, una persona va perdiendo sus capacidades de movilidad aunado a enfermedades propias del envejecimiento. Este trabajo de tesis se orientó hacia el desarrollo de una Ambiente Asistido (AAL) que permitiera brindar herramientas para el monitoreo y asistencia de personas con problemas motrices, incluidas principalmente personas de la tercera edad.

Para desarrollar este proyecto se investigaron los principales problemas físicos que enfrentaban los adultos mayores. La disminución de la velocidad del control postural, de la fuerza, flexibilidad, debilidad de las flexiones de los pies y pobre organización de la marcha, fueron los criterios que se consideraron abordar debido a los accidentes que pueden provocar.

Se diseñó una arquitectura compuesta por siete módulos que realizan una función específica y que en conjunto conforman el AAL. La localización permite tener un conocimiento continuo de la ubicación de los usuarios del sistema, siendo importante para ofrecer otros servicios basados en localización. La interacción mediante la voz entre el AAL y el usuario es una herramienta interesante que ofrece este sistema, pudiendo controlar dispositivos sin necesidad de contacto físico. Detectar actividades básicas como caminar, sentarse, pararse, acostarse es una opción de monitoreo ofrecida por AAL en conjunto con el uso del sistema de localización para poder conocer el lugar en que se están realizando las actividades. Detectar e identificar caídas es de las principales herramientas que se ofrecen en este trabajo, hace uso del sistema de localización para conocer la ubicación donde ocurrió la caída. El monitoreo con video se complementa con la detección de caídas para ofrecerle a

los cuidadores un panorama real de lo que ocurre cuando surgen alertas de posibles caídas; esta captura de video ayuda a la toma de decisiones acertadas. Poder predecir actividades de los usuarios permite ofrecerle servicios que ayuden a llevar una vida diaria más cómoda y fácil. Finalmente el proveer asistencia en una amplia gama de actividades y situaciones es el objetivo primordial de este sistema. Las situaciones se presentan e identifican gracias a la interacción de los 7 módulos presentes en la arquitectura del presente trabajo.

Se llevó a cabo una evaluación funcional y una cualitativa. La evaluación funcional ayudó a observar el comportamiento de cada módulo y verificar su eficacia. Los resultados obtenidos no fueron muy buenos, sin embargo como prototipo nos ayuda a probar los conceptos tratados en este trabajo. En la localización, se pudo observar que hace falta una mayor cantidad de recolección de muestras para aumentar la precisión.

La evolución cualitativa ayudó a conocer dos criterios, la percepción de facilidad de uso y la percepción de utilidad. Para lograr este objetivo se diseñó un experimento que nos permitiera conocer la opinión de cuidadores que se encargan de la atención de adultos mayores. Dentro del experimento se diseñó un cuestionario y una entrevista basados en el modelo de aceptación de la tecnología (TAM). Se realizó una sesión de evaluación donde estuvieron presentes siete cuidadores y se les explicó el objetivo del sistema y cuatro escenarios de aplicación.

A partir de la sesión de evaluación se obtuvo información para conocer la percepción de los cuidadores de la Casa Hogar, el Anciano referente a la facilidad de uso. Se determinó que para los cuidadores resultó sencillo utilizar el sistema debido a la sencillez de la interfaz y a la forma intuitiva de interpretar la información. Referente a la percepción de utilidad, los cuidadores expresaron que cubría muchas de las necesidades de asistencia en el cuidado de personas de la tercera edad. Logrando cumplir el objetivo de ser útil dentro del ambiente de la Casa Hogar del Anciano.

### **VI.1.1 Limitaciones del trabajo**

Durante el desarrollo de este trabajo se observaron una serie de limitaciones, las cuales se mencionan a continuación:

En algunos módulos no se contó con el hardware especializado y necesario para implementarlos completamente. En la localización se necesitaba un dispositivo pequeño que incluyera interfaz inalámbrica con el estándar IEEE 802.11b/g. Esta desventaja nos obligó a realizar nuestras pruebas de localización usando una Laptop HP DV4000, la cual no respondía a la necesidad de ser portable y transparente. En los módulos detección de actividad y caídas era necesario un dispositivo que trajera exclusivamente el acelerómetro y fuera de menor tamaño que el mote MICAz utilizado. Debido a las limitaciones de hardware, no pudo ser probado el prototipo fuera de laboratorio, como se había pensado inicialmente que las pruebas se realizarían en la Casa Hogar del Anciano.

La evaluación tuvo limitaciones relacionadas con la infraestructura, ya que solo se pudo evaluar el sistema desde la perspectiva de los cuidadores, sin conocer la opinión de los usuarios potenciales que son los adultos mayores. Por lo que la evaluación con adultos mayores quedó fuera del alcance de este trabajo de tesis.

Finalmente uno de los factores que más limitó el trabajo, fue el tiempo. El proyecto es demasiado complejo y considera la implementación y prueba de muchos módulos que por falta de tiempo no se pudieron optimizar y terminar de implementar.

### **VI.2 Aportaciones**

El desarrollo de este trabajo deja las siguientes aportaciones:

- Un AAL prototipo integrado por siete módulos que ofrecen servicios de soporte y monitoreo a una serie de actividades. El unir los servicios que ofrecen

individualmente cada módulo y orientarlos en conjunto a dar solución a una problemática social actual es la principal contribución de este trabajo de tesis.

- Una aplicación que permite identificar actividades básicas del ser humano y caídas mediante la utilización de información proveniente de un acelerómetro que mide el movimiento del cuerpo. Esta aplicación es escalable y no se requieren grandes cambios para poder agregar nuevas actividades.
- Un middleware traductor que permite intercambiar datos entre el sistema operativo (LiteOS) instalado en motes MICAz y aplicaciones desarrolladas en JAVA. Este traductor se ejecuta en background e interpreta y da formato a los mensajes provenientes de LiteOS.
- Un sistema de monitoreo que permite capturar escenas de actividades que sean de interés para el usuario. La elección del tipo de actividades a monitorear no requiere muchos cambios en la programación, solo basta elegir de entre las opciones disponibles en el módulo de detección de actividades.
- Resultados de una evaluación que ofrece evidencia de la utilidad de un AAL en el monitoreo y asistencia de personas con problemas motrices y de la tercera edad.

Durante la realización de este trabajo se generaron dos publicaciones:

- J. Antonio García-Macías, Luis E. Palafox, Ismael Villanueva, A wireless infrastructure for assisting the elderly and the mobility impaired. 1<sup>st</sup> International Workshop of Ambient Assisted Living (IWAAL), Salamanca, España, Junio 2009.
- Edgardo Avilés-López, Ismael Villanueva-Miranda, J. Antonio García-Macías, Luis E. Palafox-Maestre, Taking Care of Our Elders Through Augmented Spaces. CLIHC 2009, Mérida Yucatán, México, Noviembre 2009. (premio al mejor artículo de la conferencia)

### **VI.3 Trabajo futuro**

El área de investigación de los AAL es muy amplio por lo que se encontró interesante proponer el siguiente trabajo futuro:

- Realizar una investigación profunda orientada al estudio de patrones de comportamiento en adultos mayores que permita conocer en detalle cuales son considerados críticos y en los cuales se pueda ofrecer una serie de servicios de asistencia y monitoreo.
- Realizar un estudio para conocer el impacto en la seguridad e integridad física de los adultos mayores al utilizar dispositivos de monitoreo adheridos a su cuerpo.
- Realizar un estudio que permita conocer el impacto a la invasión de la privacidad de desde la perspectiva de los adultos mayores al utilizar dispositivos de monitoreo.
- Agregar al módulo de video la capacidad de reconocer personas en las escenas capturadas, mediante la utilización de técnicas de reconocimiento de patrones en imágenes.
- Implementar el algoritmo Dynamic Time Warping en los mote de sensado, con el objetivo de que el procesamiento de la identificación de las actividades o caídas se realice en el mismo mote. Con esto se lograría hacer más eficiente el consumo de energía, debido a que el continuo envío de datos consume más energía que el procesamiento local de los datos. Implementado el algoritmo en el mote, lo que se enviaría sería solo la actividad identificada o la caída.
- Crear un diccionario de palabras en español así como de los sonidos necesarios para la traducción al español de la base de conocimientos del sistema de reconocimiento de voz Sphinx-II.

## REFERENCIAS

- Agate J., Accidents to Old People in Their Homes, Brit. med. J3., 1966, 2, 785-788
- Andrushevich A., Kistler R., Bieri M. and Klapproth A., ZigBee/IEEE 802.15.4 Technologies in Ambient Assisted Living Applications, Lucerne University of Applied Sciences and Arts, CEESAR-iHomeLab, 2008.
- Asociación Médica Americana (Octubre, 2009), Fragilidad en Adultos Mayores, Estados Unidos. [www.jama.com](http://www.jama.com)
- Augusto Juan Carlos 2009, Ambient Intelligence: Opportunities And Consequences Of Its Use In Smart Classrooms.
- Chan Felix HW, Frailty in Older People, Medical Bulletin Vol.13 No.9 September 2008.
- Cao Qing , Abdelzاهر Tarek, Stankovic John, The LiteOS Operating System: Towards Unix-like Abstractions for Wireless Sensor Networks, 2008.
- Castro Quiroga 2005, Uso de Redes Neuronales con Información de Vecindarios para Estimar la Ubicación de Computadoras Móviles, Tesis de Maestría CICESE.
- Córdova Navarro Carlos, Apoyo al Proceso de Decisiones Médicas, a Través de Coordinación y Computo Móvil, Tesis de Maestría 2006.
- Consejo Nacional de Población (Octubre, 2009), Envejecimiento de la Población de México Reto del siglo XXI, México. [www.conapo.gob.mx](http://www.conapo.gob.mx)

- Consejo Nacional de Población (Octubre, 2009), Apuntes de población de Baja California, México. [www.conapo.gob.mx](http://www.conapo.gob.mx)
- Fowler M, UML distilled: a brief guide to the standard object modeling language, 2003.
- Gibson C.H.S., van Kasteren T., Kröse B., Monitoring Homes With Wireless Sensor Networks, Professional University of Amsterdam, NL; Universiteit van Amsterdam, 2008
- Hanak David, Szijarto G., Takacs B., A Mobile Approach To Ambient Assisted Living, Virtual Human Interface Group Computer and Automation Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, 2007
- Kannus P., Sievänen H., Palvanen M., Järvinen T., Parkkari J., Prevention Of Falls And Consequent Injuries In Elderly People, *The Lancet*, Volume 366, Issue 9500, Pages 1885-1893, 2005.
- Keogh J. Eamonn and Pazzani J. Michael, Derivative Dynamic Time Warping, Department of Information and Computer Science University of California Irvine, 2001.
- Milenkovic A., Otto C., Jovanov E., Wireless Sensor Networks For Personal Health Monitoring: Issues And An Implementation, Elsevier B.V., 2006
- Nehmer J., Karshmer A., Living Assistance Systems, An Ambient Intelligence Approach, ICSE 2006, May 24 – 26, Shanghai

- O'Flynn B., Angove P., Barton J., Gonzalez A., O'Donoghue J., Herbert J., Wireless Biomonitor for Ambient Assisted Living, Tyndall National Institute Cork, Ireland, 2007.
- Otto C., Milenkovic A., Sanders C., Jovanov E., System Architecture Of A Wireless Body Area Sensor Network For Ubiquitous Health Monitoring, Journal of Mobile Multimedia, Vol. 1, No.4 (2006) 307-326.
- Trouva E., The mobile phone as a platform for assisting the independent living of aging people, Thesis Master Of Science In Computer Science, Athens, June 2009.
- Virone G., Wood A., Selavo L., Cao Q., Fang L., Doan T., He Z., Stoleru R., Lin S., and Stankovic J.A., An Assisted Living Oriented Information System Based on a Residential Wireless Sensor Network, Proceedings of the 1st Distributed Diagnosis and Home Healthcare (D2H2) Conference, 2006.
- Virone G., Member, IEEE, Alwan Majd, Senior Member, IEEE, Dalal Siddharth, Member, IEEE, Kell Steven W., Turner Beverly, Stankovic John A., Fellow, IEEE, and Robin Felder, Behavioral Patterns of Older Adults in Assisted Living, IEEE Transactions On Information Technology In Biomedicine, Vol. 12, NO. 3, May2008
- Wang Q., Shin W., Liu X., Zeng Z., Oh C., AlShebli Bedoor K., Caccamo Marco, Gunter C., Gunter E., Hou J., Karahalios K., and Sha L., I-Living: An Open System Architecture for Assisted Living, SMC 2006.
- Weiser M., 1991. The computer for the 21st century, Scientific American Ubicomp 1991. 256(3); 94-104

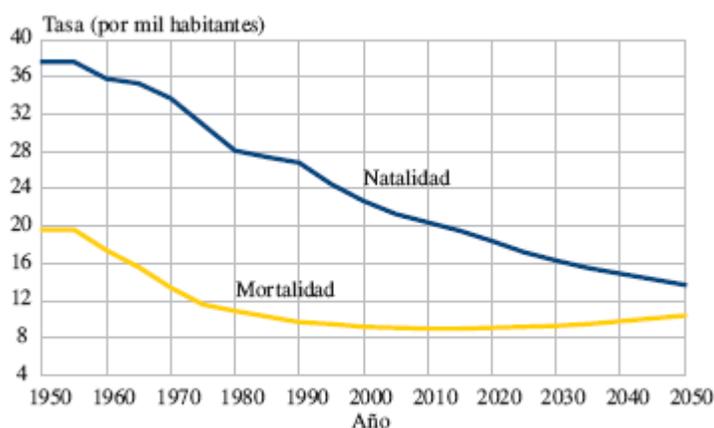
- Wojciechowski M., Xiong J., On Context Modeling in Ambient Assisted Living, Third International Conference on Human Centered Processes, 2008.
- Wood A., Virone G., Doan T., Cao Q., Selavo L., Wu Y., Fang L., He Z., Lin S., Stankovic J., ALARM-NET: Wireless Sensor Networks for Assisted-Living and Residential Monitoring, Technical Report CS-2006-01.

## Apéndice A

# El envejecimiento de la población mundial

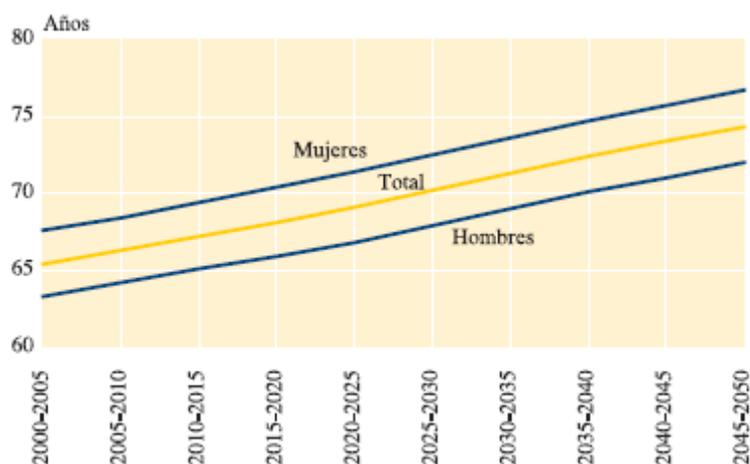
Cada día hay más adultos mayores en el mundo. El incremento en la longevidad determina que la mayor parte de los países desarrollados y algunos como el nuestro, en vías de desarrollo, muestren una expectativa de vida superior a los 70 años de edad. Actualmente es imposible negarse a reconocer la importancia de esta situación y la necesidad de desarrollar la atención del anciano en sus múltiples y complejas facetas, por razones sociales, biológicas y psicológicas.

Estudios realizados por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), se espera que los niveles de natalidad y mortalidad disminuyan en la primera mitad de este siglo (ver Figura 47). Esta disminución alcanzará niveles de 13.7 nacimientos por cada mil habitantes para el año 2050, mientras que la mortalidad se espera que alcance los menores niveles para el 2015 llegando a las 9 defunciones por cada mil habitantes.



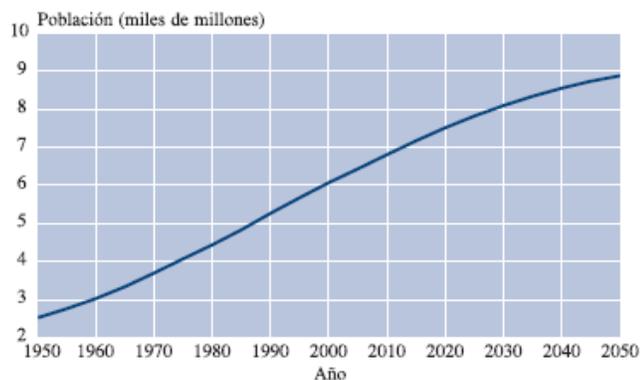
**Figura 47 Índices de natalidad y mortalidad hasta 2050 a nivel mundial.**

Los constantes cambios en la mortalidad y natalidad en la población mundial, se reflejan en una mayor sobrevivencia, la cual aumentará considerablemente en la primera mitad del presente siglo. Así pues, la esperanza de vida aumentara de los 65 años que se estimaban para 2000-2005 a 74 años en 2045-2050.



**Figura 48 Esperanza de vida al nacimiento por sexo, 2000-2050.**

Durante la historia de la humanidad, el crecimiento poblacional fue muy lento. Se estima que la población mundial alcanzó los primeros mil millones en 1810. Fueron necesarios 120 años más (1930) para que la cifra alcanzara los 2 mil millones de habitantes, y 30 años después (1960) ya eran 3 mil millones. Así el crecimiento poblacional llegó a alcanzar los 6 mil millones para el año 2000.



**Figura 49 Población mundial, 1950-2050.**

Además, la población mundial avanza paulatinamente hacia el envejecimiento de su estructura por edades. En la pirámide de población que se muestra en la figura 4, se observa la disminución de los grupos más jóvenes de la población en su parte inferior, sobre todo entre los menores de 15 años, y el aumento de la población en edades laborales y de los adultos mayores.

Por otra parte, es evidente que, debido a la mayor esperanza de vida de las mujeres, su número y peso relativo en las edades avanzadas será mayor. Estas diferencias ya se aprecian en 2000, pero se acentuarán en el futuro (2050).

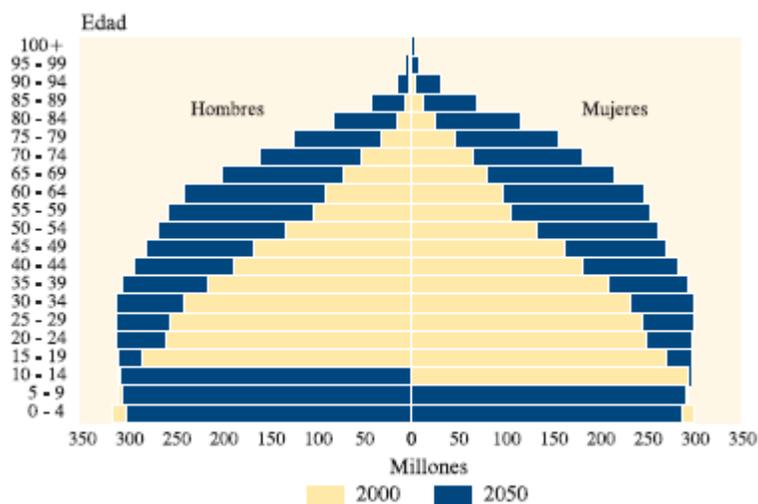


Figura 50 Pirámide de la población mundial, 2000-2050.

Entre 1950 y 1980 el porcentaje de adultos mayores con respecto a la población total se mantuvo alrededor de 8%, mientras que en el 2000 ascendió a 10%. Bajo las tendencias previstas del envejecimiento demográfico mundial, se estima que en 2030 este porcentaje ascienda a 16.6 % y en 2050 a 21.4%. En otras palabras, mientras que en 2000 una de cada diez personas en el mundo era un adulto mayor, a mitad de siglo será una de cada cinco.

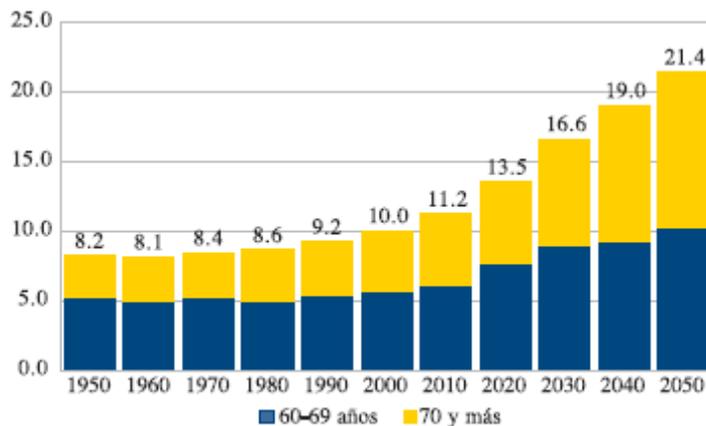


Figura 51 Porcentaje de la población mundial de 60 años y más respecto a la población total, 1950-2050.

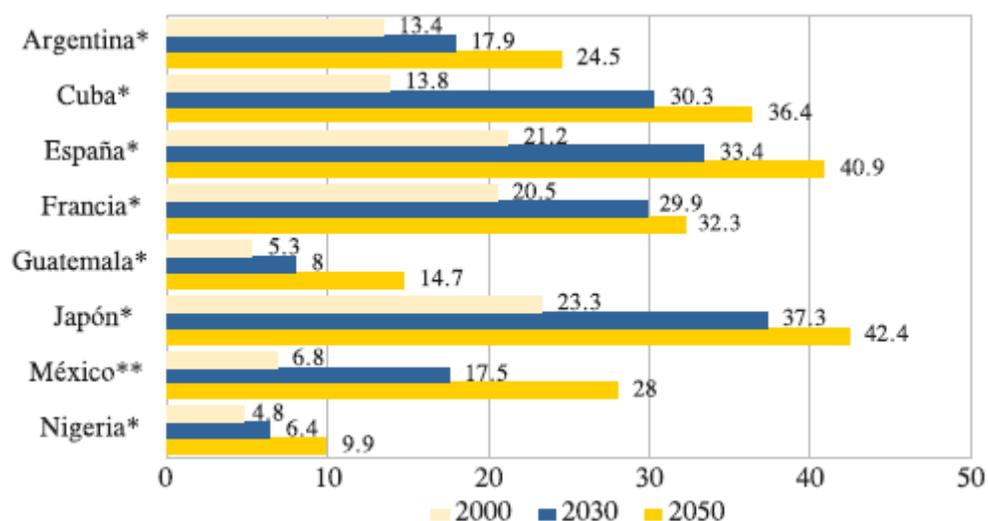
Entre los adultos mayores el grupo que crece a un mayor ritmo es el de las personas de más edad. En 2000 había alrededor de dos adultos entre 60 y 69 años por cada adulto de 70 años o más; en 2050 esta razón se igualará e incluso será ligeramente superior para las personas de edades más avanzadas.

Los incrementos absolutos en el número de adultos mayores son cada vez más grandes. Mientras que en la década 1950-1960 se integraron al grupo de 60 años y más *cuatro millones de personas al año*, en la primera década de este siglo esta cifra ascenderá a más de *quince millones*, alcanzando una cifra máxima de *32.6 millones anuales* en la década de 2030.

La tasa anual de crecimiento de este grupo en la actualidad es de 2.2%, y llegará a ser hasta de tres por ciento en la segunda década del siglo XXI. Debido a esta dinámica, el número de adultos mayores se triplicó entre 1950 y 2000, pasando de 205.3 a 606.4 millones. Asimismo, se espera que aumente a *1 348.3 millones en 2030* y a *1 907.3 millones en 2050*. El envejecimiento de la población también se aprecia en la proporción que representa el grupo de 60 años y más respecto al total de habitantes de los países. Los países europeos, junto con Japón, son los que se encuentran más avanzados en este proceso. En la mayoría de ellos al menos una de cada cinco personas tiene 60 años de edad o más. Se estima que para 2050 alrededor de uno de cada tres sean adultos mayores en esos países. Mientras que en muchas partes de las regiones menos desarrolladas los adultos mayores representarán a más de uno de cada cuatro habitantes.

Todos los países apuntan a tener mayores proporciones de adultos mayores. En el año 2000, uno de cada diez países tenía una población de adultos mayores que superaba o igualaba a 20 por ciento; mientras que en 2050 serán alrededor de seis de cada diez.

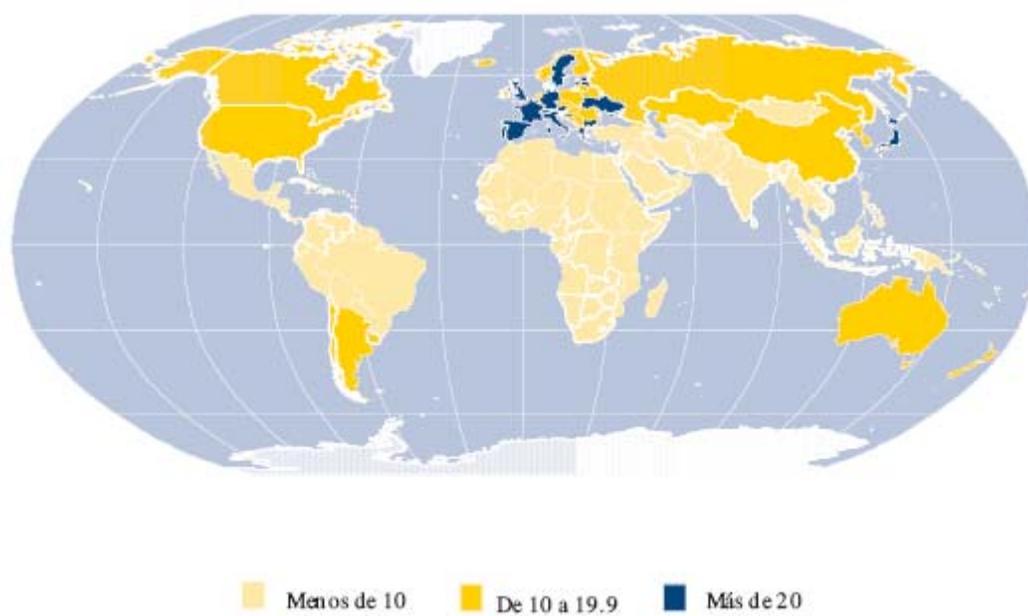
A excepción de la mayor parte de los países africanos, donde la transición demográfica está actualmente en un proceso incipiente, el resto de los países estarán enfrentando un envejecimiento avanzado de su población.



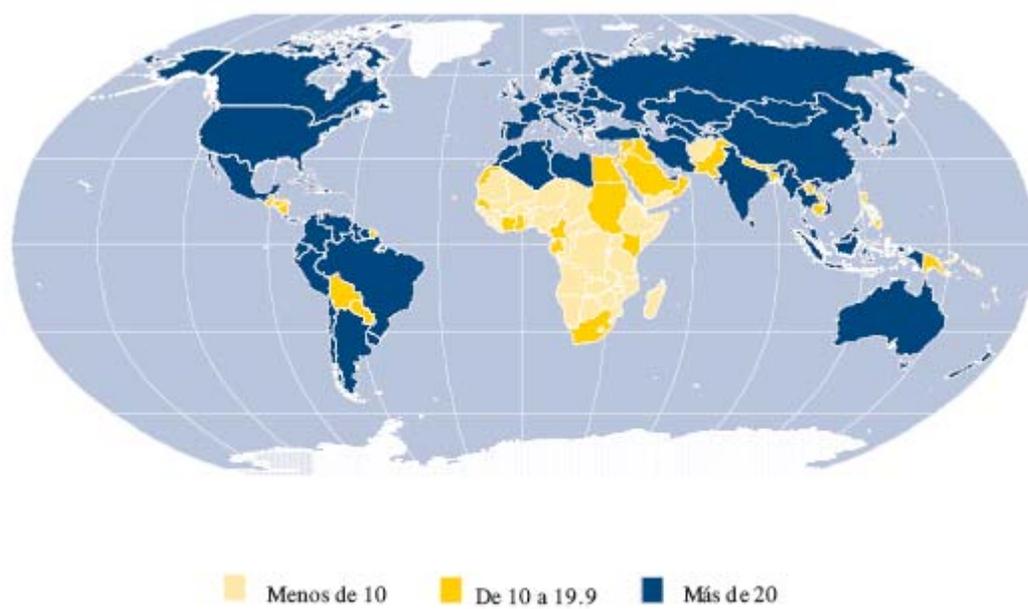
**Figura 52 Porcentaje de la población mundial de 60 años y más en distintos países, 2000, 2030 y 2050.**

La mayoría de los adultos mayores se encuentra en los países menos desarrollados, a pesar de que éstos se sitúan en una fase menos avanzada del proceso de envejecimiento demográfico. En 2000, el número de adultos mayores en los países menos desarrollados alcanzó 375 millones, lo que equivale a 62 por ciento del total de adultos mayores en el mundo, pero sólo a 7.7 por ciento de la población de estos países.

En cambio, 232 millones de adultos mayores residían en los países desarrollados, sólo 38 por ciento de la población mundial mayor de 60 años, pero 19.4 por ciento de su población total. Se espera que el porcentaje de adultos mayores que reside en países en desarrollo se incremente aún más en las próximas décadas, de tal forma que casi 80 por ciento de los 1 900 millones de personas de 60 años o más que habrá en 2050 residirá en los países que hoy tienen menores niveles de desarrollo.



**Figura 53** Porcentaje de la población mundial de 60 años en 2000.



**Figura 54** Porcentaje de la población mundial de 60 años en 2050.

## Apéndice B

# Protocolo de entrevista

### Evaluación

Se realizará una evaluación controlada del sistema en la Casa Hogar del Anciano con el propósito de obtener información que nos permita saber el grado de usabilidad, utilidad e intención de uso desde el punto de vista de usuarios que tratan con personas de la tercera edad. Se decidió hacerla con este tipo de usuarios, debido a la experiencia diaria que llevan con la atención de adultos mayores.

A continuación se detalla la sesión de la evaluación:

### Detalle de la sesión.

Arreglos antes de la evaluación.

El participante tiene que:

- Aceptar la solicitud de grabación.

Introducción (2 minutos)

Discusión:

- Experiencia del participante con estudios de usabilidad.
- La importancia de que esté en este estudio.
- El rol que juega el Evaluador.
- Configuración del sistema de grabación, acomodo del lugar, etc.
- Explicación del resto de la sesión.

Cuestionario inicial previo a la evaluación (10 minutos)

- Aplicar el cuestionario inicial para obtener información sobre la experiencia en la utilización de tecnología.

Entrevista inicial previa a la evaluación (10 minutos)

- Aplicar entrevista previa a la evaluación para recolectar información sobre necesidades de asistencia y supervisión dentro de la casa hogar sin tener conocimiento previo del sistema. Tareas con los encargados (20 minutos)
- Se le pedirá a los participantes encargados de personas de la tercera edad que realicen la siguiente tarea.
  - Visualizar el video que muestra 4 escenarios de aplicación del sistema.
    - **Escenario 1:** Se muestra el funcionamiento de la detección de actividades sobre un usuario. Inicia *levantándose de su cama* para después hacer un recorrido *caminando* hasta la *estancia* en donde se encuentra la televisión para finalmente *sentarse* sobre el sillón.
    - **Escenario 2:** Se muestra el funcionamiento de la detección de comportamiento sobre un usuario que actúa de forma anómala a lo habitual. En este caso se trata de una persona que regularmente despierta y se *levanta* aproximadamente a las 6:30 am pero el día de hoy pasa de las 10 am y el sistema ha detectado que aun sigue *acostado* en su cama con *poco movimiento*. Se presenta una *alarma* de aviso sobre lo extraño del comportamiento.
    - **Escenario 3:** Se muestra el funcionamiento de la detección de caídas sobre un usuario. Inicialmente se encuentra *sentado* en la *estancia* observando televisión y decide *levantarse* y *caminar* hacia otra *habitación*. Durante el trayecto tropieza y sufre la *caída*. El sistema *detecta* el accidente y despliega una señal tanto *visual* como *auditiva*.
    - **Escenario 4:** Se muestra la detección de ubicación sobre zonas de peligro y/o no permitidas para usuarios en específico. Un usuario se encuentra en el *patio principal* *sentado* sobre una banca. Se *pone de pie* e inicia un recorrido *caminando* hacia una *zona de riesgo* donde se encuentra una *escalera*. El sistema *detecta* la intrusión y despliega una *alarma* visual y auditiva avisando el posible riesgo de un accidente.

#### **Cuestionario de salida (10 minutos)**

Aplicar cuestionario para obtener información de la percepción de utilidad y facilidad de uso.

Entrevista de salida (10 minutos)



## ENTREVISTA INICIAL

1. ¿Actualmente como realiza el control de las personas mayores?
2. ¿Cómo es el proceso de estar al tanto constantemente y a la hora que lo desee de lo que sucede en la casa hogar?
3. ¿Lleva algún tipo de registro de lo que sucede en la casa hogar? Si la respuesta es afirmativa, ¿Cómo lo realiza?
4. En caso de que ocurra algún accidente de una persona de la tercera edad, tal como una caída, ¿Cómo se dan cuenta del accidente? ¿Cómo se realiza la asistencia?

## CUESTIONARIO DE SALIDA

*Por medio de este cuestionario se pretende obtener información de la percepción de utilidad y facilidad de uso del sistema.*

### INFORMACIÓN PERSONAL

---

NOMBRE: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

HORA: \_\_\_\_\_

SEXO:      Masculino               Femenino

EDAD:  Años

AÑOS DE EXPERIENCIA EN EL AREA DE GERIATRIA:

0 a 2     2 a 5

5 a 10     Mayor de 10

---

**MARQUE CON UNA X EL VALOR QUE CONSIDERE MÁS APROPIADO.**

#### **Facilidad de uso.**

1. La información presentada en el video es suficiente para permitirme entender como apoyaría esta tecnología, en mi trabajo cotidiano dentro de la casa hogar.

[     ]              [     ]              [     ]              [     ]              [     ]

Completamente en      En      Ni acuerdo y ni en      De      Completamente  
desacuerdo      desacuerdo      desacuerdo      acuerdo      de acuerdo

2. Considero posible y sencilla la integración de esta tecnología en mi entorno de trabajo dentro de la casa hogar.

[     ]              [     ]              [     ]              [     ]              [     ]

Completamente en      En      Ni acuerdo y ni en      De      Completamente  
desacuerdo      desacuerdo      desacuerdo      acuerdo      de acuerdo

3. Al interactuar con el sistema me es claro y entendible.  
 Completamente en desacuerdo     En desacuerdo     Ni acuerdo y ni en desacuerdo     De acuerdo     Completamente de acuerdo
4. La utilización de este sistema me es difícil.  
 Completamente en desacuerdo     En desacuerdo     Ni acuerdo y ni en desacuerdo     De acuerdo     Completamente de acuerdo
5. Me es confusa la interacción con el sistema.  
 Completamente en desacuerdo     En desacuerdo     Ni acuerdo y ni en desacuerdo     De acuerdo     Completamente de acuerdo
6. Es fácil llegar a ser hábil en el uso del sistema.  
 Completamente en desacuerdo     En desacuerdo     Ni acuerdo y ni en desacuerdo     De acuerdo     Completamente de acuerdo
7. Es fácil interpretar la información que presenta el sistema.  
 Completamente en desacuerdo     En desacuerdo     Ni acuerdo y ni en desacuerdo     De acuerdo     Completamente de acuerdo
8. Considero que el sistema es fácil de usarse.  
 Completamente en desacuerdo     En desacuerdo     Ni acuerdo y ni en desacuerdo     De acuerdo     Completamente de acuerdo

### **Utilidad**

9. Considero de utilidad contar con un registro de actividades de las personas de la tercera edad a mi cargo  
 Completamente en desacuerdo     En desacuerdo     Ni acuerdo y ni en desacuerdo     De acuerdo     Completamente de acuerdo
10. Considero de utilidad contar con un portal (pagina web) en donde se pueda observar cómo ocurrieron las caídas  
 Completamente en desacuerdo     En desacuerdo     Ni acuerdo y ni en desacuerdo     De acuerdo     Completamente de acuerdo

11. Encuentro útil este sistema en mi ambiente de trabajo.

[    ]	[    ]	[    ]	[    ]	[    ]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

12. Asumiendo que estuviera implementado el sistema, lo utilizaría.

[    ]	[    ]	[    ]	[    ]	[    ]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

13. Considero que esta tecnología podría brindarme apoyo para monitorear el estado de las personas de la tercera edad a mi cargo.

[    ]	[    ]	[    ]	[    ]	[    ]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

14. El llevar un registro de actividades de las personas de la tercera edad no me es de utilidad.

[    ]	[    ]	[    ]	[    ]	[    ]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

15. Considero que el uso de este sistema no resultaría útil en el apoyo a mis actividades diarias de trabajo

[    ]	[    ]	[    ]	[    ]	[    ]
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo y ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

**CONTESTE LAS SIGUENTES PREGUNTAS. (PUEDE USAR EL REVERSO DE LA HOJA).**

¿Qué es lo que más le agrado del sistema?

---

---

---

---

¿Qué es lo que menos le agrado del sistema?

---

---

---

---

¿Qué le agregaría o eliminaría?

---

---

---

---

Comentarios

---

---

---

---

***¡MUCHAS GRACIAS POR PARTICIPAR!***

# ENTREVISTA DE SALIDA

## PERCEPCIÓN DEL SISTEMA

1. ¿Qué le parecen los escenarios mostrados en la presentación de esta evaluación?
2. ¿Qué opina del uso de tecnología computacional en la casa hogar?
3. ¿Cuál cree que sería una desventaja de utilizar este sistema?
4. ¿Cómo considera la adaptación de este sistema en su entorno de trabajo? ¿Por qué?
5. ¿Cuál es su opinión general sobre este sistema?

## DISEÑO DEL SISTEMA

1. ¿Qué le pareció el tamaño del mapa de la casa hogar?
2. ¿Qué le pareció el acomodo de la información?

## USOS DEL SISTEMA

1. ¿Ud. cree que el sistema le permite intercambiar ideas sobre algunos aspectos con cuidadores, enfermeros y administradores nuevos? ¿Cuáles?
2. ¿Ud. cree que con este sistema pueda lograr tener un mejor control de las personas mayores?
3. ¿Ud. cree que el sistema le permite estar al tanto de lo que sucede en la casa hogar?
4. ¿Ud. cree que el sistema le sirve como un registro de lo que sucedió en días anteriores?
5. ¿Qué otros usos le encontró al sistema que no había pensado en un inicio?
6. ¿Cómo se le hizo entender el funcionamiento de la interfaz?
7. ¿Con que frecuencia lo utilizaría?
8. ¿Dónde lo utilizaría?

## PERCEPCIÓN DE UTILIDAD DE LA INTERFAZ

6. ¿Qué características de la presentación de los elementos del sistema le modificaría, eliminaría o agregaría?
7. ¿Qué problemas prácticos (si existen) pudieran presentarse en caso de que se implementara este sistema?
8. ¿Cuáles cree que sean los beneficios que se puede obtener en caso de que se implementara el sistema?

## Apéndice C

# Documentación de la implementación de la red neuronal

Para el desarrollo de la red neuronal se utilizó el Framework Joone. Se implementó la clase `Train.java` que permite crear, entrenar y consultar la red. A continuación se detallan los métodos de la clase.

Método	Descripción
<code>writeKML()</code>	Escribe un archivo KML que incluye un resumen del entrenamiento.
<code>test()</code>	Consulta a la red neuronal con el conjunto de datos de prueba.
<code>trainNetworks()</code>	Crea y entrena una red neuronal por cada cluster.
<code>homogenizeTrainingSet()</code>	Homogeniza todos los datos del conjunto de entrenamiento.
<code>compileTrainingSet(int i)</code>	Compila el conjunto de datos de entrenamiento de un cluster <i>i</i> .
<code>clustering()</code>	Divide las lecturas totales en clusters.
<code>setNeededClusters()</code>	Busca el número de clusters necesarios para dividir la memoria y crear los objetos necesarios.
<code>setPlacemarks()</code>	Busca los puntos medidos dentro de la memoria de entrenamiento.

## Apéndice D

# Redes Neuronales

## Redes neuronales

Las redes neuronales son otra alternativa para resolver una gran diversidad de problemas que se presentan en la vida diaria, y con aplicaciones en cualquier área (Linker y Sengier, 2003).

## Elementos de una red neuronal

Las redes neuronales artificiales (RNA) se consideran modelos matemáticos que intentan reproducir el funcionamiento del sistema nervioso. Como todo modelo realizan una simplificación del sistema real que simulan y toman las características principales del mismo para la resolución de una tarea determinada.

Una red neuronal consiste en un conjunto de elementos de procesamiento, llamados neuronas, los cuales se conectan entre sí. La organización y disposición de las neuronas dentro de una red neuronal se denomina topología, y viene dada por el número de capas, la cantidad de neuronas por capa, el grado de conectividad, y el tipo de conexión entre neuronas.

Una vez determinada la topología de la red neuronal es necesario entrenarla. En la etapa de entrenamiento, la red es capaz de aprender relaciones complejas entre entradas y salidas mediante el ajuste de pesos de las conexiones entre neuronas. Los algoritmos de entrenamiento en su mayoría utilizan información del gradiente de una función de error para ajustar los pesos de las conexiones, y se les llaman algoritmos de gradiente descendente (Bertona, 2005).

Hay tres tipos de neuronas:

- 1.- Neuronas de entrada: las que reciben información directamente del exterior.
- 2.- Neuronas ocultas: las que reciben información desde otras neuronas artificiales, en donde su sinapsis realiza la representación de la información almacenada.
- 3.- Neuronas de salida: las que reciben la información procesada y la devuelven al exterior.

En la figura 4, se muestran los elementos que componen una neurona artificial.

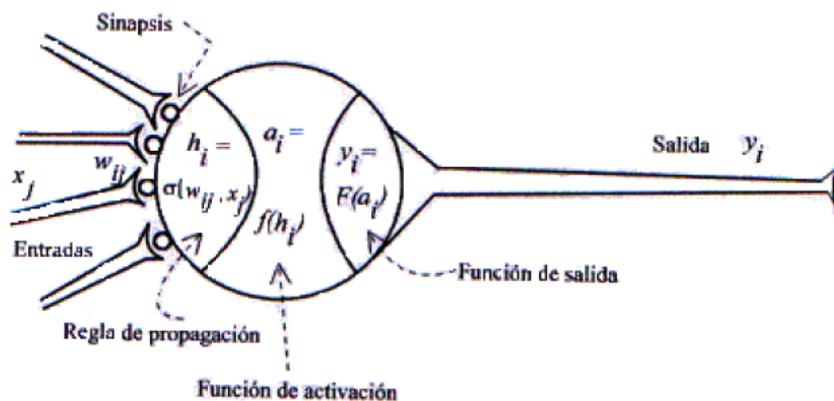


Figura 55 Elementos de una neurona artificial.

**Conjunto de entradas,  $x_j(t)$ .** Estas pueden ser provenientes del exterior o de otras neuronas artificiales.

- **Peso sinápticos,  $w_{ij}$ .** Representan el grado de comunicación entre la neurona artificial  $j$  y la neurona artificial  $i$ . Pueden ser excitadores o inhibidores
- **Regla de propagación,  $\sigma(w_{ij}, x_j(t))$ .** Integra la información proveniente de las distintas neuronas artificiales y proporciona el valor del potencial postsináptico de la neurona  $i$ .

- **Función de activación,  $f_i(a_i(t-1), h_i(t))$ .** Provee el estado de activación actual de la neurona  $i$ .
- **Función de salida,  $F_i(a_i(t))$ .** Representa la salida actual de la neurona  $i$ . Donde las salidas y entradas pueden ser clasificadas como binarias (digitales) o continuas, la selección del tipo de neurona depende de la aplicación y del modelo a construir.

El peso sináptico  $w_{ij}$  define la fuerza de una conexión sináptica entre dos neuronas, la neurona presináptica  $i$  y la neurona postsináptica  $j$ . Los pesos sinápticos pueden tomar valores positivos, negativos o cero. En caso de una entrada positiva, un peso positivo actúa como excitador, mientras que un peso negativo actúa como inhibidor. En caso de que el peso sea cero, no existe comunicación entre el par de neuronas. Mediante el ajuste de los pesos sinápticos la red es capaz de adaptarse a cualquier entorno y realizar una determinada tarea.

La regla de propagación determina el potencial resultante de la interacción de la neurona  $i$  con las  $N$  neuronas vecinas. Por su parte la función de activación determina el estado de activación actual de la neurona en base al potencial resultante  $h_i$  y al estado de activación anterior de la neurona  $a_i(t-1)$ .

Finalmente en la función de salida proporciona el valor de salida de la neurona, en base al estado de activación de la neurona. En la tabla III se muestran algunas de las funciones de activación:

Tabla III: Funciones de activación

Función	Fórmula	Rango
<b>Identidad</b>	$y = x$	$[-\infty, \infty]$
<b>Escalón</b>	$y = +1$ si $x \geq 0$ , $0$ si $x < 0$	$[0,1]$
	$y = +1$ si $x \geq 0$ , $-1$ si $x < 0$	$[-1,1]$
<b>Lineal a tramos</b>	$y = x$ si $-1 \leq x \leq 1$ , $+1$ si $x > 1$ ,	$[-1,1]$
	$-1$ si $x < -1$	
<b>Sigmoidea</b>	$y = 1 / (1 + e^{-x})$	$[0,1]$
	$y = \tanh(x)$	
<b>Sinusoidal</b>	$y = \sin(\omega x + \phi)$	$[-1,1]$

### Arquitectura de una red neuronal

Una vez definido el tipo de neurona que se utilizará en un modelo de redes neuronales artificiales, es necesario definir la topología de la misma. A la organización y disposición de las neuronas dentro de una red neuronal se le denomina topología, y viene dada por el número de capas, la cantidad de neuronas por capa, el grado de conectividad, y el tipo de conexión entre las neuronas. Las neuronas suelen agruparse en unidades funcionales denominadas capas. Una red neuronal puede estar compuesta por una o más capas interconectadas entre sí.

Durante el proceso de operación dentro de una red neuronal podemos distinguir claramente dos fases o modos de operación: la fase de aprendizaje, en donde la red es entrenada para realizar un determinado tipo de procesamiento.

## **Aprendizaje**

En la fase de operación en donde encontramos tres grandes grupos, de acuerdo a sus características (Yao, 1999).

- Aprendizaje supervisado: es en donde la red presenta un conjunto de patrones de entrada junto con la salida esperada. Los pesos se van modificando de manera proporcional al error que se produce entre la salida real de la red y la salida esperada.
- Aprendizaje no supervisado: es aquel que presenta a la red un conjunto de patrones de entrada. No hay información disponible sobre la salida esperada. El proceso de entrenamiento en este caso debería ajustar sus pesos en base a la correlación existente entre los datos de entrada.
- Aprendizaje por refuerzo: Este tipo de aprendizaje se ubica en medio de los otros dos. Es útil en aquellos casos en que se desconoce cuál es la salida exacta que debe proporcionar la red.

## **Fase de operación**

Una vez finalizada la fase de aprendizaje, la red puede ser utilizada para realizar la tarea para la que fue entrenada. Una de las principales ventajas que posee este modelo es que la red aprende la relación existente entre los datos, adquiriendo la capacidad de generalizar conceptos. De esta manera, una red neuronal puede tratar con información que no le fue presentada durante la fase de entrenamiento.

## **Entrenamiento de redes neuronales**

El proceso de aprendizaje es un proceso iterativo, en el cual se va refinando la solución hasta alcanzar un nivel de operación suficientemente bueno. La mayoría de los métodos de entrenamiento utilizados en las redes neuronales con conexión hacia adelante, en donde este se caracteriza por su organización en capas y conexiones estrictamente hacia delante, además de su entrenamiento supervisado, consisten en proponer una función de error que mida el rendimiento actual de la red en función de los pesos sinápticos que minimizan o maximizan la función.

### **Algoritmo Retro propagación (Backpropagation)**

Este es el método de entrenamiento más utilizado en redes con conexión hacia adelante. Es un método de aprendizaje supervisado de gradiente descendente, el cual se define como una función  $E(W)$  que proporciona el error que comete la red en función del conjunto de pesos sinápticos  $W$ , en el que se distinguen claramente dos fases: primero se aplica un patrón de entrada, el cual se propaga por las distintas capas que componen la red hasta producir la salida de la misma. La cual es comparada con la salida deseada y se calcula el error cometido por cada neurona de salida. Estos errores se transmiten hacia atrás, partiendo de la capa de salida, hacia todas las neuronas de las capas intermedias (Fritsch,1996). Cada neurona recibe un error que es proporcional a su contribución sobre el error total de la red, basándose en el error recibido, y se ajustan los errores de los pesos sinápticos de cada neurona.