



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Modelo de Inteligencia Ambiental basado en la integración de Redes de Sensores Inalámbricas y Agentes Inteligentes

Silvia Elena Restrepo Medina

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión

Medellín, Colombia

2012

Modelo de Inteligencia Ambiental basado en la integración de Redes de Sensores Inalámbricas y Agentes Inteligentes

Silvia Elena Restrepo Medina

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Ingeniería de Sistemas

Director (a):

Ph.D. Demetrio Arturo Ovalle Carranza

Codirector (a):

Msc. Alcides de Jesús Montoya Cañola

Línea de Investigación:

Inteligencia Artificial

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial – GIDIA

Grupo de Instrumentación Científica e Industrial - GICEI

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión

Medellín, Colombia

2012

Dedicado a:

Celina Medina

Alonso Restrepo

Ángela Restrepo M.

Alejandro Restrepo M.

Gustavo Cañas

Agradecimientos

Esta tesis se debe a muchas personas y entidades que de una u otra forma aportaron en su exigente producción. Entre ellos, agradezco a:

COLCIENCIAS (Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología), quien me apoyó y favoreció financieramente con la Convocatoria Jóvenes Investigadores (2011-2012), en la cual se desarrolló el Proyecto “Modelo de Inteligencia Ambiental basado en la integración de Redes de Sensores Inalámbricas y Agentes Inteligentes” y fue parte de este trabajo de tesis de maestría.

DIME (Dirección de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín), quien financió el proyecto de investigación “Modelo de sistema híbrido inteligente para el monitoreo de variables físicas usando Redes de Sensores Inalámbricos y Sistemas Multi-Agente”, el cual fue parte de este trabajo de tesis de maestría.

Facultad de Minas por la beca de posgrado con exención de matrícula concedida para llevar a cabo los estudios de maestría.

Demetrio Arturo Ovalle, director de esta tesis, quien con sus enseñanzas tanto a nivel académico, profesional y personal permitió que este trabajo de investigación diera buenos frutos. Además, agradezco a Alcides Montoya por sus colaboraciones como co-director de la tesis.

Andrés Felipe García, quien con sus conocimientos ayudó en la implementación del prototipo desarrollado para la validación de esta tesis, y al grupo de investigación MAS-WSN (unión entre los grupos GIDIA y GICEI) y compañeros de maestría por los valiosos aportes en su realización.

A mis amigos de siempre y familiares, les agradezco por motivarme a cumplir mis metas y ser un apoyo constante.

Finalmente y no menos importantes, a las personas que son el motor de mi vida; a mis padres Alonso Restrepo y Celina Medina, por el apoyo incondicional, afecto y motivación que me brindan día a día, a mis hermanos Ángela Restrepo y Alejandro Restrepo por su apoyo fraternal, y a una persona muy especial, Gustavo Cañas, quien gracias a su compañía ha facilitado mi crecimiento tanto personal como profesionalmente, y me impulsa diariamente a lograr más allá de las metas propuestas.

Resumen

La Inteligencia Ambiental o Aml (Ambient Intelligence), es un área de las Ciencias Computacionales que integra aspectos novedosos como computación ubicua, interfaces inteligentes, sistemas adaptativos, Smart WSN, entre otros. Sin embargo, no existe un modelo genérico para diseñar y desarrollar aplicaciones reales de Aml. El objetivo de esta tesis de maestría es proponer un meta-modelo de Aml que incluya los modelos más relevantes que deben ser tenidos en cuenta para el diseño e implementación de tales sistemas, definidos como modelo de contexto, modelo de adaptación, modelo del usuario y modelo del dominio. Adicional a estos modelos, es necesario especificar un módulo con los servicios adaptados que pueden ser ofrecidos por agentes inteligentes quienes utilizan para ello el conocimiento almacenado en los diferentes modelos.

Palabras clave: Sistemas Multi-Agente, Redes de Sensores Inalámbricas, Inteligencia Ambiental, Adaptación, Perfil de Usuario, Contexto.

Abstract

The Ambient Intelligence (Aml) is a Computer Science field that integrates new research topics such as ubiquitous computing, intelligent interfaces, adaptive systems, Smart WSN, among others. However, there is not a generic model to design and develop real Aml applications. The aim of this master thesis is to propose an Aml meta-model that includes the more relevant models that should be considered to the design and implementation of such systems, defined as context model, adaptation model, user model, and domain model. In addition to these models, a module comprised by intelligent-agent-based adaptive services must be specified which use the knowledge stored within different models.

Keywords: Multi Agent Systems, Wireless Sensor Networks, Ambient Intelligence, Adaptation, User profile, Context.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
1. Introducción, Objetivos y Metodología	15
1.1 Motivación	15
1.2 Aportes	17
1.3 Definición del problema de investigación	17
1.4 Hipótesis de investigación	18
1.5 Preguntas de investigación	18
1.6 Objetivos.....	19
1.6.1 Objetivo General	19
1.6.2 Objetivos Específicos	19
1.7 Alcance.....	20
1.8 Metodología de trabajo	20
1.9 Organización del documento	23
1.10 Difusión de Resultados	23
2. Marco teórico	25
2.1 IAD, Agentes y Sistemas Multi-agente.....	25
2.1.1 Inteligencia Artificial Distribuida (IAD).....	25
2.1.2 Agentes de Software	26
2.1.3 Sistemas Multi-Agente	27
2.2 Redes de Sensores Inalámbricas (WSN) y Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	30
2.2.1 Redes de Sensores Inalámbricas (WSN)	30
2.2.2 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	34
2.2.3 Modelos de integración de WSN y MAS.....	35
2.3 Computación ubicua e Inteligencia Ambiental (Aml)	37
2.3.1 Computación ubicua	37
2.3.2 Interacción usuario-sistema (HCI)	38
2.3.3 Computación sensible al contexto (context-aware computing)	40
2.3.4 Características de la Aml	41
2.3.5 Tecnologías Implicadas en la Aml.....	42
3. Estado del arte	45

4. Componentes principales para el Modelo de Inteligencia Ambiental propuesto	51
4.1 Descripción general del modelo de Aml propuesto.....	51
4.2 Modelo de contexto	52
4.3 Modelo del usuario	57
4.4 Modelo de dominio de aplicación	59
4.5 Modelo de adaptación	61
4.6 Servicios de Inteligencia Ambiental	65
4.6.1 Servicios sensibles al contexto	67
4.6.2 Servicios sensibles al contexto según el modelo de contexto propuesto	68
4.7 Facilitadores de meta-modelo propuesto.....	69
5. Implementación de prototipo (Caso de estudio)	72
5.1 Descripción de arquitectura general	72
5.2 Caso de estudio – Laboratorio inteligente (SmartLab)	74
5.2.1 Modelo de contexto	74
5.2.2 Modelo del usuario	75
5.2.3 Modelo de dominio de aplicación.....	75
5.2.4 Modelo de adaptación.....	77
5.2.5 Servicios de Inteligencia Ambiental.....	78
5.2.6 Facilitadores de meta-modelo propuesto	79
5.3 Escenario de Validación	88
5.4 Resultados	94
6. Evaluación del desempeño	105
6.1 Evaluación cualitativa	105
6.2 Evaluación cuantitativa.....	108
6.2.1 Especificaciones del equipo.....	108
6.2.2 Latencia o tiempo de respuesta del sistema	110
6.2.3 Completitud	112
6.2.4 Escalabilidad	113
7. Conclusiones y Trabajo futuro	115
Referencias bibliográficas.....	119

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2.1. Esquema de la intersección de las señales de 4 satélites para la determinación de la posición de un objeto en tierra.....	35
Figura 4.1. Meta-modelo de Aml	52
Figura 4.2. Elementos del Modelo de contexto.....	53
Figura 4.3. Dispositivos móviles (celular , PDA, <i>tablet</i> respectivamente).....	54
Figura 4.4. Red tipo estrella (izquierda) y tipo malla (derecha).....	55
Figura 4.5. Elementos del Modelo del Usuario	58
Figura 4.6. Configuración de Perfil de Usuario	59
Figura 4.7. Simbología básica del Diagrama de Clases.....	60
Figura 4.8. Elementos del Modelo de adaptación.....	61
Figura 4.9. Esquema general del modelo de adaptación.....	64
Figura 5.1. Arquitectura propuesta para la validación del modelo.....	73
Figura 5.2. Ontología propuesta.....	76
Figura 5.3. Creación de ontología en protégé.....	77
Figura 5.4. Herramientas utilizadas para la validación del modelo propuesto.....	80
Figura 5.5. Diagrama de despliegue.....	81
Figura 5.6. Emulador de Sun SPOT	82
Figura 5.7. Sistema Multi-Agente propuesto.....	83
Figura 5.8. Diagrama de secuencias	87
Figura 5.9. Escenario de validación de modelo propuesto.....	88
Figura 5.10. Panel de sensores de Sun SPOT virtual.....	90
Figura 5.11. Simulación de presencia de usuario	91
Figura 5.12. Configuración de perfil de usuario	91
Figura 5.13. Base de datos de Contexto (arriba) y base de datos de Usuario (abajo)	93
Figura 5.14. Escenario de validación.....	94
Figura 5.15. WSN implementada (Solarium)	95
Figura 5.16. Prueba de escenario con usuario 1	99
Figura 5.17. Prueba de escenario con usuario 2	102
Figura 5.18. Prueba de escenario sin adaptación con usuario 1.....	103
Figura 5.19. Prueba de escenario sin adaptación con usuario 2.....	104
Figura 6.1. Latencia vs Número de tareas.....	112

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2.1. Módulos comerciales para WSN [Fernández et al., 2006], [Sun SPOT]	33
Tabla 3.1. Comparación con trabajos relacionados en Inteligencia Ambiental (comunidad internacional)	48
Tabla 3.2. Comparación con trabajos relacionados en Inteligencia Ambiental (comunidad nacional)	50
Tabla 4.1. Clasificación de algunos contextos típicos en categorías según [Hong et al., 2007].....	52
Tabla 5.1. Plantilla de agente de adaptación.....	84
Tabla 5.2. Tarjeta CRC para agente de adaptación	84
Tabla 5.3. Plantilla de agente usuario	84
Tabla 5.4. Tarjeta CRC para agente usuario.....	85
Tabla 5.5. Plantilla de agente de contexto.....	85
Tabla 5.6. Tarjeta CRC para agente de contexto	86
Tabla 5.7. Variables físicas utilizadas	88
Tabla 5.8. Valores para la ubicación según la posición del control deslizante correspondiente al sensor GPS (A1).....	90
Tabla 5.9. Variables de interés en cada nodo sensor.....	94
Tabla 5.10. Tipos de iluminación.....	96
Tabla 5.11. Tipos de clima	96
Tabla 5.12. Tipos de acceso	97
Tabla 5.13. Encendido de sistemas de entretenimiento	97
Tabla 6.1. Comparación de Sistemas de Inteligencia Ambiental según modelo de Evaluación propuesto por [Restrepo et al., 2011].....	107
Tabla 6.2. Resultados de la evaluación de la latencia.....	110
Tabla 6.3. Resultados de la evaluación de la completitud	113
Tabla 6.4. Resultados de la evaluación de la Escalabilidad	114

1. Introducción, Objetivos y Metodología

En este capítulo se pretende proporcionar una descripción general del contenido de esta tesis de maestría y la importancia del trabajo de investigación. Además, se presentan los aportes, los objetivos planteados, el alcance, la metodología de trabajo y la difusión de resultados.

1.1 Motivación

Hoy en día las personas están rodeadas de una heterogeneidad de dispositivos tecnológicos que utilizan para realizar una función específica y de TIC (tecnologías de la información y comunicaciones) que les facilitan la ejecución de algunas tareas determinadas, para los cuales en muchas ocasiones se necesita de un conocimiento previo para su adecuado manejo y aplicación. Debido a que estos factores les brindan ayuda paralelamente, es necesaria una conexión transparente entre dichos dispositivos que permita su interoperabilidad y comunicación natural con las personas.

Gracias a los avances tecnológicos actuales, la implementación de sistemas de comunicación inalámbrica tales como Redes de Sensores Inalámbricas (WSN) ha sido posible en una variedad de áreas de aplicación, las cuales tienen como finalidad obtener información del estado del entorno donde son desplegadas como producto de la medición de variables físicas y otro tipo de información como localización lograda a través de GPS.

Además, los programas informáticos cada vez incorporan mayor número de propiedades que emplean para realizar diferentes actividades, siendo el caso de los agentes inteligentes el más indicado para sistemas distribuidos como las WSN, debido a que cuentan con la propiedad de distribución que les permite resolver un problema determinado a partir de la ejecución de tareas particulares por cada uno de ellos.

La interacción transparente que se pretende alcanzar entre el entorno y las personas que lo habitan se obtiene gracias al área emergente de las Ciencias Computacionales llamada Inteligencia Ambiental (Aml), la cual tiene por objetivo crear ambientes inteligentes donde el entorno sea quien se adapte a las personas y no al contrario como ocurre actualmente. Lo anterior se puede conseguir a través del uso de WSN debido a que éstas permiten el acceso en lugares donde el cableado sería muy costoso o difícil de instalar y tienen la cualidad de proveer portabilidad; y además de la integración de agentes que pueden analizar los datos recibidos y luego tomar decisiones en un dominio de aplicación específico. Por lo tanto, con la Aml se quiere lograr que diferentes dispositivos inteligentes puedan interactuar con las personas de manera que los beneficie sin que éstas apenas se den cuenta, en donde se facilitan algunas actividades cotidianas o se delegan otras que consumen mucho tiempo y dinero.

La integración de WSN junto con Agentes de Software Inteligentes para obtener un sistema de Inteligencia Ambiental, ofrece soluciones significativas en cuanto a manejo del sensado, control de variables físicas, mapeo, localización, movilidad y toma de decisiones. Además logran formar ambientes inteligentes donde las personas gracias a las tecnologías de información realizan sus tareas en una forma más eficiente y práctica. Entre sus aplicaciones, tiene un extenso campo en domótica en cuanto al ahorro de recursos con poca o sin intervención humana para el control inteligente de energía, luminosidad, aires acondicionados, entre otros en hogares y oficinas; y en el campo de la salud, para el mapeo, localización, cuidado y seguimiento remoto de personas mayores o enfermas.

Es por esta razón que se propone en esta tesis un modelo de Inteligencia Ambiental basado en la integración de Redes de Sensores Inalámbricas y Agentes inteligentes que permita ofrecer una formalización para crear sistemas que se adapten a las personas que los rodea e interactúen de manera transparente para lograr la comunicación efectiva entre ellos, donde las WSN se convierten en una adecuada tecnología con recursos limitados para monitorear y adquirir datos del entorno donde son desplegadas, presentando aplicaciones en el área de monitoreo ambiental, industria, fines militares, medicina, entre otros; y los agentes de software facilitan distintas actividades en

diferentes entornos gracias a las características que poseen tales como autonomía, colaboración, cooperación, proactividad, reactividad, entre otras.

1.2 Aportes

Los principales aportes de esta tesis se pueden resumir en los siguientes:

- Un modelo de Inteligencia Ambiental compuesto por varios modelos, el cual es facilitado por la integración de Redes de Sensores Inalámbricas con Agentes Inteligentes, y tiene la cualidad de ofrecer aspectos tales como conocimiento de contexto, WSN más inteligentes y adaptación.
- Una nueva clasificación del contexto, el cual se define como la información relevante en la interacción entre un usuario y un entorno o sistema, que permite deducir más fácilmente la situación actual del entorno y su consecuente adaptación.
- Una arquitectura general para el desarrollo de Sistemas de Inteligencia Ambiental que empleen Redes de Sensores Inalámbricas y Agentes Inteligentes para su implementación.
- Prototipo de sistema inteligente desarrollado según el modelo de Inteligencia Ambiental propuesto, el cual usando un Sistema Multi-Agente y una Red de Sensores Inalámbrica simulada proporciona servicios adaptados a las necesidades de los usuarios.
- Estrategia de evaluación del desempeño a nivel cualitativo y cuantitativo de sistemas desarrollados bajo el paradigma de Inteligencia Ambiental.

1.3 Definición del problema de investigación

Aunque se han desarrollado avances en la Aml, las WSN y los agentes inteligentes, aún falta realizar investigación sobre propuestas de modelos de integración de los enfoques y las tecnologías descritas anteriormente con el fin de crear sistemas más robustos que aprovechen las fortalezas de cada uno individualmente. Las principales falencias

presentadas actualmente en el área, las cuales con su solución parcial o total pueden lograr contribuciones a esta tesis de maestría son:

- Sistemas tradicionales no se adaptan al usuario
- Sistemas tradicionales fallan al responder de forma inmediata frente a la ocurrencia de una situación determinada
- Falta de movilidad y portabilidad de sistemas tradicionales
- Falta de integración de sistemas como agentes y WSN que formen sistemas más robustos que aprovechen las fortalezas de cada uno
- Poco desarrollo de servicios que proporcionen información del entorno
- Poco aprovechamiento de las potencialidades de las WSN en un entorno inteligente

1.4 Hipótesis de investigación

El proceso de implementación de sistemas inteligentes puede ser mejorado a través de un modelo de Inteligencia Ambiental que ofrece los componentes necesarios para la definición de éstos y además, considera Redes de Sensores Inalámbricas como medio de adquisición de información del entorno y Agentes Inteligentes como los facilitadores de la adaptación del entorno.

1.5 Preguntas de investigación

Luego de identificar las limitaciones presentes en la problemática de investigación, y a partir de la motivación y la definición del problema, surgen las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Es posible desarrollar un modelo de Inteligencia Ambiental (Aml) basado en la integración de Redes de Sensores Inalámbricos (WSN) y Agentes Inteligentes?
- ¿Pueden crearse servicios que proporcionen un entendimiento del entorno para mejorar la interacción en sistemas Aml basados en WSN?

- ¿Es posible crear interfaces inteligentes de usuario donde la interacción usuario-sistema sea natural?
- ¿Cómo se pueden modelar entornos adaptativos capaces de anticiparse a una determinada situación?
- ¿Es posible modelar sistemas que se adapten a las preferencias del usuario y actúen de forma autónoma en beneficio de éste?

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Desarrollar un Modelo de Inteligencia Ambiental (AmI) basado en la integración de Redes de Sensores Inalámbricos (WSN), y Agentes de Software Inteligentes para crear sistemas más robustos que aprovechen las fortalezas de cada uno individualmente.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Definir las características asociadas a WSN, la inteligencia ambiental y los Agentes de software inteligentes que se tendrán en cuenta en el modelo de Inteligencia Ambiental.
- Diseñar un modelo de Inteligencia Ambiental (AmI) que integre WSN y agentes de software inteligentes.
- Validar el modelo a través de la implementación de un prototipo para el seguimiento, control y toma de decisiones en un dominio de aplicación específico.
- Realizar pruebas sobre el prototipo analizando el desempeño de la integración de WSN y agentes de software inteligentes.

1.7 Alcance

Orientada hacia el cumplimiento de los objetivos descritos anteriormente, esta tesis estará limitada por los siguientes aspectos donde el abordaje que exceda los límites se considerará como trabajo futuro u otra investigación afín:

- El modelo de Aml propuesto, solo abarcará algunas de las cualidades mencionadas en el marco teórico que caracterizan la Aml, debido a que cada una es un tema investigativo completo y además el abordaje de todas excede la capacidad tanto de hardware como de software de los componentes disponibles en el laboratorio en la consecuente validación del prototipo.
- En las aplicaciones de la Aml, se busca miniaturizar cada vez más los sensores que conforman las WSNs con el fin de satisfacer la cualidad de no intrusividad de la Aml, por lo tanto, para el prototipo de validación debido a las limitaciones del hardware disponible en el laboratorio se tornará flexible en este aspecto.
- No se pretende desarrollar un sistema que integre una WSN y que esté mediado por agentes inteligentes que estén maximizando la eficiencia de éstas en cuanto a sus restricciones tales como consumo de energía, optimización de recursos, entre otras, si no que se contempla desarrollar un modelo donde la WSN realice un proceso de adquisición y procesamiento de información del entorno donde está inmersa y posteriormente los agentes con esta información puedan realizar una variedad de tareas gracias a las características citadas anteriormente en el marco teórico, entre ellas la toma de decisiones.

1.8 Metodología de trabajo

Para dar cumplimiento a esta tesis se dividen las tareas en cinco etapas correspondientes a la consecución de cada uno de los objetivos específicos implicados en esta propuesta. A continuación se describen las etapas.

ETAPA	OBJETIVO	ACTIVIDADES
<p>Etapa 1: Elaboración del marco teórico y revisión del estado del arte.</p>	<p>Definir las características asociadas a WSN, la inteligencia ambiental y los Agentes de software inteligentes que se tendrán en cuenta en el modelo de Inteligencia Ambiental.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisión bibliográfica sobre Sistemas Multi-agente teniendo en cuenta aspectos como características, topologías, metodologías, herramientas para su construcción. 2. Revisión bibliográfica sobre Redes de Sensores Inalámbricas y modelos de integración con Sistemas Multi-Agente. 3. Revisión bibliográfica sobre trabajos que implementen el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para la localización de objetos, personas o componentes. 4. Revisión bibliográfica sobre los paradigmas computación ubicua e Inteligencia Ambiental.
<p>Etapa 2: Diseño del modelo propuesto.</p>	<p>Diseñar un modelo de Inteligencia Ambiental (Aml) que integre WSN y agentes de software inteligentes.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Caracterizar los elementos del modelo, es decir, la tipología y arquitectura de los agentes del Sistema

		<p>Multi-Agente, y de los sensores a utilizar en la WSN.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Definir el proceso de adquisición y procesamiento que ejecutan los nodos sensores. 3. Definir las relaciones existentes entre los agentes. 4. Definir las relaciones existentes entre agentes y nodos sensores que cumplan con el enfoque de Inteligencia Ambiental.
<p>Etapas 3: Implementación y validación del modelo propuesto.</p>	<p>Validar el modelo a través de la implementación de un prototipo para el seguimiento, control y toma de decisiones en un dominio de aplicación específico.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar el montaje experimental de la WSN en un determinado entorno. 2. Desarrollar e implementar el Sistema Multi-Agente propuesto. 3. Integrar el Sistema Multi-agente con la WSN desplegada en el entorno, produciendo así un sistema de Inteligencia Ambiental. 4. Validar el sistema integrado.

Etapa 4: Análisis del desempeño de la integración de enfoques en modelo propuesto	Realizar pruebas sobre el prototipo analizando el desempeño de la integración de WSN y agentes de software inteligentes.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar topología de WSN y arquitectura de Sistema Multi-Agente óptimas para el modelo propuesto. 2. Evaluar la ejecución del modelo propuesto para diferentes situaciones dentro de un dominio de aplicación específico.
------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1.9 Organización del documento

Este documento de tesis está organizado de la siguiente forma: en el capítulo 2 se realiza una descripción básica del marco teórico, el cual abarca los conceptos fundamentales de la problemática. En el capítulo 3 se realiza la revisión del estado del arte, donde se describen brevemente algunos trabajos relacionados con Redes de Sensores Inalámbricas, Sistemas Multi-agente e Inteligencia Ambiental. En el capítulo 4 se especifican los componentes del modelo de Inteligencia Ambiental basado en la integración de Redes de Sensores Inalámbricas y Agentes Inteligentes, y las relaciones existentes entre ellos. En el capítulo 5 se presenta el desarrollo del prototipo que valida el modelo y se analizan los resultados obtenidos. En el capítulo 6 se realiza la evaluación del desempeño del prototipo desarrollado bajo el modelo propuesto. Finalmente en el capítulo 7 se presentan algunas conclusiones y trabajo futuro.

1.10 Difusión de Resultados

A continuación se presentan las publicaciones en memorias en congresos nacionales y los proyectos de investigación que se han realizado y han permitido la difusión de esta investigación.

- Hernández J., Restrepo S., Muñoz T., Ovalle D. Modelo de un Sistema Híbrido Multi-agente para la detección y control de incendios ambientales simulados:

STOP-FIRE. Quinto Congreso Colombiano de Computación (5CCC). Cartagena, Colombia. 2010.

- Restrepo S.E., Montoya A., Ovalle D.A. Modelo de evaluación de Sistemas de Inteligencia Ambiental utilizando un Vector de Características Intrínsecas. II Congreso de Inteligencia Computacional. Medellín, Colombia. 2011.
- Tesis parcialmente financiada por el proyecto de investigación de la DIME titulado: “Modelo de sistema híbrido inteligente para el monitoreo de variables físicas usando redes de sensores inalámbricos y sistemas multi-agente” con código: 20201007312, de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.
- Tesis parcialmente financiada por el Programa Jóvenes Investigadores e Innovadores “Virginia Gutiérrez de Pineda” de COLCIENCIAS.

2. Marco teórico

En este capítulo se describen los conceptos teóricos básicos de esta tesis, los cuales son: Sistemas Multi-agente, Redes de Sensores Inalámbricas e Inteligencia Ambiental, los cuales conformarán la fundamentación base para el entendimiento y desarrollo del trabajo propuesto.

2.1 IAD, Agentes y Sistemas Multi-agente

Las diferentes áreas de la computación permiten resolver una infinidad de problemas, entre ellas la IAD que abarca tanto Agentes como entes individuales y su correspondiente asociación en Sistemas Multi-Agente.

2.1.1 Inteligencia Artificial Distribuida (IAD)

Una rama emergente del área de las Ciencias de la computación es la Inteligencia Artificial (IA), la cual busca simular la inteligencia humana o en otras palabras crear máquinas inteligentes. En el desarrollo de esta ciencia, se encuentran varias ramas importantes tales como visión artificial, planificación, aprendizaje de máquina, robótica inteligente, Sistemas Multi-Agente (SMA), entre otras, que contribuyen al desarrollo de esta área.

Un sistema que consiste de un grupo de agentes que pueden interactuar potencialmente uno con otro es llamado un Sistema Multi-Agente (SMA), y el subcampo correspondiente de la IA que se ocupa de los principios y del diseño de los SMA se llama IA distribuida (IAD) [Vlassis, 2007]. Además de contemplar este conjunto de agentes que trabajan juntos para resolver un problema, la IAD abarca el área de investigación relativo a la resolución de problemas distribuidos, donde la tarea de resolver un problema particular puede ser dividida entre un número de módulos (o nodos) que cooperen dividiendo y

compartiendo conocimiento acerca del problema y su solución [O'Hare & Jennings, 1996].

2.1.2 Agentes de Software

Un agente es una entidad de software que puede actuar por sí mismo con el fin de alcanzar unos objetivos que se ha fijado inicialmente y además está caracterizado por una o varias cualidades tales como capacidad de razonamiento (inteligencia), percepción de su entorno y actuación con base a ciertas circunstancias (reactividad) [Russell & Norvig, 1996]. También, tiene la capacidad de actuar en forma proactiva, es decir, actúa sin necesidad de darle una orden y la habilidad de desplazarse de un lugar a otro (movilidad), entre otras características.

Según Wooldridge y Jennings (1995), un agente es un sistema de computador que está ubicado en algún ambiente, y está capacitado de acciones autónomas en este ambiente para cumplir sus objetivos planteados.

La primera definición de agente más general dada por G. W. Lecky- Thompson es: "Un agente es una pieza de software que ejecuta una tarea dada usando información obtenida de su entorno para actuar de forma apropiada para completar la tarea exitosamente. El software debe ser capaz de adaptarse a sí mismo en base a los cambios que ocurren en su entorno, para que un cambio en circunstancias le permita aún obtener el resultado deseado" [Pérez, 2000].

Otra definición describe los agentes inteligentes como entidades de software o hardware que exhiben características útiles tales como autonomía, modularidad, proactividad, adaptación, racionalidad, habilidad social, reactividad, continuidad temporal, orientación hacia el objetivo final, movilidad, benevolencia, colaboración, entre otras [Wooldridge, 2002].

Los agentes pueden clasificarse de muchas maneras, dependiendo de sus características, la tecnología que los soporta, la función que desarrollan o una combinación de éstas. Según su movilidad pueden ser agentes estacionarios o estáticos,

o agentes móviles; por su característica fundamental se dividen en agentes reactivos, agentes inteligentes, agentes autónomos y agentes adaptativos. Finalmente, según una combinación de sus características pueden ser agentes de interfaz, agentes colaborativos, agentes de información o agentes de aprendizaje.

2.1.3 Sistemas Multi-Agente

Un sistema que consiste de un grupo de agentes que pueden interactuar potencialmente uno con otro para lograr un objetivo común es llamado Sistema Multi-Agente (SMA) y debido a que éste está constituido por varias entidades independientes (agentes) necesita definir muy bien cómo están organizados, cómo se comunican, coordinan y cooperan, y finalmente como se controlan estos agentes para lograr un objetivo común.

- Organización: está relacionada con la estructura de las componentes funcionales del sistema, sus características, sus responsabilidades, sus necesidades y de la forma como realizan sus comunicaciones [Horfan, 2005].
- Comunicación: es el medio por el cual los agentes comparten conocimiento y se sincronizan para llevar a cabo sus tareas conjuntamente; los lenguajes de comunicación entre agentes son KQML y FIPA ACL [FIPA], aunque son similares, este último se caracteriza por ser más corto y preciso.
- Coordinación: es una propiedad de un sistema de agentes que realizan alguna actividad en un ambiente compartido [Weiss, 1999].
- Cooperación: se refiere a la forma como los agentes trabajan conjuntamente para lograr un objetivo global, la cual depende de la configuración organizacional del sistema.
- Control: se encarga de estimar el tiempo para la solución de una tarea, evaluar si se ha generado una solución para una subtarea, escoger entre varias subtareas a realizar basados en su importancia y determinar el contexto que debe ser utilizado por un agente para la solución de una subtarea.

Para el análisis y diseño de SMA se han creado varias metodologías, algunas de las más utilizadas son GAIA [Wooldridge et al., 1999], MAS-CommonKADS [Iglesias, 1998] e INGENIAS [Gómez, 2002], las cuales proporcionan modelos para capturar los principales rasgos del sistema y su entorno.

MAS-CommonKADS es una metodología de propósito general para el desarrollo de SMA, resultante de la extensión de CommonKADS, la cual ofrece un conjunto de modelos (plantillas textuales) que descomponen y estructuran el proceso de ingeniería de conocimiento. Además define un proceso para su desarrollo, donde los modelos juegan un papel muy importante [Bayer & Svantesson, 2001]. Existen seis modelos donde cada uno cuenta con una determinada información:

- Modelo organizacional: Describe la organización en la cual el SMA es introducido y la organización social de la sociedad de agentes.
- Modelo de tareas: Identifica y describe las tareas que deben realizar los agentes en el SMA con sus precondiciones y post-condiciones, salidas y entradas.
- Modelo de agente: Especifica las características del agente, entre ellas los atributos de nombre, tipo, subclase, rol, posición y grupo.
- Modelo de experiencia: Describe el conocimiento requerido por los agentes para alcanzar sus objetivos.
- Modelo de comunicación: Detalla las interacciones entre los humanos y agentes de software, y los factores humanos para el desarrollo de las interfaces de usuario.
- Modelo de coordinación: Describe las conversaciones entre agentes, sus interacciones, protocolos, y capacidades requeridas.
- Modelo de diseño: Se utiliza para describir la arquitectura y el diseño del SMA como paso previo a su implementación.

Por otra parte, GAIA es una metodología para el diseño de sistemas basados en agentes cuyo objetivo es obtener un sistema que maximice alguna medida de calidad global. Está compuesta por cinco modelos:

- Modelo de roles: Identifica los roles relevantes en el sistema. En otras palabras, un rol es lo que se espera que el agente haga en la organización, tanto en cooperación con los otros agentes como en lo relacionado a la organización misma.
- Modelo de interacción: Se enfoca en encontrar dependencias y relaciones entre varios roles en una organización multiagente.

- Modelo de agente: busca documentar los diferentes tipos de agentes que utilizará el sistema en su desarrollo, y documentar las instancias que simularán los agentes en ejecución.
- Modelo de servicios: Identifica los servicios asociados con cada uno de los roles de los agentes y también especifica las principales propiedades de estos servicios.
- Modelo de relaciones: Define los enlaces de comunicación entre los tipos de agentes.

Finalmente, INGENIAS es una metodología más reciente e intuitiva que utiliza meta-modelos como mecanismo de especificación, para los cuales su desarrollo está soportado por herramientas que permite el procesamiento automático de los modelos generados. Los meta-modelos definidos son:

- Meta-modelo de agente: describe agentes particulares y los estados mentales en que se encontrarán en su ciclo de vida.
- Meta-modelo de organización: define la forma en que se agrupan los agentes, la funcionalidad del sistema y qué restricciones existen sobre el comportamiento de los agentes.
- Meta-modelo de interacción: describe cómo se coordinan y comunican los agentes.
- Meta-modelo de entorno: define qué existe alrededor del nuevo sistema.
- Meta-modelo de tareas y objetivos: se usa para asociar el estado mental del agente con las tareas que ejecuta.

Como herramientas para su posterior construcción, se puede utilizar JADE (Java Agent Development Framework) ó AF (Agent Factory). JADE es un framework totalmente implementado en lenguaje Java, el cual facilita la implementación de SMA a través de un middleware que cumple con los estándares FIPA (organización que promueve la

tecnología basada en agentes y su interoperabilidad) y a través de un conjunto de herramientas gráficas que soportan las fases de depuración y despliegue. La plataforma de agentes puede ser distribuida a través de máquinas (las cuales no necesariamente deben compartir el mismo sistema operativo) y la configuración puede ser controlada a través de una interfaz gráfica de usuario remota [JADE].

Por otra parte, AF es un modular y extensible framework que proporciona un soporte comprensivo para el desarrollo y despliegue de aplicaciones orientadas a agentes [O'Hare, 1996]. AF hace parte de una iniciativa de investigación que busca comprender como las tecnologías de agentes pueden ser usadas para construir complejos sistemas distribuidos en un amplio rango de dominios de problemas, incluyendo computación móvil y ubicua, redes de sensores distribuidas, robótica social, y realidad aumentada. Éste es implementado en Java y está compuesto de tres partes fundamentales: Run-Time Environment (RTE), AF Deployment Process y Development Kits [Collier, 2006]. Además, existe una extensión de AF, llamada AFME (Agent Factory Micro Edition), que cumple el estándar para el desarrollo de agentes FIPA y expresa el estado interno del agente a través de nociones mentales de creencias y compromisos [Muldoon et al., 2006] [Muldoon, 2007].

Además, existen otras herramientas interesantes para la construcción de SMA tales como JADE_LEAP, JADEX, FIPA-OS, JASON, BESA, entre otras.

2.2 Redes de Sensores Inalámbricas (WSN) y Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Actualmente, las aplicaciones de WSN han aumentado considerablemente debido a la necesidad de monitorear el estado de un determinado entorno en tiempo real y gracias al Sistema de Posicionamiento Global, se puede determinar la localización de un objeto o persona dentro de éste.

2.2.1 Redes de Sensores Inalámbricas (WSN)

Las Redes de Sensores Inalámbricas o llamadas comúnmente WSN, son redes inalámbricas compuestas por varios dispositivos autónomos distribuidos llamados nodos

sensores, las cuales son capaces de crear sistemas de monitoreo y adquisición de datos del entorno donde son configuradas. Las WSN son un área emergente de los sistemas embebidos que tienen el potencial para revolucionar nuestras vidas en la casa y en el trabajo, con aplicaciones de gran escala, incluyendo monitoreo y conservación ambiental (por ejemplo en invernaderos), control industrial, administración de negocios, monitoreo estructural y sísmico, transporte, salud y domótica. En una WSN, cada nodo sensor posee capacidades de procesamiento, almacenamiento y sensado, y una comunicación radio entre nodos. Además, cada nodo está equipado con uno o más dispositivos sensores, tales como sensores de luz visible o infrarroja, campos magnéticos, resistencia eléctrica, aceleración o vibración, pH, humedad o temperatura, micrófonos acústicos y/o video o cámaras fotográficas [Zhao & Guibas, 2004].

Además, las redes de sensores son conscientes de su posición geográfica, por lo tanto se encuentran más ligadas al medio ambiente físico en el cual se encuentran que las redes centralizadas [Cheong, 2007].

Dentro del grupo de sensores inmersos dentro de una WSN, se encuentran los localizadores GPS que permiten conocer la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas (x,y,z) en tiempo real, los cuales son útiles para monitorear y rastrear objetos en estado estacionario o en movimiento.

Las WSN se caracterizan por ser redes homogéneas, debido a que están compuestas típicamente por nodos con las mismas características; por ser redes estacionarias o cuasi-estacionarias ya que sus nodos son estacionarios a menos que se trate del seguimiento de los movimientos de objetos, animales o personas; por ser relativamente dispersas gracias a que los nodos están dispersos en una grande región geográfica y poseen tamaños grandes usando hasta miles de nodos [Santi, 2005].

Las WSN poseen varios retos que deben ser tratados antes de desplegarlas e implementarlas a gran escala:

- Conservación de la energía: debido al tamaño reducido de los nodos, las baterías tienen poca capacidad, y la energía disponible es muy limitada.
- Comunicaciones de baja calidad: las WSN a menudo son implementadas en ambientes ásperos y a veces operan bajo condiciones climáticas extremas, por lo

tanto, esto puede generar que la calidad de la comunicación radio se vea afectada y el sensado se vuelva muy difícil.

- Operación en ambientes hostiles: en muchas ocasiones, se espera que las redes de sensores operen bajo condiciones ambientales críticas.
- Recursos limitados de cómputo: los protocolos para las redes de sensores deben esforzarse para proporcionar la calidad de servicio deseada a pesar de los pocos recursos disponibles.
- Procesamiento de información: dadas las restricciones de energía y la relativamente baja calidad de comunicación, la información recolectada por el nodo sensor debe ser localmente comprimida, y complementada con información similar generada por nodos vecinos.
- Escalabilidad: debido a la gran cantidad de nodos que pueden componer una WSN, la escalabilidad de protocolos para ésta debe ser considerada en la etapa de diseño.
- La falta de aplicaciones de fácil comercialización: es difícil para las compañías de electrónica comercializar aplicaciones basadas en redes de sensores debido a que son muy específicas al depender de un escenario determinado.

Aunque los nodos sensores poseen varias limitaciones y los desarrolladores se enfrentan a varios desafíos de diseño, existen varias ventajas para la instrumentación de un área con una red de sensores [Stojmenovic, 2005]. Entre ellas se resaltan un alto nivel de tolerancia a fallas en la WSN debido al despliegue denso de un gran número de nodos; una mejora en la calidad de sensado, combinando lecturas de múltiples sensores independientes y la evitación de cualquier factor ambiental en el entorno que interfiera con la observación del fenómeno deseado debido a que los nodos son desplegados muy cerca al evento sensado.

Además, las WSN cuentan con una lista de métricas que determinan el funcionamiento de éstas, entre las más importantes se encuentran el rendimiento de energía/tiempo de vida del sistema, la latencia, la precisión, la tolerancia a fallas, la escalabilidad y la capacidad de transporte/rendimiento [Mahgoub & Ilyas, 2006].

Una red de sensores es diseñada para realizar una serie de tareas de procesamiento de alto nivel tales como detección, seguimiento o clasificación, entre otras. Los agentes inmersos en estas redes optimizan algunas tareas como la toma de decisiones y otras mencionadas anteriormente como la eficiencia en el consumo de energía. Por lo tanto surgen muchas áreas de aplicación de esta integración, donde además pueden existir sensores GPS que brinden la localización de algún elemento dentro de la red o incluso de esta misma. Entre estas áreas se encuentran: el monitoreo y control industrial, la medicina, los entornos de alta seguridad y fines militares, la agricultura inteligente y sensado ambiental, y la automatización del hogar [Asensio et al., 2009].

Los nodos sensores inalámbricos más conocidos son los tmotes, mica2, Xbee – microcontrolador y los diseñados recientemente por Sun Microsystems llamados Sun SPOT. Estos nodos o comúnmente conocidos como motes se comunican a través de alguna tecnología inalámbrica (IEEE 802.15.4, Bluetooth, UWB) para WSN que cuenta con varias características útiles teniendo en cuenta las limitaciones que se tienen debido a su tamaño (ver tabla 2.1).

Tabla 2.1. Módulos comerciales para WSN [Fernández et al., 2006], [Sun SPOT]

	Tmote Sky	Mica2	Xbee	SunSPOT
Descripción	Módulo sensor inalámbrico de bajo consumo con USB	Módulo sensor inalámbrico de bajo consumo (no 802.15.4)	Módulo RF XBee/XBee-Pro	Módulo sensor inalámbrico de fácil programación (IEEE 802.15.4)
Sistema operativo	TinyOS	TinyOS	Tradicional	Java
Empresa	Moteiv	XBOX	Digi	Sun Microsystems
Velocidad de transmisión de datos RF	250 kbps	Velocidad de transmisión FSK hasta 76.8 KBaud	250 kbps	250kbps
Frecuencia	2,4 GHz	Multicanal 868/916 MHz, 433 MHz o 315	2,4 GHz	2.4 GHz y 2.8325 GHz

		MHz		
--	--	-----	--	--

De la comparación de estas tecnologías inalámbricas se puede inferir que el uso de ellas dependerá considerablemente del tipo de aplicación y del diseñador de la WSN.

2.2.2 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El sistema de posicionamiento global, GPS, es un sistema mundial de navegación y localización desarrollado e impulsado por el departamento de defensa de los Estados Unidos creado inicialmente con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo; utiliza conjuntamente una red de ordenadores (estaciones en tierra) y una constelación de 24 satélites para determinar por triangulación, la altitud, longitud y latitud de cualquier objeto en la superficie terrestre [Pozo-Ruz et al., 2000]. La altitud es la distancia vertical entre un punto dado y otro punto considerado como nivel cero, el cual es el nivel medio del mar; las líneas de longitud o meridianos van de polo a polo y dividen la circunferencia de la Tierra (el Ecuador) en 24 horas; y las líneas de latitud o paralelos son aquellas que rodean la circunferencia de la tierra en el plano horizontal.

Los satélites artificiales son utilizados por el GPS, como punto de referencia para el cálculo de posiciones de puntos sobre la superficie de la tierra [Casanova, 2002] y cada uno emite de manera continua una señal indicando su posición y la hora de sus relojes atómicos.

El sistema GPS tiene por objetivo calcular la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas (x,y,z), basándose en la medición de distancias a partir de señales de radio transmitidas por un grupo de satélites artificiales cuya órbita se conoce con precisión, y captadas y decodificadas por receptores ubicados en los puntos cuya posición se desea determinar.

Si se miden las distancias de al menos tres diferentes satélites a un punto sobre la tierra, es posible determinar la posición de dicho punto por triangulación. Supóngase que un receptor en la tierra capta una señal de un primer satélite determinando la distancia entre ambos, lo cual indica que el receptor puede estar ubicado en un punto cualquiera dentro

de la superficie de una esfera de radio R_1 . Si se mide la distancia de un segundo satélite al mismo receptor se generará una superficie esférica de radio R_2 , que al interceptarse con la primera esfera se formará un círculo en cuyo perímetro pudiera estar ubicado el punto a medir. Si se agrega una tercera medición, la intersección de la nueva esfera con las dos anteriores se reduce a dos puntos sobre el perímetro del círculo descrito (Figura 2.1), donde uno de estos dos puntos puede ser descartado por ser una respuesta incorrecta. Finalmente, debido a la imprecisión del reloj del receptor es necesario un cuarto satélite para resolver el respectivo error.

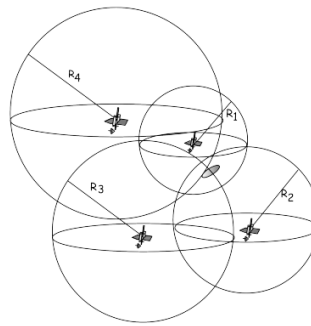


Figura 2.1. Esquema de la intersección de las señales de 4 satélites para la determinación de la posición de un objeto en tierra

2.2.3 Modelos de integración de WSN y MAS

Debido a las limitaciones presentes en una WSN como se mencionó anteriormente, investigadores han empleado diferentes tecnologías para el mejoramiento del funcionamiento de la red. De ahí que la tecnología de agentes podría ser deseable para estas redes altamente distribuidas por ejemplo, en términos del manejo de la red inteligente y la recolección de información. Los agentes han sido desplegados anteriormente en WSN principalmente para procesar los datos sin tratamiento de forma inteligente con el fin de reducir las transmisiones, el cual es el factor más importante en la determinación de la longevidad de la red. Otras aplicaciones han usado agentes para el enrutamiento de paquetes en la red; y otras en el control de iluminación para la conservación inteligente de energía. Sin embargo, los sistemas multi-agente para WSN son escasos.

Tynan, Ruzzelli y O'Hare proponen una metodología para el rápido desarrollo de un MAS para WSN que proporciona una prueba y depuración completa, lo cual no está disponible en los dispositivos de las WSN actuales. Este método permite que los programadores desarrollen y depuren exhaustivamente sus aplicaciones usando por ejemplo un computador ó portátil antes de la implementación de los agentes a los dispositivos de la WSN. El objetivo de esta metodología es adquirir una descripción de la aplicación e implementarla usando agentes para aprovechar de las capacidades de procesamiento adicionales y minimizar las transmisiones a través del procesamiento local inteligente de los datos sin procesar [Tynan et al., 2005].

En [Marsh et al., 2004] se compara el funcionamiento de un esquema de transmisión basado en agentes inteligentes versus un esquema más simple que no está basado en agentes. El radio de un nodo sensor es usualmente el componente que más consume energía, por lo tanto, se busca reducir las transmisiones y recepciones. Para observar lo anterior, se desarrolló una aplicación sobre un detector de intrusos bajo estos esquemas. La metodología basada en agentes monitorea la información que está muestreando en intervalos de medio segundo para cambios repentinos, los cuales en este caso equivalen a eventos de intrusión. Cuando no hay eventos detectados, éste transmite los resultados solo cada ocho segundos y al presentarse un evento lo hará cada medio segundo. El esquema simple muestrea y transmite cada dos segundos.

Se encontró que al transmitir solo cuando había algo que valiera la pena reportar, la solución basada en agentes usaba el radio dos veces y medio menos que el esquema simple mientras que lograba una precisión de 91% contra el 77% del esquema simple. La energía ahorrada que se obtiene reduciendo las transmisiones permite una mayor tasa de muestreo la cual genera el incremento en la precisión. Esto demuestra que el ahorro de energía puede mejorar la calidad de la información proporcionada por una WSN.

En [Piedrahita et al., 2009] se propone un modelo de integración de agentes inteligentes móviles dentro de WSN para resolver algunas limitaciones como consumo de energía, organización de los nodos en la red, reprogramación de tareas de la red, confiabilidad en la transmisión de la información, la optimización de recursos, entre otros en la topología de la WSN. Las técnicas para agentes móviles propuestas e implementadas en este trabajo tales como migración, clonación, difusión, mutación y suicidio son de gran utilidad

en el modelo de diseño debido a la estructura de la WSN. Algunas de estas técnicas pueden ser triviales en plataformas con mejores recursos en procesamiento, almacenamiento y consumo de energía pero en una WSN esto se vuelve un reto debido a sus recursos limitados.

La difusión por inundación desarrollada para los agentes móviles en WSN, demostró que la eficiencia muestra el desperdicio de energía en los nodos. Sin embargo, este desperdicio es compensado cuándo se analiza la ventaja que brinda la técnica de difusión por inundación al reducir sustancialmente el tiempo convergencia de la red.

Existen muchas áreas de aplicación de esta integración, entre ellas se encuentran: monitoreo y control industrial, medicina, entornos de alta seguridad y fines militares, agricultura inteligente y sensado ambiental, y automatización del hogar [Asensio et al., 2009].

2.3 Computación ubicua e Inteligencia Ambiental (Aml)

El área de TIC (Tecnologías de la información y la comunicación) ha avanzado vertiginosamente en la creación de sistemas más simples y además completos, que sirvan de igual manera tanto a personas normales como a desarrolladores de software a realizar ciertas actividades; entre los nuevos campos que abarcan estas cualidades se encuentran la computación ubicua, la Aml y los conceptos relacionados con ellos.

2.3.1 Computación ubicua

El término “computación ubicua” fue planteado por primera vez en 1991 por Mark Weiser, en su artículo “The Computer for the 21st Century” [Weiser, 1991], en el cual describe entornos repletos de elementos dotados de capacidades de computación y comunicación, integrados de forma transparente al usuario, y capaces de proporcionar información adaptada a las necesidades del usuario y a las características del entorno.

La W3C [W3C] define la computación ubicua como un paradigma emergente de computación personal que se caracteriza por el tipo de dispositivos de acceso utilizados (dispositivos de cómputo pequeños, inalámbricos, que se manipulan fácilmente con una o ambas manos). Estos dispositivos requieren arquitecturas de red capaces de soportar su configuración automática y ad-hoc, que tengan en cuenta las características del ambiente

en el que se desarrolla la computación ubicua tales como heterogeneidad, movilidad, autonomía, alta distribución, entre otros.

Las características que definen la computación ubicua son la ubicuidad, la transparencia y la sensibilidad al contexto. La primera de ellas se refiere a la capacidad de la computación de estar presente en cualquier lugar, la segunda implica la invisibilidad de la computación para el usuario y la última que el entorno sea capaz de reconocer a las personas y el contexto que lo rodean y adaptarse a ellos.

La computación ubicua brinda un conjunto de elementos que facilitan actividades cotidianas y permiten que las personas interactúen de forma transparente con los sistemas computacionales [Carretero & Bermejo, 2005]. Entre ellos se encuentran: una red LAN que interconecte componentes, dispositivos de usuario (computadores, portátiles, PDAs), periféricos (pantallas, teclados, etc), dispositivos de procesamiento y almacenamiento de datos, sensores y objetos cotidianos dotados de tecnologías de comunicación y computación.

2.3.2 Interacción usuario-sistema (HCI)

Los procesos de comunicación de información llevados a cabo entre un usuario y un sistema y sus consecuencias sobre las actividades realizadas por ellos, son denominados conjuntamente como “interacción hombre-máquina” o “interacción hombre-computador” (HCI, Human-Computer Interaction).

La forma primitiva de interacción de las personas con los computadores está basada en la comunicación con teclados, pantallas y mouse, donde las interfaces gráficas de usuario necesitan de una manipulación directa o una interfaz WIMP (window, icon, menú, pointing device). Estas últimas presentan varias limitaciones, entre ellas, el teclado y el mouse no son buenos para la interacción en movimiento, no existe percepción del contexto, poseen poca memoria, no aprenden ni se adaptan y están capacitados para manejar gran cantidad de información. Por lo tanto, para superar estas restricciones surgen tres nuevos paradigmas que facilitan la HCI, los cuales son: la unión del mundo

físico y digital, las interfaces de usuario inteligentes y los ambientes sensibles [Maes, 2007].

Desde el punto de vista de la actitud del usuario durante la interacción, ésta puede ser:

- **Explícita:** Cuando es necesaria la iniciativa del usuario para realizar cualquier tarea, es decir, el usuario debe comenzar el proceso de interacción solicitando al sistema que lleve a cabo alguna acción concreta.

La interacción explícita contradice el concepto de computación invisible e interfaces transparentes. Esta requiere siempre un tipo de diálogo entre el usuario y un sistema particular o computador con el cual se esté interactuando en ese momento. Este dialogo causa que el computador sea inevitablemente el centro de la actividad y que los usuarios se centren en la interfaz o en la actividad de la interacción [Schmidt, 2005].

- **Implícita:** Son aquellas cuyo control lo gestionan los propios dispositivos dotados de capacidades de computación y comunicación denominados artefactos, o las aplicaciones.

Presenta un proceso en el cual el sistema adquiere de forma implícita la información del contexto y es capaz de presentar, también de forma implícita, su respuesta al usuario.

Una entrada implícita son acciones y comportamientos de humanos, los cuales son realizados para lograr un objetivo y no son considerados primordialmente como interacciones con un computador, sino que son capturadas, reconocidas e interpretadas por un sistema de computador como entrada. Por otro lado, una respuesta implícita es una respuesta de un computador que no está directamente relacionada a una entrada explícita y la cual se integra perfectamente con el ambiente y la tarea del usuario.

La idea básica de la entrada implícita de datos es que el sistema puede percibir la interacción del usuario con el entorno, y también, la información sobre la situación completa en la que está teniendo lugar una acción. Basándose en esta

percepción, el sistema es capaz de anticipar las intenciones del usuario, ofreciendo un mejor soporte a las actividades que éste está realizando.

2.3.3 Computación sensible al contexto (context-aware computing)

El contexto es definido como cualquier información que puede ser utilizada para caracterizar la situación de una entidad. Una entidad es cualquier persona, lugar u objeto, que es considerado relevante para la interacción entre un usuario y una aplicación, incluyendo a los propios usuarios y aplicaciones [Dey, 2000]. La información de contexto está formada por todos los datos capaces de definir los diferentes eventos que tengan lugar en el entorno inteligente y que pueden ser percibidos y comunicados por considerarse relevantes para los servicios ofrecidos por el entorno. Además, también se considera información de contexto todos los datos relativos a las relaciones entre los distintos eventos [Carretero & Bermejo, 2005]. Cada evento está caracterizado por unos atributos que expresan el lugar y momento que ha ocurrido el evento, su función, participantes y motivo.

La computación sensible al contexto se refiere al software que se adapta de acuerdo a su localización de uso, el conjunto de personas y objetos cercanos, como también los cambios de estos objetos en el tiempo. Otra definición se refiere a ella como la habilidad de los equipos de cómputo a detectar y sensor, interpretar y responder a aspectos del entorno local del usuario y de los equipos de cómputo mismos.

Según Ferscha [Ferscha, 2003], los entornos sensibles al contexto observan a los objetos en el mundo real e interactúan con ellos de un modo pro-activo, autónomo, responsable y autorizado por el usuario. La inteligencia del contexto (context-awareness) se refiere a la capacidad del sistema de reconocer y localizar tanto a objetos como a personas y sus intenciones. El contexto se refiere a la información proveniente del entorno, como las preferencias del usuario y la información suministrada por los elementos inmersos en él.

Un servicio sensible al contexto es aquél que utiliza la información del entorno, con el fin de adaptar los servicios ofrecidos a las necesidades y características del usuario y al propio estado del entorno.

2.3.4 Características de la Aml

La Aml consiste en la creación de espacios donde los usuarios interactúan de forma natural y sin esfuerzo con los diferentes sistemas, gracias a que las tecnologías de computación y comunicación se vuelven invisibles para el usuario, al estar siempre presentes e integradas en los objetos cotidianos del mismo. Esta visión ha despertado un creciente interés por utilizar las tecnologías de la computación en la construcción de sistemas que soporten las actividades de la vida diaria de forma más eficiente. De esta forma, dentro de estos espacios se abarcan cualidades, como el reconocimiento y la acomodación de los diversos componentes que los constituyen, la personalización y la adaptatividad del sistema, el entendimiento del estado en determinada situación, la colaboración y la cooperación entre componentes del sistema y las características autónomas como auto-administración y auto-reparación [O'Hare et al., 2004].

Entre las características principales de un sistema de Aml se encuentran las siguientes:

- El entorno debe ser sensible al contexto, es decir, tener capacidad para adaptarse a la información proveniente del mismo.
- El acceso a la información, comunicación y servicios, debe realizarse de forma ubicua, inalámbrica y transparente para el usuario.
- La interacción hombre-máquina (usuario-sistema) debe realizarse de forma natural y no intrusiva.

Según E. Aarts [Aarts & Marzano, 2003], las cinco características principales de la Aml son:

- Embebida: muchos dispositivos conectados en red son integrados en el ambiente.

- Sensible al contexto: estos dispositivos pueden reconocer a las personas y la situación de su contexto en un momento determinado.
- Personalizada: estos dispositivos pueden adaptarse a las necesidades de las personas.
- Adaptativa: estos dispositivos pueden cambiar en respuesta a las personas y a su ambiente.
- Anticipativa: estos dispositivos pueden anticipar los deseos sin una mediación consciente.

Así, los entornos inteligentes (entornos de Aml) pueden implementarse según lo mencionado anteriormente en escenarios domésticos, espacios móviles, entornos públicos y espacios privados reducidos.

Un entorno podrá ser calificado como inteligente cuando, de manera no intrusiva, diversas tecnologías rodeen a los usuarios y se complementen para proporcionarles los servicios y prestaciones demandados o predecibles de demandarse, en donde se puedan hallar dichos usuarios.

Además, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado y debido a la necesidad de determinar cuando un sistema puede ser considerado como un Sistema de Inteligencia Ambiental o comúnmente llamado Sistema Aml, puede recurrirse a su evaluación a partir de la identificación de las características que exhibe como se propone en [Restrepo et al., 2011].

2.3.5 Tecnologías Implicadas en la Aml

El desarrollo de la Aml se debe a algunos avances tecnológicos que se han logrado en varias áreas de las tecnologías, como es el caso de la informática, donde actualmente se cuenta con nuevas formas de interacción hombre-máquina que se enfocan en la sistematización de los sentidos o características del ser humano, el incremento de las capacidades de procesamiento y el surgimiento de sistemas de procesamiento y

comunicación más simples y amigables para el hombre. En el área de la electrónica se han desarrollado gran cantidad de sensores y algunos dispositivos electrónicos se han miniaturizado de tal manera que son fáciles de introducir en elementos cotidianos; por otro lado, el desarrollo de redes de comunicación, especialmente las móviles e inalámbricas, permiten interconectar todos los sistemas e imprimirles portabilidad.

Todo este entramado tecnológico se puede lograr a través de tres tecnologías claves: computación ubicua, comunicación ubicua e interfaces inteligentes [Corrales et al., 2006].

La computación ubicua como se dijo anteriormente, se considera como el conjunto de elementos facilitadores de los entornos de Aml.

La comunicación ubicua se refiere a la interconexión de los objetos cotidianos dotados de capacidades de computación, para permitir una comunicación entre ellos y con el usuario, mediante redes inalámbricas tradicionales y redes ad-hoc, las cuales aportan movilidad y flexibilidad a los entornos de Aml. El usuario puede acceder a los servicios en cualquier momento y lugar, con el dispositivo que prefiera o disponga de modo transparente.

Este acceso es posible gracias a los diferentes niveles de redes de comunicación existentes y caracterizadas según su grado de cobertura [Villalba, 2008], de tal forma que, la red de área corporal BAN (Body Area Network) permite la conexión de sensores y dispositivos electrónicos en un rango un poco mayor al cuerpo humano, la red de área personal PAN (Personal Area Network) agrega los dispositivos personales del usuario, la red de área local LAN (Local Area Network) ofrece tanto redes fijas y móviles como internet y finalmente, facilitando la movilidad total al usuario está la red de área global WAN (Wide Area Network).

Finalmente, las interfaces inteligentes son interfaces de usuario diseñadas para soportar el control e interacción entre los usuarios y los objetos de una forma natural (voz, gestos) y personalizada (preferencias del usuario y del contexto). Además permite a los usuarios desarrollar tareas complicadas más rápidamente y con mayor precisión, causando un aumento de la eficiencia y de la satisfacción de los usuarios.

Se caracterizan normalmente por alguna de las siguientes propiedades, entrada multimodal en la cual se presenta una interacción usuario-sistema mediante diversos canales de comunicación simultáneamente (teclados y mouse, voz e identificación de

actos y gestos visuales); representación multimodal de la información donde la información presentada al usuario puede tomar diversos formatos. Además estas interfaces deben ser capaces de adaptar su comportamiento, tanto de actuación directa como de diálogo con el usuario por medio de la gestión de la interacción [Riva et al., 2005].

3. Estado del arte

Actualmente se han estado aprovechando al máximo las potencialidades de las TIC con el fin de ofrecer aplicaciones y/o servicios orientados a la asistencia y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas. La Aml como tecnología en pleno desarrollo y producto de la convergencia de otras áreas tecnológicas como agentes de software y WSN, está enfocada en realizar una variedad de aplicaciones para muchos dominios donde se trata de mejorar la interacción hombre-máquina y las actividades cotidianas de las personas, y en la cual muchas áreas de investigación, grupos de investigación, empresas y universidades están esforzándose por mostrar el futuro de esta fascinante ciencia. Además el uso de WSN y agentes juegan un papel significativo en la obtención de información del contexto y la toma de decisiones en dichas aplicaciones.

Por tal motivo, se han encontrado varios trabajos que abarcan en cierta parte lo que se ha mencionado en las secciones anteriores y las cuales serán descritas en este capítulo.

En [Eisenhauer et al., 2009] los autores Eisenhauer, Rosengren y Antolin presentan una plataforma de desarrollo (HYDRA) para integrar dispositivos inalámbricos y sensores heterogéneos en sistemas de Aml. La combinación de una Arquitectura orientada a Servicios (SoA) y una Arquitectura dirigida por Modelos (MDA), permite el desarrollo de servicios genéricos basados en estándares abiertos. Esta puede ser integrada dentro de redes de dispositivos distribuidos ya existentes con recursos limitados y posee varios componentes de software que soportan el desarrollo de aplicaciones inteligentes. Tiene la potencialidad de soportar una arquitectura a nivel semántico, donde se direcciona hacia un entendimiento común entre dispositivos y aplicaciones. Algunas de las limitaciones de este trabajo son el no tener en cuenta el perfil de usuario de las personas que interactúan con la plataforma, y además carece de integración de WSNs con agentes inteligentes que permitan realizar acciones de forma colaborativa y cooperativa.

La interacción de las personas con los sistemas es crucial en los entornos inteligentes y a partir de ésta es donde se busca la transparencia que se desea obtener en la comunicación, por lo tanto propuestas como la descrita por De Paola et al. en [De Paola et al., 2009] logran abarcarla. En ésta proponen un enfoque avanzado basado en el diseño de un framework modular, el cual analiza los datos sensados por una WSN, luego los procesa con el fin de extraer información relevante y lleva a cabo un razonamiento simbólico a partir de los conceptos inferidos generando como consecuencia un plan de acciones capaces de adaptar el entorno a los requerimientos del usuario. Además de monitorear variables del entorno, las WSN permiten observar las interacciones entre los usuarios y el entorno que los rodea gracias al despliegue de nodos cerca del lugar donde frecuentemente están ubicados los usuarios. Si bien, el modelo de capas sugerido brinda escalabilidad y la interacción implícita e explícita, este trabajo no presenta un enfoque de paradigma Multi-Agente, el cual pueda explotar al máximo sus características con el fin de aumentar el conocimiento del entorno; y además se encuentra en etapas preliminares que actualmente están en período de prueba.

Dentro del área de investigación y desarrollo europeo se encuentran realizando varios proyectos de Aml. En el proyecto AMIGO [AMIGO, 2004] se presenta una arquitectura middleware interoperable donde se habilita el concepto de Aml en un entorno de red doméstica abordando la conexión e integración de dispositivos y servicios de aplicaciones disponibles relacionadas con este tipo de red, entre ellos la electrónica de consumo, la automatización del hogar y la computación móvil y personal. Plantea una arquitectura estructurada en cada dispositivo de la red doméstica variando el tipo de aplicación dependiendo de la tarea que éste realiza, además está caracterizada por implementar el middleware que facilita un entorno en red con todo lo relacionado al manejo de los servicios; y los servicios inteligentes de usuario que facilitan un entorno de Aml (sensibilidad al contexto, perfiles de usuario, etc). Algunas de las limitaciones de este trabajo son que aunque se permite la interacción directa entre los dispositivos del entorno las WSNs sólo se utilizan como medio de sensado, es decir, obtienen la información de las variables físicas del entorno pero no cuentan con cualidades como autonomía, inteligencia, entre otras.

Por otro lado, en MyHeart [MyHeart, 2004], el cual está centrado en el ámbito de la salud, se propone diseñar y desarrollar dispositivos electrónicos y servicios, que ayuden al usuario a controlar su propia salud desde cualquier lugar, creando de esta forma entornos inteligentes que mejoren la calidad de vida de los ciudadanos. Este sistema se ha centrado en la gestión de problemas cardíacos a partir del monitoreo de constantes vitales de pacientes a través de sensores implantados en la ropa y en caso de una anomalía se envía una advertencia a éste y al personal médico para la pronta actuación que mejore su salud. Una limitación es que no presenta un enfoque Multi-Agente, el cual gracias a sus características pueda aumentar la eficiencia en la ejecución de ciertas acciones frente a la ocurrencia de una situación determinada.

Recientemente, se están incorporando agentes inteligentes en entornos de Aml para cumplir diferentes funciones con cierto grado de autonomía. Susperregi et al. en [Susperregi et al., 2004] proponen el uso de diferentes agentes que se coordinan con el fin de proporcionar servicios que faciliten el trabajo dentro de un entorno real de producción, entre ellos están: mostrar información del contexto dependiendo del perfil, la ubicación del usuario, y el dispositivo más adecuado; permitir el acceso a las funcionalidades de una máquina fresadora según la ubicación del usuario; y aprender y adaptarse a las preferencias del usuario. La única limitación que presenta, es que el componente de sensado se basa simplemente en la tecnología RFID, lo que limita únicamente al conocimiento de la posición dentro del sistema.

Con el fin de lograr interoperabilidad entre diferentes aplicaciones se ha optado por emplear enfoques orientados a servicios como la plataforma OSGi (Open Service Gateway initiative), y la cual junto con el uso de agentes como lo proponen Sebbak et al. en [Sebbak et al., 2010] logran desarrollar un framework de servicios ubicuos sensibles al contexto compuesto por varias capas (Multi-Agente, OSGi y física). El enfoque propuesto por este trabajo es dinámicamente configurable y extensible debido a la heterogeneidad y a la movilidad tanto de los dispositivos inteligentes como de los usuarios. Algunas de las limitaciones que presenta son que no integra WSN para sensar diferentes variables físicas, el modelo de contexto desarrollado no es completamente categorizado solo trabaja localización y variables físicas del entorno, y finalmente, no realiza un prototipo real solo implementa una simulación.

La tabla 3.1 presenta una comparación de trabajos realizados a nivel internacional, basada en criterios asociados a las características más relevantes en el área de Aml. El signo más (+) indica que los autores incluyen el criterio mencionado, el signo menos (-) que no incluyen el criterio y el signo de interrogación (?) que no es claro si se incluye o no el criterio.

Tabla 3.1. Comparación con trabajos relacionados en Inteligencia Ambiental (comunidad internacional)

	Susperregi et al, 2004	MyHeart, 2004	AMIGO, 2004	Eisenhauer et al, 2009	De Paola et al, 2009	Sebbak et al, 2010
Contexto Tecnológico	+	+	+	-	+	-
Contexto Espacio-Temporal	+	-	?	+	-	+
Contexto Social	-	+	-	-	-	-
Contexto del Entorno	-	+	+	-	+	+
Perfil de usuario	+	+	+	-	+	-
Adaptación Contexto	+	+	+	+	+	+
Adaptación Usuario	+	+	+	-	+	-
Personalización	+	+	+	-	?	-
Representación del Dominio de Aplicación	-	?	+	?	-	-
Integración de WSN	-	+	-	+	+	-
Integración de agentes	+	-	?	?	-	+

Los criterios establecidos son la definición de los diferentes tipos de contexto y del perfil de usuario, la adaptación al contexto y al usuario, la integración de WSN y la integración de agentes inteligentes. La personalización tiene en cuenta principalmente el perfil del usuario, pero a la vez, está íntimamente ligado al contexto. Así mismo, la representación del dominio de aplicación determina la forma de representar el conocimiento requerido para un determinado sistema de Aml.

En cuanto al ámbito nacional se han encontrado algunos trabajos incipientes en el área de Aml. En [Zapata & Sánchez, 2010] Zapata y Sánchez proponen un sistema inalámbrico para la supervisión de las variables ambientales de un invernadero donde a

partir de la medición de la temperatura y de la humedad del suelo, un usuario final puede controlar un sistema de riego. En [Gallego et al., 2010] los autores plantean el desarrollo de un monitor vestible de signos vitales para el cuidado de la salud, el cual consiste del despliegue de determinados sensores alrededor del cuerpo de un paciente con el fin de medir constantes físicas vitales tales como presión sanguínea y electrocardiograma. La limitación de estos sistemas de sensado es que no son autónomos, simplemente son medios de adquisición de datos.

Un sistema basado en Agentes que ofrece Servicios Personalizados a Clientes de Gimnasios es propuesto por Barraza et al. en [Barraza et al., 2010], el cual provee ciertos servicios como la recomendación de rutinas de ejercicios y dietas alimenticias, y la proporción de música dependiendo de las preferencias del usuario y de la actividad que realiza. Las principales limitaciones de este sistema es que no se tienen en cuenta los cambios dinámicos en el entorno, descuidando la información del entorno; adicionalmente, presenta solo las etapas de análisis y diseño, careciendo de una implementación y validación del modelo.

Finalmente, Hernández et al. en [Hernández et al., 2010], presentan un Sistema Híbrido Multi-agente para la detección y control de incendios ambientales simulados, el cual está conformado por un Sistema Multi-Agente y un Sistema Experto, desarrollado con el fin de brindar sugerencias sobre qué tipos de incendios se pueden generar en una zona específica o generar alarmas en situaciones consideradas de riesgo, con base a valores de temperatura o presencia de humo. Su principal limitación se debe a la falta de adaptación del sistema a la situación que está ocurriendo en el entorno, lo que implica que falta incluir información contextual tanto de tipo espacio-temporal como del entorno.

De forma análoga, se realiza una tabla comparativa de los trabajos relacionados con la Aml en el ámbito nacional (ver tabla 3.2).

Tabla 3.2. Comparación con trabajos relacionados en Inteligencia Ambiental (comunidad nacional)

	Hernández et al, 2009 (Unal)	Gallego et al, 2010 (UdeA)	Barraza et al, 2010 (PUJ)	Zapata & Sánchez, 2010 (UQuindio)
Contexto Tecnológico	+	+	+	+
Contexto Espacio-Temporal	-	-	-	-
Contexto Social	-	-	-	-
Contexto del Entorno	+	+	-	+
Perfil de usuario	-	-	+	-
Adaptación Contexto	+	-	+	?
Adaptación Usuario	-	-	+	-
Personalización	-	-	+	-
Representación del Dominio de Aplicación	+	-	?	-
Integración de WSN	-	+	-	+
Integración de agentes	+	-	+	-

De la comparación de los trabajos tanto internacionales (tabla 3.1) como nacionales (tabla 3.2) se puede concluir que aunque se tienen en cuenta algunos criterios importantes para Aml otros no son considerados. Por lo anterior, el objetivo de esta tesis es proponer un meta-modelo genérico que los contemple el cual será descrito en el siguiente capítulo.

4. Componentes principales para el Modelo de Inteligencia Ambiental propuesto

En este capítulo se describe el modelo de Aml propuesto teniendo en cuenta la conceptualización del área de la Aml descrita en los capítulos anteriores. En este se presenta una arquitectura, en la cual se definen varios modelos: Modelo de Contexto, Modelo del usuario, Modelo de dominio de aplicación, y Modelo de adaptación, además unos servicios dentro del paradigma de la Aml y finalmente, los facilitadores que hacen posible el desarrollo del modelo propuesto.

4.1 Descripción general del modelo de Aml propuesto

En la búsqueda de ofrecer sistemas que se adapten a las personas que los rodea e interactúen de manera natural para lograr la comunicación efectiva entre ellos se propone un meta-modelo (modelo compuesto por varios modelos) (ver figura 4.1), el cual está soportado por varios modelos fundamentales: Modelo de Contexto, Modelo del Usuario, Modelo de Dominio de Aplicación y Modelo de Adaptación. Además, éste puede proporcionar ciertos Servicios de Aml y puede lograrse por medio de WSNs y Agentes Inteligentes.

En la Figura 4.1 se puede observar la arquitectura del meta-modelo propuesto, la cual consiste de varias capas. La capa inferior está compuesta por la información del contexto y usuario, la capa intermedia se encarga de la adaptación y finalmente la capa superior define y contiene los servicios ofrecidos (desde uno hasta N servicios) dentro de este modelo. Además de estas capas, posee una capa transversal la cual describe el dominio de aplicación.

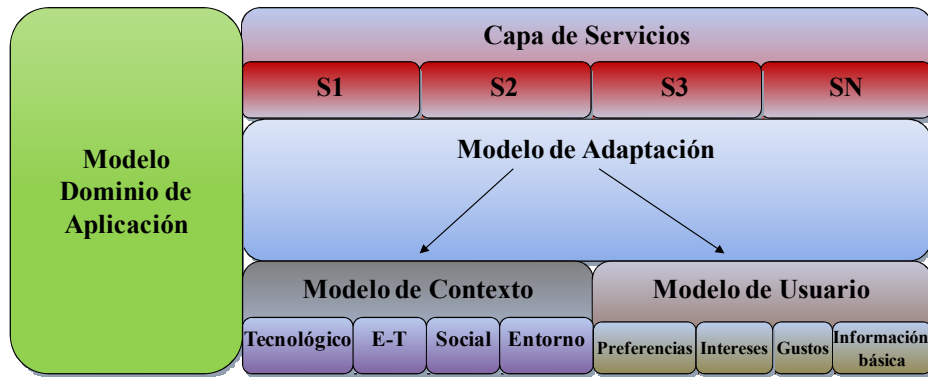


Figura 4.1. Meta-modelo de Aml

4.2 Modelo de contexto

El modelo de contexto contiene la información que caracteriza la situación actual en que se encuentra un usuario. En [Hong et al., 2007], basados en el comportamiento contextual del usuario proponen extender la noción de contexto y clasificarlo dependiendo de ciertas categorías como se muestra en la tabla 4.1, con el fin de brindar adaptación de servicios ubicuos en empresas.

Tabla 4.1. Clasificación de algunos contextos típicos en categorías según [Hong et al., 2007]

Contexto de computación	Contexto de usuario	Contexto físico
Dispositivos disponibles	Preferencias	Ubicación
CPU	Propósito	Tiempo
Memoria	Calendario de usuario	Lugar de destino
Tamaño de pantalla	Información personal	Condición de tráfico
Energía	Herramientas	Limitaciones físicas
Ancho de banda	Discapacidad	Clima

En Kirsch-Pinheiro et al. [Kirsch-Pinheiro et al., 2004] se propone un modelo de contexto que describe cinco puntos de vista: qué, cuándo, cómo, dónde y quién. La respuesta a estos interrogantes definen lo siguiente i) ¿qué? Qué tipo de información debe proporcionarse a los usuarios, la cual está íntimamente relacionada con las actividades y funciones de éstos; ii) ¿cuándo? Cuándo ocurren los eventos que generan información acerca del estado del otro a través de las interacciones en un espacio de trabajo y

cuándo se da la presentación de esta información; iii) ¿cómo? Cómo se presenta la información a los usuarios, cómo es su interfaz; iv) ¿dónde? Dónde se genera y presenta la información; v) ¿quién? A quién se adapta la información.

Debido a que las WSN pueden compararse con un ambiente colaborativo gracias a que cada nodo sensor realiza una tarea individual, es decir, recolecta información acerca de alguna(s) variable(s) física(s), y trabaja para lograr un objetivo global al mismo tiempo, el cual consiste en definir el estado actual del entorno donde son configuradas; entonces según el esquema planteado por Kirsch-Pinheiro et al., el modelo de contexto estaría definido de la siguiente forma: i) ¿qué? Información relacionada con la medición de variables físicas; ii) ¿cuándo? Tiempo en el que se realizan las mediciones y en el que transcurren los eventos; iii) ¿cómo? Despliegue de información acerca del estado del entorno en una interfaz gráfica; ; iv) ¿dónde? Lugar donde se realizan las mediciones y donde se localiza cada nodo sensor; v) ¿quién? Detección e identificación de personas dentro del entorno.

Según Hong et al., Dey y otros investigadores, el modelo de contexto puede incluir ciertas características tales como las mostradas en la figura 4.2.

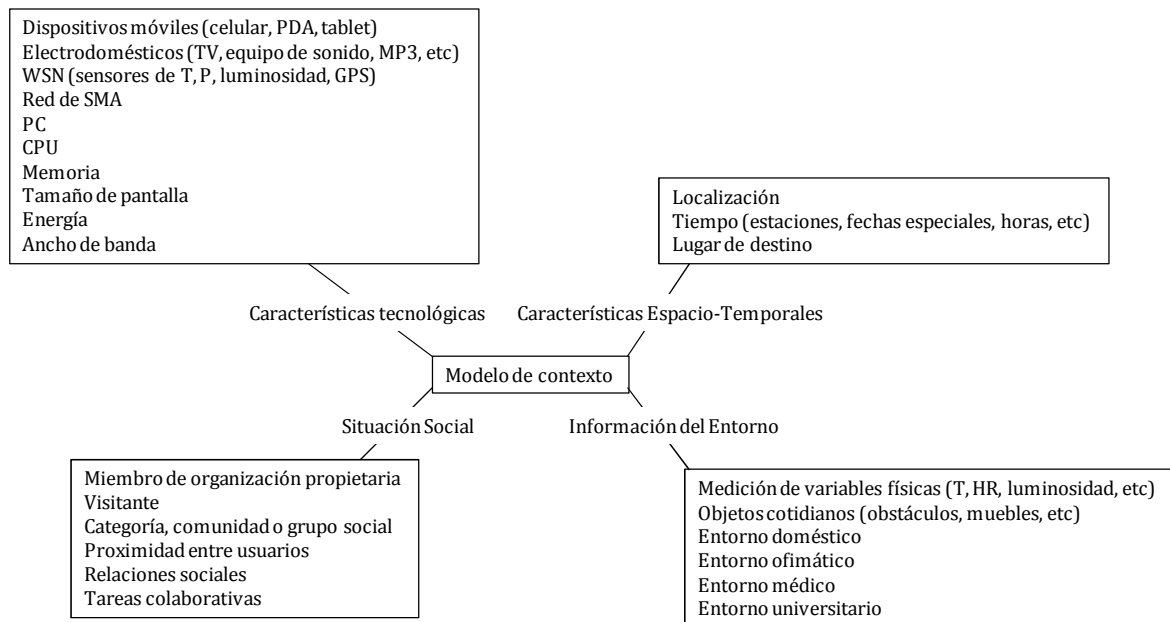


Figura 4.2. Elementos del Modelo de contexto

Mientras que en [Hong et al., 2007] plantean las características del usuario (modelo del usuario) dentro del modelo de contexto, la mayoría de investigadores en el área de personalización, adaptación e Inteligencia Ambiental describen el contexto y el perfil de usuario de forma separada, definiendo el contexto como todo lo relacionado a la situación actual del entorno en el que se encuentra un usuario (es decir, lo externo a él) y el perfil de usuario como todas las cualidades ó aspectos que lo identifican como persona (es decir, factores internos) y son relevantes para lograr el confort que se busca dentro de un entorno inteligente.

Para este modelo se proponen los siguientes tipos de contexto:

- Contexto Tecnológico: está compuesto por los dispositivos tecnológicos presentes en un determinado entorno, los cuales permiten la captura, transmisión y análisis de la información acerca de éste. Entre estos dispositivos están: los dispositivos móviles, los electrodomésticos, las WSNs y la red de SMA.
 - a. Dispositivos móviles: Los dispositivos móviles como dispositivos que portan las personas para comunicarse con otras o con aplicaciones, al mismo tiempo que se mueven libremente en algún lugar, están limitados por sus capacidades intrínsecas reducidas debido a su tamaño, tales como el tamaño de la pantalla, la memoria, el almacenamiento, entre otras [Carrillo et al., 2005]. Debido a esto, es necesario ofrecer servicios que se adapten al tipo de dispositivo que posea la persona de la mejor forma. Los dispositivos móviles más utilizados actualmente son celulares, PDAs, *tablets* (Figura 4.3).



Figura 4.3. Dispositivos móviles (celular , PDA, *tablet* respectivamente)

- b. Electrodomésticos: abarca los equipos eléctricos utilizados cotidianamente presentes en un determinado entorno tales como teléfonos, MP3, equipos de audio, TV, etc.
- c. WSN: están conformadas por varios nodos sensores capaces de adquirir información y monitorear el entorno donde son configuradas. Las WSN se agrupan de diferentes formas en busca de la mejor ubicación entre nodos para el envío y recepción de información. Estas agrupaciones se denominan topologías de la red, que definen la red tipo estrella y la red tipo malla (Figura 4.4).

En la primera, la red está formada por un elemento central, encargado de controlar la red, el cual recibe la información de los nodos end-point (no realizan tareas de procesamiento). Los nodos end-point envían los datos directamente al coordinador central y luego son retransmitidos a otros sistemas. Mientras que la segunda, está formada por varios módulos, donde la comunicación entre dispositivos se realiza sin un nodo central. Cada nodo inalámbrico actúa como un router, enviando y recibiendo datos de otros sensores o el gateway. En ambos casos, es usual tener un gateway para la comunicación con otras redes LAN o WAN, donde para una red malla puede ser uno o varios nodos con capacidades electrónicas adicionales; y para la red estrella es el coordinador de la red [Fernández et al., 2006].

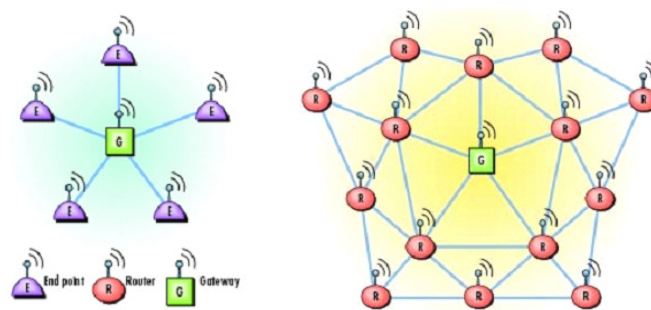


Figura 4.4. Red tipo estrella (izquierda) y tipo malla (derecha)

- d. Red de SMA: está conformada por varios agentes que trabajan en conjunto para alcanzar un objetivo global, los cuales para lograrlo pueden estar organizados de

distintas formas que están determinadas por la siguiente tipología de SMA [Ovalle, 2009]:

- ✓ Sistema jerárquico: posee una jerarquía fija donde se tienen diferentes niveles de agentes que trabajan distintos niveles de abstracción.
- ✓ Sistema en red: red de agentes todos conectados entre sí.
- ✓ Sistema federado: colección de grupos de agentes con un agente representante de grupo.

Estos agentes dependiendo de la plataforma donde son implementados pueden estar contenidos en uno o varios PC's [JADE Tutorial, 2009], en sistemas embebidos o incluso en las WSN, ejecutando sus tareas individuales pero siempre enfocados en alcanzar la meta común. Además de esta organización, los SMA cuentan con varias características, las cuales fueron mencionadas en la sección 2.1.3.

- Contexto Espacio–Temporal: está compuesto por información proporcionada por el entorno acerca de la localización de las entidades (personas u objetos) que lo habitan [Cortese et al., 2005] y el tiempo en el que transcurren los eventos o acciones que éstas realizan.

La localización además de ser información crítica para la mayoría de las interacciones, es el componente clave para muchas otras funciones, decisiones y recomendaciones de un sistema. Adicionando a esto, el lugar de destino de la entidad, en este caso, una persona, se podrá conocer la posible ruta de ésta.

Por otra parte, el tiempo comprende estaciones del año, fechas especiales, días relevantes en el mes o en la semana, intervalos de horas, varios minutos, entre otros; y necesita actualizarse continuamente con el fin de proporcionar información adecuada en el momento oportuno.

- Contexto Social: está relacionado con las personas y comunidad involucradas en el entorno inteligente, además de otros aspectos que les definen su situación social. Los usuarios pueden ser miembros de la organización propietaria del entorno o visitantes, para los cuales se brindan diferentes servicios. Además, los usuarios pueden ser de

diferentes categorías, comunidades o grupos sociales. Las primeras hacen referencia a un agrupamiento de individuos con similares características pero que no se comunican entre sí, como por ejemplo: estudiantes, profesores, profesionales, entre otros. Mientras que las comunidades y grupos sociales son conjuntos de personas que habitan un determinado espacio y comparten intereses y necesidades, siendo los últimos de carácter específico. Por ejemplo, comunidad religiosa, universitaria, colegial, deportiva; y grupo de tercera edad, caminantes, juvenil de teatro, etc.

Según [Steiniger], la situación social de un usuario está caracterizada por su proximidad a otros, sus relaciones sociales y las tareas colaborativas.

- Contexto del Entorno: está constituido por información acerca de variables físicas tales como temperatura, humedad relativa, luminosidad, entre otras [Jian et al., 2008], las cuales son obtenidas con ayuda de las WSNs. También incluye los objetos cotidianos del usuario tales como obstáculos, muebles, entre otros que están involucrados en la interacción del usuario con el entorno. Este tipo de contexto describe el tipo de entorno.

4.3 Modelo del usuario

El modelo del usuario es el componente clave en la construcción de sistemas de software interactivos, los cuales son capaces de reconocer y adaptarse a las necesidades de usuarios particulares en todas las etapas de uso, ya sean usuarios principiantes o expertos [Magerkurth et al., 2006].

Debe aclararse que cuando se habla de personalización se refiere a la adaptación a la persona como ente individual, mientras que la adaptación al perfil de usuario se hace basada en la categoría del usuario, es decir, a un grupo general de personas.

Con la personalización se pretende adaptar los servicios a las características del usuario (mencionadas más adelante) y al estado del entorno con el fin de que éste pueda realizar sus actividades de una forma más agradable y acorde a sus necesidades.

Según varios investigadores, entre ellos Orozco et al., Susperregi et al. y Pérez, el modelo de contexto puede incluir ciertas características tales como las mostradas en la figura 4.5.

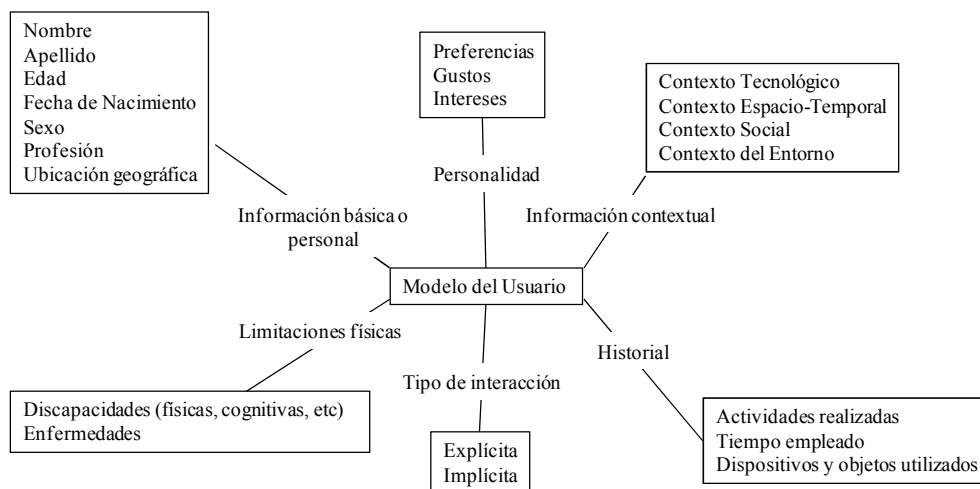


Figura 4.5. Elementos del Modelo del Usuario

Para este caso, las características que definen el modelo del usuario propuesto son:

- **Preferencias:** los usuarios suelen tener sus propias preferencias que determinan sus decisiones en una situación en particular. Estas preferencias se caracterizan por tener mayor afinidad o inclinación hacia algo.
- **Gustos:** se definen a largo plazo, siendo un placer o deleite que se experimenta por algún motivo o se recibe de cualquier cosa. Por lo general, dichos gustos son mantenidos durante largos periodos en la vida de las personas [Orozco et al., 2008]. Según [Pérez, 2010], los gustos se refieren a la parte sensorial y generalmente son permanentes, por ejemplo gusto por escuchar música o ver tv.
- **Intereses:** a diferencia de los gustos, los intereses de los usuarios generalmente cambian a lo largo del tiempo, por lo cual los servicios ofrecidos deben estar a la altura de los requerimientos y necesidades de los usuarios. Estos son influenciados por la moda, el cambio climático, las estaciones, la edad u otros aspectos a corto plazo.
- **Información básica ó personal:** es la información de un usuario que lo representa como persona e identifica en el sistema. Entre las características se pueden

mencionar el nombre, apellido, edad, fecha de nacimiento, sexo, ubicación geográfica (característica relacionada con la ciudad donde se encuentra el usuario) entre otros. Esta información no cambia frecuentemente.

La creación del perfil de usuario (Figura 4.6) consiste en una entrada explícita por parte del usuario acerca de sus preferencias, gustos, intereses relacionados con un determinado dominio de aplicación e información básica del usuario, la cual se configura previamente a la ejecución del sistema de Aml.

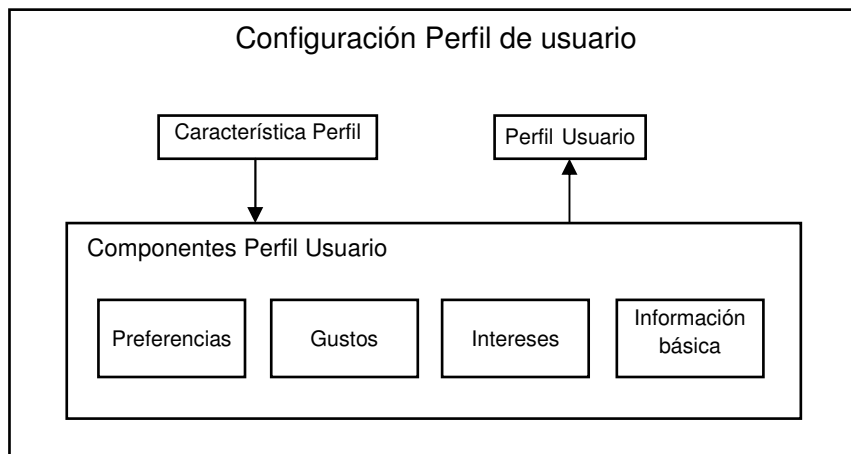


Figura 4.6. Configuración de Perfil de Usuario

4.4 Modelo de dominio de aplicación

En el modelo de dominio de aplicación se almacena la información necesaria para definir los componentes del sistema, es decir, el conocimiento requerido para lograr la adaptación del sistema dependiendo del área de aplicación, comúnmente llamada dominio de aplicación (por ejemplo, salud, energía, entretenimiento, toma de decisiones en compra de acciones, entre otros), permitiendo focalizar con mayor precisión el tipo de servicios que se requieran. Además de describir información relacionada con el contexto y el usuario, puede incluir otro conocimiento asociado al dominio de aplicación y que no sea abordado por los modelos de contexto y usuario (por ejemplo, para el dominio de aplicación de salud, es necesario saber la clasificación de alimentos para recomendar dietas), los actuadores necesarios para la adaptación del entorno, entre otros aspectos.

Este modelo puede ser representado con un diagrama de clases u ontologías, siendo el segundo tipo de representación el que proporciona una definición más completa del dominio debido a que permite crear muchas relaciones con las cuales puede inferirse a partir de ellas. Según [Arango & Zapata, 2006], el modelo de dominio agrupa los conceptos del mundo y muestra las clases conceptuales (idea, cosa u objeto) significativas del dominio del problema, sus atributos y sus relaciones, donde se representan clases conceptuales del mundo real y no componentes software como bases de datos o clases de lenguajes de programación como C++ o Java, las cuales permiten el soporte de la funcionalidad requerida por el sistema. La representación del modelo de dominio mediante diagramas de clases muestra las clases, atributos y relaciones entre ellas con cajas rectangulares de la siguiente forma (Figura 4.7).

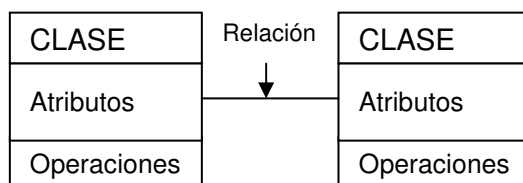


Figura 4.7. Simbología básica del Diagrama de Clases

Por otro lado, se puede crear una ontología de un dominio dado, la cual tiene la capacidad de proporcionar un vocabulario para la especificación de requisitos de una o más aplicaciones, en este caso se utiliza la ontología como una especificación y puede ser vista como un modelo del dominio. Los elementos que componen una ontología son [Quero, 2007]:

- Conceptos: cualquier entidad sobre la que se puede decir algo, y a la cual se le puede dar un nombre. Además de esto también pueden ser una descripción de una tarea, función, acción, estrategia, etc. Por ejemplo: coche, hombre, árbol.
- Relaciones: representan una interacción entre conceptos del dominio. Por ejemplo: subclase-de, parte-de, etc.

- Funciones: tipo concreto de relación, donde se determina un elemento a través del cálculo de una función que implica varios elementos de la ontología.
- Axiomas: sentencias siempre verdaderas para dicho dominio.
- Instancias: conceptos concretos. Por ejemplo: Silvia, Ferrari.

4.5 Modelo de adaptación

Una característica que no puede faltar en un entorno inteligente es la adaptación, la cual está íntimamente relacionada con la forma cómo interactúan las personas con el entorno de Aml, enfocada siempre en la satisfacción de éstas. La adaptación en un entorno inteligente es mediada por agentes de software con ciertas características, quienes actúan enfocados en alcanzar un objetivo determinado por los eventos que están ocurriendo en el entorno.

El modelo de adaptación puede estar caracterizado por varios elementos como se puede apreciar en la figura 4.8.

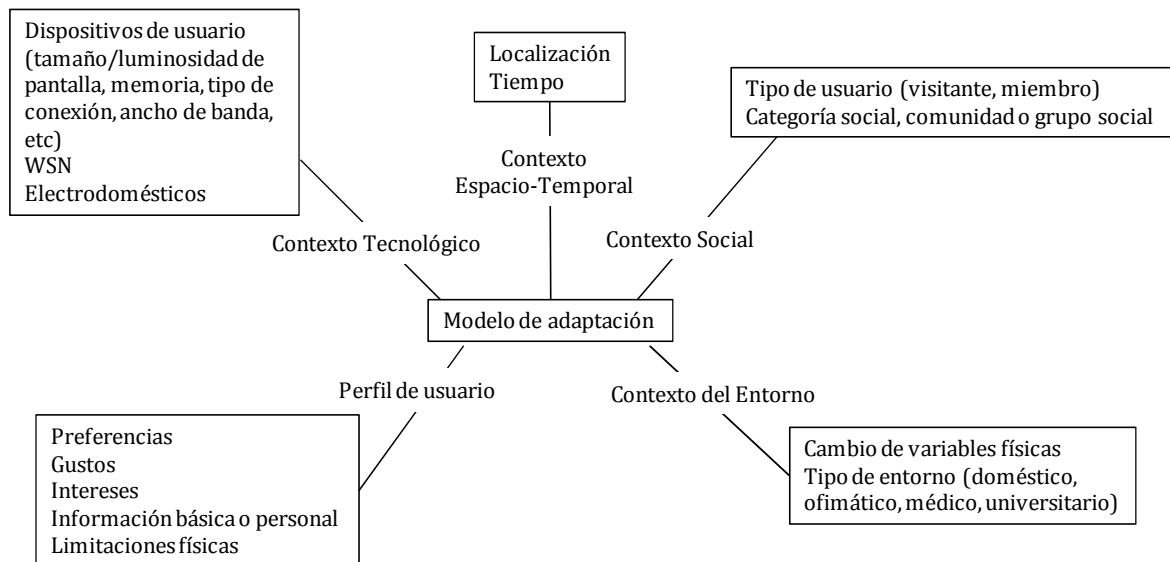


Figura 4.8. Elementos del Modelo de adaptación

El modelo de adaptación propuesto aborda las siguientes categorías y se estructura de la forma mostrada en la figura 4.9, debido a que el entorno inteligente con el fin de ofrecer los mejores servicios al usuario puede adaptarse dependiendo de:

- Perfil del usuario: El conocimiento del usuario a partir de su perfil es altamente significativo para obtener una apropiada adaptación del sistema de Aml a éste. Por ejemplo, como en el caso del suministro de música en [AMIGO] o la adecuación del sistema de iluminación dependiendo de las preferencias de los usuarios.
- Tipo de contexto: : Teniendo en cuenta la tipología del contexto mencionada previamente, es necesario identificar las diferentes categorías en la adaptación de ese contexto, como en el caso de [Kolari et al., 2004], quienes clasifican este proceso en 4 categorías:
 1. Adaptando la interacción: mejorar la interfaz de usuario, para la captura de información, teniendo en cuenta la experiencia del usuario.
 2. Adaptando el servicio: Ofreciendo servicios personalizados, recomendación de productos, ofertas de fácil acceso a servicios relevantes para la ubicación o tareas del usuario, etc.
 3. Adaptando el contenido: Ofreciendo información relevante al usuario teniendo en cuenta su perfil y tareas.
 4. Adaptando el entorno: Ofrecer al usuario un entorno que se adapte a sus necesidades.

La adaptación dependiente del contexto está ligada a la sensibilidad del contexto, la cual pretende expresar que el sistema tiene conocimiento del entorno o contexto en el cual se desarrollan las aplicaciones y es capaz de adaptarse a esa información. De acuerdo a la categorización mencionada en el Modelo de contexto, en esta propuesta se puede apreciar la adaptación según el contexto:

- Tecnológico: debido a las limitaciones de los dispositivos de usuario es indispensable adaptarse a ellos de tal forma que se proporcione la información necesaria de la mejor manera, en el momento oportuno y con el dispositivo más adecuado. Entre estas restricciones están: tamaño y calidad de la pantalla, memoria, tipo de conexión y ancho de banda, consumo de energía, procesamiento, entre otras. Además, un entorno inteligente podrá adaptarse a los objetos cotidianos del usuario presentes en el entorno, los cuales están implicados en la interacción usuario-sistema, como ocurre en el sistema AMIGO [AMIGO, 2004].
- Espacio-Temporal: en la Aml se busca que un usuario se pueda mover libremente a través de un determinado lugar y que al mismo tiempo se le estén ofreciendo los mismos o diferentes servicios, es decir, que el mismo entorno sea quien se adapte y proporcione información al usuario dependiendo de su ubicación y tiempo en que realiza una determinada actividad. Por ejemplo, como se propone en [O'Hare & O'Grady, 2003].
- Social: los servicios que se prestan en un entorno inteligente diferirán dependiendo de la categoría social a la que pertenezca el usuario. El entorno se adaptará de forma diferente a un niño y a un adulto mayor, mientras que para el primero un sistema inteligente que suministra música dispondrá de temas infantiles para el segundo proveerá música clásica o de tonalidad suave.
- Del entorno: los sistemas inteligentes tendrán la capacidad de adaptarse a los cambios ocurridos en determinadas variables físicas. Como en el caso de MyHeart [MyHeart, 2004] que a partir de la medición de variables relacionadas con problemas cardíacos, el sistema es capaz de adaptarse y enviar alarmas o notificaciones a personal especializado. Además, dependiendo de los objetos presentes que determinan el tipo de entorno, por ejemplo, universitario, doméstico, empresarial, discoteca, etc. se podrán ofrecer servicios que faciliten las actividades de los usuarios.

Por lo tanto, la adaptación (ver figura 4.9) consiste en que a partir de la recolección de la información contextual, el dominio de aplicación y la configuración del perfil del usuario a

través de una interfaz (almacenados previamente por el modelo de contexto, el modelo de dominio de aplicación y el modelo del usuario, respectivamente), se ejecute un determinado procesamiento que será realizado por un módulo de razonamiento con el fin de adecuar el entorno a determinado usuario.

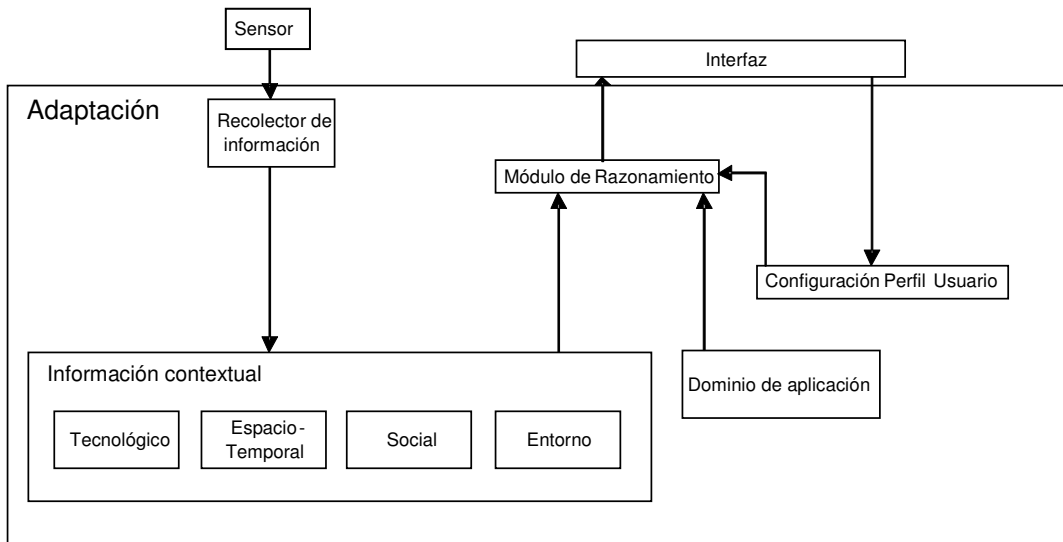


Figura 4.9. Esquema general del modelo de adaptación

El Modelo de Adaptación adquiere el contexto del Modelo de Contexto, el cual le proporciona la descripción de cada tipo de contexto: Contexto Tecnológico, Contexto Espacio-Temporal, Contexto Social y Contexto del Entorno, los cuales consisten de información relacionada con el usuario que puede ser obtenida a través de los mismos dispositivos de usuario, o en algunos casos, por medio de un formulario ó plantilla (como el caso del Contexto Tecnológico y Social) e información recolectada explícitamente por los diferentes sensores que componen la WSN (como el caso del Contexto Espacio-Temporal y del Entorno). Es recomendable almacenar toda esta información en una base de datos con el fin de mantener un orden que facilite el almacenamiento y consulta de ésta de manera efectiva.

El perfil de usuario es adquirido a través del Modelo de Usuario, donde por medio de un formulario (desplegado en una interfaz gráfica de usuario) el usuario ingresa sus características consideradas relevantes para el sistema inteligente a desarrollar, para las

cuales también es necesario recolectar en una base de datos que permita luego la consulta en cualquier momento.

Finalmente, con la información del contexto y del perfil de usuario, el Modelo de Adaptación ejecuta un módulo de razonamiento que alimentado a su vez, con el dominio de aplicación (el cual provee la ontología del dominio, donde se asegura que todos los componentes del sistema tengan el mismo vocabulario) logran evaluar un conjunto de estrategias de adaptación y ejecutar un conjunto de acciones que logren la adaptación del entorno a un determinado usuario. El mecanismo de razonamiento propuesto para este modelo es el razonamiento basado en reglas, el cual permite la conexión con la capa de servicios debido a que a partir de la ocurrencia de ciertos antecedentes o condiciones, se ejecutarán una serie de acciones que corresponden a un servicio particular.

Es importante aclarar, que el sistema inteligente que se desarrolle según el modelo de Aml propuesto responderá ante cambios en el contexto debido a que gracias al modelo de adaptación continuamente se está consultando la base de datos del contexto y en caso de que haya algún cambio relevante, se ejecutará la acción correspondiente con el fin de proporcionar los servicios que logren el confort del usuario.

4.6 Servicios de Inteligencia Ambiental

Los usuarios de un entorno inteligente son provistos de una gran variedad de servicios que les permiten realizar ciertas actividades, los cuales deben estar siempre disponibles, en cualquier momento y en cualquier lugar. Además, el acceso a éstos debe realizarse en forma ubicua, inalámbrica y transparente para el usuario. Dichos servicios dependerán del dominio de aplicación, por lo tanto, no se considera un esquema o patrón específico para su descripción, como ocurre con los modelos de Contexto y Usuario.

Un entorno inteligente será capaz de proporcionar en tiempo real nuevos servicios en diversos ámbitos que mejoren la calidad de vida por medio de la creación de las adecuadas atmósferas y funcionalidades. En estos escenarios pueden ofrecerse ciertos servicios [Villalba, 2008], entre ellos se pueden encontrar:

- Entorno doméstico: automatización; comunicación, socialización e intercambio de experiencias; descanso y entretenimiento; trabajo y aprendizaje.
- Transporte y movilidad: gestión tráfico, navegación, asistencia en viajes, seguridad, información y entretenimiento.
- Comercio: M-Commerce, publicidad personalizada.
- Cultura, ocio y entretenimiento: herencia cultural, participación cultural, nuevos medios, entretenimiento, deporte y fitness.
- Medio ambiente: sistemas pervasivos de detección, redes de vigilancia.
- Salud y atención social: gestión de enfermedades, rehabilitación, apoyo a la decisión/adherencia al tratamiento.
- Apoyo a la vida independiente: apoyo para actividades de la vida diaria, seguridad y gestión de riesgo, integración social, movilidad.

Los servicios pueden ser clasificados en dos grandes grupos:

- Servicios Pull: en estos servicios el usuario es el encargado de solicitar la información directamente al proveedor de servicios. Por ejemplo, cuando un usuario pide un servicio de recomendación del itinerario de un tour por una ciudad.
- Servicios Push: en esta clase de servicios el usuario no es el encargado de solicitar la información, por el contrario el proveedor de servicios le envía la información sin autorización del usuario. Son servicios que son automáticamente inicializados cuando un evento ocurre. Por ejemplo, los servicios de publicidad dependiendo de la localización del usuario.

Además de estos servicios de propósito general, existen dos tipos de servicios fundamentales dentro del enfoque de Aml: servicios sensibles al contexto y servicios basados en localización.

4.6.1 Servicios sensibles al contexto

Un servicio sensible al contexto es aquél que utiliza la información del entorno, con el fin de adaptar los servicios ofrecidos a las necesidades y características del usuario y al propio estado del entorno.

Algunas de las funciones que pueden realizar estos servicios son [Riva et al., 2005]:

- Suministro de información
- Conocimiento del estado del entorno físico y su control
- Soporte del trabajo remoto
- Soporte del trabajo colaborativo
- Gestión de recursos compartidos en red (dispositivos y aplicaciones)
- Personalización de los modos de interacción entre el usuario y los servicios
- Gestión de los servicios suministrados

Existe un subconjunto de estos servicios, llamado Servicios basados en localización, los cuales se basan en uno de los componentes principales del contexto, es decir, la localización.

La GSM (Grupo especial Móvil) define los LBS (LBS, por su acrónimo en inglés Location based-Services) como aquellos servicios que usan la localización de un objetivo para ofrecerle un servicio de más valor, ese objetivo es cualquier entidad (persona, cosa, lugar, etc.) que necesita ser localizada [Küpper, 2005].

Los componentes que interactúan con un LBS son: dispositivos móviles, una red de comunicación, un sistema de posicionamiento, un proveedor de servicios y un Sistema de Información Geográfica (SIG).

4.6.2 Servicios sensibles al contexto según el modelo de contexto propuesto

Por cada tipo de contexto definido en el modelo de contexto propuesto, se podrá ofrecer una diversidad de servicios sensibles al contexto de la siguiente manera:

- **Contexto tecnológico:** debido a las restricciones de dispositivos móviles y WSN relacionadas con el tamaño, la memoria, el almacenamiento, etc., es vital ofrecer servicios que se adapten a ellos de la mejor manera. Los servicios que se pueden ofrecer en este contexto son la presentación y captura de información dependiendo del tipo de dispositivo según las diferentes cualidades de cómputo y gráficas que posean. Esta categoría incluye a los agentes, quienes son los encargados de ofrecer los servicios dentro del sistema Aml del modelo propuesto.
- **Contexto Espacio– Temporal:** se puede ofrecer una diversidad de servicios dependiendo de este contexto gracias a su amplia exploración. Entre ellos están los servicios basados en localización tales como: guías turísticos, mapeos automatizados, navegación en carros, rutas, búsqueda de alguien, publicidad, gestión de tráfico, información sobre el estado atmosférico, juegos móviles, asistencia en emergencias, mercadeo, operaciones militares y estadísticas demográficas.
- **Contexto Social:** en un sistema Aml pueden ofrecerse diferentes servicios dependiendo de la categoría del usuario. Por ejemplo, al ser éste un miembro de una organización propietaria del sistema, se le proporcionarán servicios relacionados con su trabajo tales como acceso a la intranet corporativa, y en caso de ser simplemente un visitante, se le facilitarán servicios adaptados al objetivo de su visita tales como la consulta de información sobre la organización. Otros servicios pueden ser la proporción de música y recomendación de recetas

dependiendo de las personas involucradas en el entorno, y la proporción de información dependiendo de las relaciones sociales entre ellas.

- **Contexto del Entorno:** según este tipo de contexto pueden proveerse servicios relacionados con la asistencia en situaciones de emergencia médica o de desastres naturales; la recomendación de actividades dependiendo del estado atmosférico; y la adecuación del entorno incluyendo los objetos presentes en él, tales como cortinas, iluminación, electrodomésticos, entre otros con el fin de lograr la satisfacción de los usuarios en sus actividades.

4.7 Facilitadores de meta-modelo propuesto

Las WSN y los agentes como facilitadores de la articulación del modelo de inteligencia ambiental propuesto, deben estar dotados de unas cualidades especiales con el fin de poder satisfacer las condiciones del enfoque de Aml.

El papel de las WSN en un entorno Aml es proporcionar los niveles superiores del sistema con respuestas a las preguntas W5+: Who: seguimiento e identificación de los actores del entorno; Where and When: proporciona un intervalo de tiempo para las asociaciones de localización y objeto para determinar el contexto; What: reconocimiento de actividades, interacciones, etc; Why: asociación de acciones con la semántica de la acción, identificación de tareas y patrones de comportamiento; How: Seguimiento del flujo de información a través de múltiples modalidades, reconociendo las movimientos, etc [Pauwels et al., 2007].

Las WSN como medio de adquisición de información que brinda el conocimiento del contexto, debe poseer ciertas características para poder modelar el ambiente inteligente, entre ellas están:

- Disponer de sensores en el ambiente y en el cuerpo de las personas (sistema distribuido) que adquieran los datos acerca del ambiente y estado del usuario, con el fin de conocer el contexto de éste.

- En algunos casos, será necesario el uso de actuadores controlados por la WSN que harán posible la realización de acciones en el ambiente físico de un usuario.
- Es necesario transmitir los datos de los sensores al elemento del sistema donde está el mecanismo de inteligencia. La elección de la mejor topología de red será crucial para la adecuada transmisión de datos en un sistema Aml.
- Es necesario, la integración e interoperabilidad de la red de sensores en el ambiente, en el cuerpo (BAN) con las redes Personal, Local, Metropolitana y Global.
- Las redes de sensores incorporadas a estos sistemas también requieren de configuraciones ad-hoc para adaptarse al entorno, estableciendo comunicaciones temporales y auto-configurables.

Por otro lado, los agentes deben contar al menos con las siguientes características [Pérez, 2000] para permitir la provisión de servicios y la adecuada adaptación del entorno para el beneficio del usuario y la realización de tareas como seguimiento, control y toma de decisiones en un dominio de aplicación específico:

- Proactividad: agentes no solo responden a cambios sino que pueden tener un comportamiento con una iniciativa propia hacia una meta dirigida.
- Adaptitividad: agente debe ser capaz de ajustarse a sí mismo a los hábitos, métodos de trabajo y preferencias de su usuario, así como a su contexto con el fin de ofrecer los servicios demandados.
- Autonomía o Semiautonomía: agente opera sin o con poca intervención directa de los humanos y debe tener una cierta clase de control sobre sus acciones y su estado interno.

- Reactividad: agentes perciben su entorno y responden en un tiempo razonable a los cambios que ocurren en él. El agente puede estar en estado pasivo la mayor parte del tiempo y despertar al momento en que detecte ciertos cambios.
- Inteligencia o racionalidad: el agente siempre actuará para lograr sus metas y no actuará de una forma que evite la consecución de las mismas.
- Movilidad: agente debe ser capaz de suspender su ejecución en un servidor y reanudarla en otro servidor una vez que se haya desplazado a éste.

Por lo tanto, este componente presenta la WSN y el Sistema Multi-Agente desarrollados con el fin de implementar el modelo, y además describe la integración de ambos. Debido a que el modelo es genérico, entonces el mecanismo de integración puede variar dependiendo de las plataformas usadas para el desarrollo de ambos facilitadores y del dominio de aplicación.

5. Implementación de prototipo (Caso de estudio)

En este capítulo se describe la validación del modelo de Aml propuesto teniendo en cuenta la conceptualización del área de la Aml descrita en los capítulos anteriores. En este se detalla la arquitectura propuesta, y se presenta un caso de estudio que pretende evaluar el modelo propuesto en un entorno universitario, en el cual se exhibe la respectiva definición de cada componente, es decir, los cuatro modelos descritos anteriormente, los servicios de Aml ofrecidos y los facilitadores que permiten su implementación en dicho dominio de aplicación. Además se describe el escenario de validación y los resultados obtenidos a partir de éste.

5.1 Descripción de arquitectura general

Con el fin de validar el meta-modelo presentado en esta tesis se propone la arquitectura mostrada en la figura 5.1 para desarrollar sistemas de Aml, donde se presentan todos los elementos relacionados con la Inteligencia Ambiental considerados en éste.

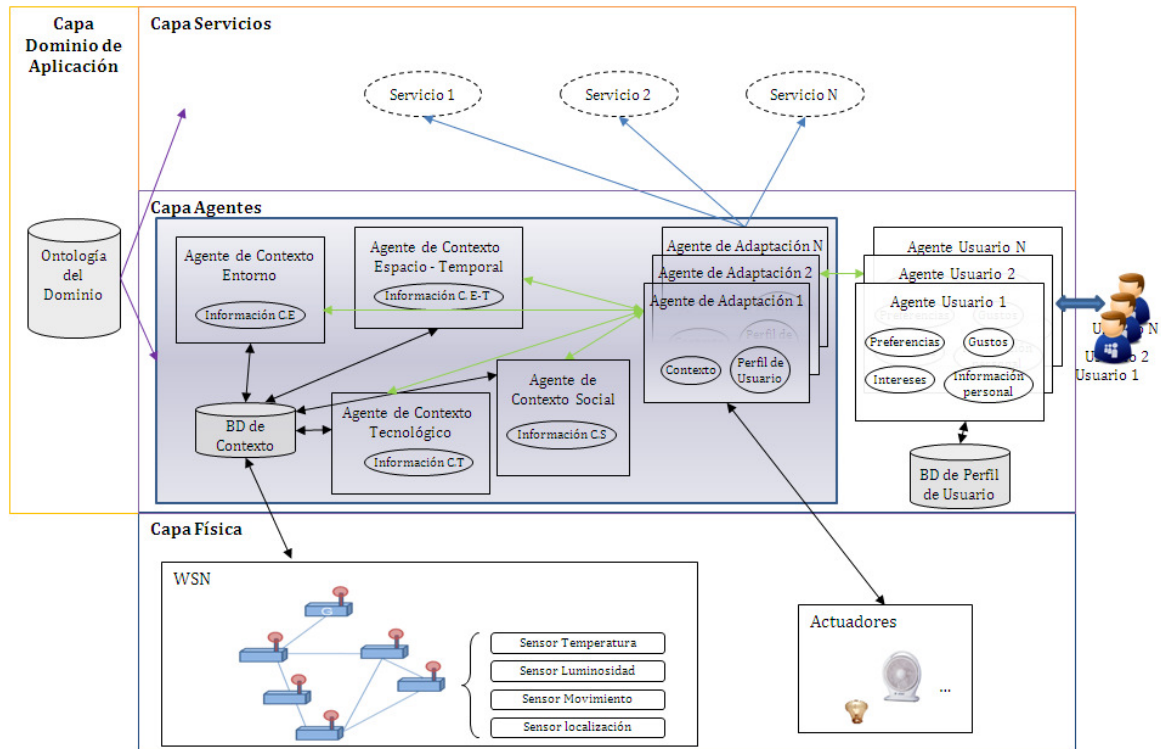


Figura 5.1. Arquitectura propuesta para la validación del modelo

Dicha arquitectura consta de los siguientes elementos: una capa física compuesta por la WSN que adquiere información del entorno y unos actuadores capaces de realizar acciones sobre él; una capa intermedia compuesta por la comunidad de agentes encargados de la adaptación y una capa superior que provee los diferentes servicios a los usuarios. Además, posee una capa transversal donde está la ontología del dominio de aplicación cuya función es nutrir de conocimiento a las capas de agentes y de servicios.

La capa de agentes está conformada por los agentes encargados de manejar la información de cada tipo de contexto, llamados Agente de Contexto Tecnológico, Agente de Contexto Espacio-Temporal, Agente de Contexto Social y Agente de Contexto del Entorno, los cuales obtienen información de una base de datos de contexto que es alimentada por una WSN. Además, se incorpora un agente usuario por cada usuario, el cual se encarga de representarlo y almacenar su perfil en una base de datos (BD). Finalmente, la arquitectura contiene un agente de adaptación por cada usuario cuyo rol

es servir de coordinador y administrador de la comunidad de agentes asociada a determinado usuario, el cual basado en el contexto y en el perfil de un usuario ofrece servicios de la capa superior activando determinados actuadores de la capa física con el fin de adaptar el entorno para lograr la satisfacción del usuario.

Con respecto a los tipos de agentes de contexto, se trató de seguir un esquema modular donde cada uno administra su correspondiente información, lo que implica que ante una densa cantidad de información, el agente debería tener la capacidad de filtrar información irrelevante ó realizar un procesamiento previo al envío del contexto al agente de adaptación. Además, pueden existir casos en que sea necesario que el agente de contexto maneje un historial del estado del entorno que logre una descripción más completa del contexto y que permita obtener de manera eficiente la adaptación requerida en éste.

Además, es necesario tener por lo menos un agente de contexto y un agente de usuario que se encarguen de gestionar la información relacionada tanto con la consulta de bases de datos como con la actualización de ésta (en el caso que sea necesaria), además con la implementación de estos agentes se trata de aprovechar las cualidades de los agentes tales como modularidad, habilidad social, entre otras.

5.2 Caso de estudio – Laboratorio inteligente (SmartLab)

A continuación se presentan cada uno de los modelos que componen el modelo de Aml, es decir, el modelo de contexto, el modelo del usuario, el modelo de dominio de aplicación y el modelo de aplicación, además de los servicios de Aml y los facilitadores del meta-modelo propuesto para el caso de estudio acerca de un laboratorio inteligente.

5.2.1 Modelo de contexto

Para cada tipo de contexto, la información que va a ser tomada en cuenta es la siguiente:

- Contexto Tecnológico: Tipo de dispositivo de usuario (portátil, celular, PDA, computador, etc).
- Contexto Espacio-Temporal: ubicación de usuario y tiempo.

- Contexto Social: categoría social a la que pertenece el usuario, es decir, si es artista, deportista o investigador.
- Contexto del Entorno: medición de variables físicas tales como temperatura, luminosidad, identificación de usuarios con RFID y localización realizadas con diferentes tipos de sensores. Además este tipo de contexto define al entorno como un entorno universitario.

5.2.2 Modelo del usuario

El modelo del usuario está compuesto por la información del perfil de cada usuario, donde se define lo siguiente:

- Preferencias: determinado nivel de calefacción y cantidad de luz en el entorno (clima cálido, frío o templado; iluminación tenue, brillante o normal, etc.)
- Gustos: determinada asignatura o tema (Física, Ciencia de la Computación, Deportes, Artes)
- Intereses: ambientes amenos, ambientes relajantes o mantenerse informado
- Información básica o personal: Nombre, carrera, identificador único RFID

5.2.3 Modelo de dominio de aplicación

El modelo de dominio de aplicación de este caso de estudio está representado por una ontología que abarca el conocimiento necesario para la definición de un entorno inteligente, la cual permite una comunicación más clara y formal entre el modelo planteado y los agentes que requieran información del entorno y/o usuario. A través de esta ontología se formaliza la información y se convierte en conocimiento, que puede ser fácilmente comprendido por agentes de software de acuerdo a los estándares FIPA.

Debido a que un entorno inteligente está definido por varias aspectos inmersos en él y como el modelo de Aml propuesto posee determinada información para cada tipo de contexto y ciertas características para describir el perfil es necesario complementar esta información con la correspondiente a otros aspectos inherentes al modelo tales como, el tipo de entorno, sala y sensor. En la figura 5.2 se puede apreciar la ontología del dominio de aplicación propuesta que detalla dicha información en 9 conceptos que representan diferentes estructuras con varios atributos, y 2 predicados que representan el estado del

mundo, los cuales corresponden a Enviar Perfil de usuario y Enviar Contexto y Perfil, siendo estos últimos los elementos enviados entre los agentes.

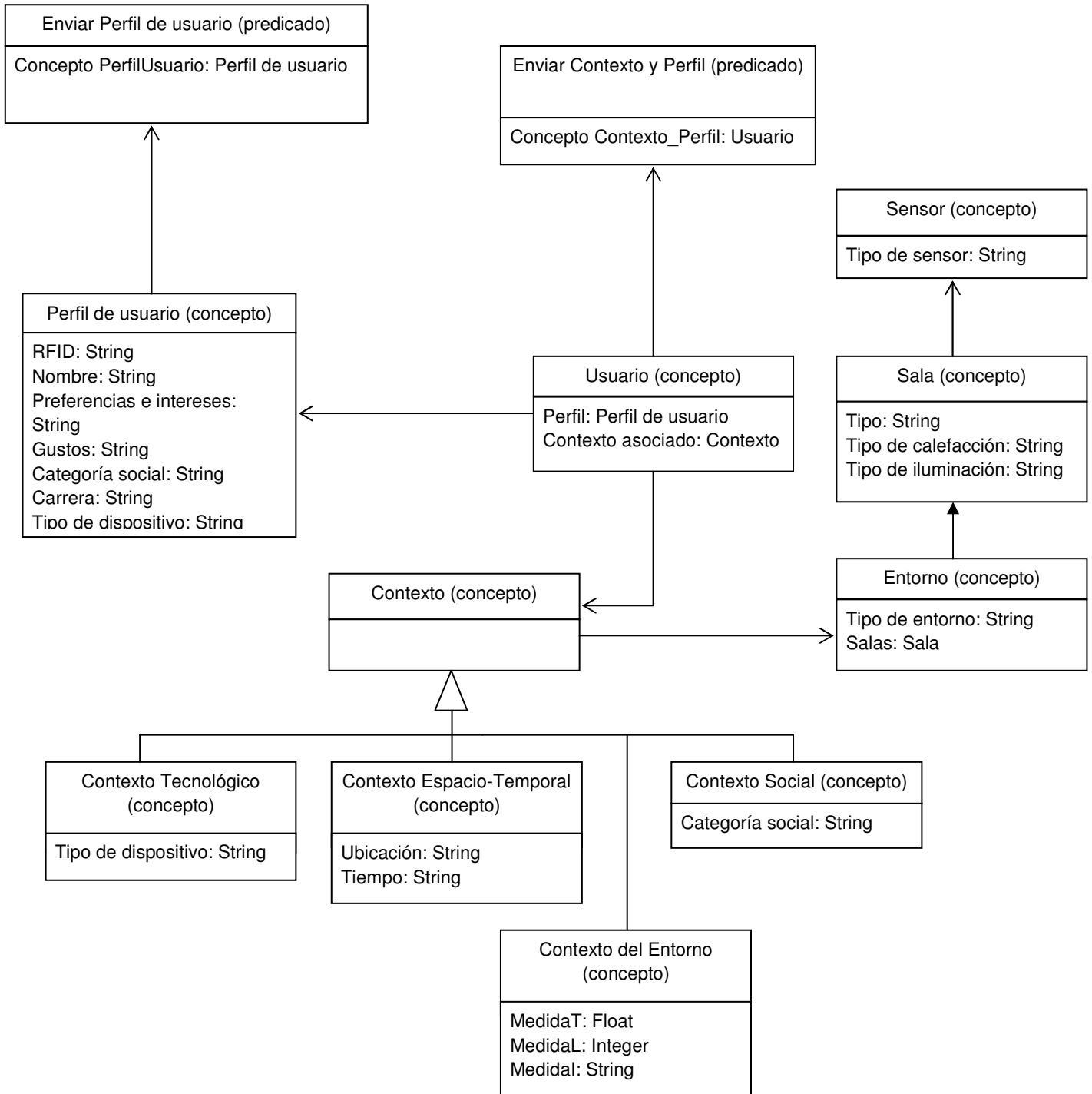


Figura 5.2. Ontología propuesta

Para la construcción de la ontología se usó la herramienta de edición de ontologías llamada protégé, en la cual se insertaron los conceptos y los predicados a través de la opción “Create Class”, y para los atributos se empleó la opción “Create Slot”, obteniendo la organización jerárquica mostrada en la figura 5.3. Luego, se generó el código fuente en Java con la opción BeanGenerator con el fin de poder integrar la ontología al Sistema Multi-Agente desarrollado.

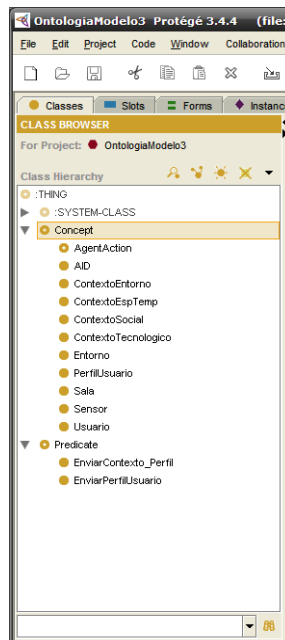


Figura 5.3. Creación de ontología en protégé

5.2.4 Modelo de adaptación

Este modelo define las formas de adaptación que se pueden tener con el fin de ofrecer los mejores servicios al usuario, dependiendo de:

- Perfil de usuario: pueden realizarse adaptaciones según las preferencias e intereses (generando la adecuación del sistema de calefacción e iluminación, y la proporción de recomendaciones respectivamente), y los gustos e información básica (generando la proporción de información de acuerdo a éstos) de los usuarios.

- Tipos de contexto: pueden realizarse adaptaciones según el contexto tecnológico (adecuando la información proporcionada al tipo de dispositivo), el contexto espacio-temporal (adecuando el entorno según la ubicación del usuario), el contexto social (generando recomendaciones), y contexto del entorno (adaptación según estado del entorno).

5.2.5 Servicios de Inteligencia Ambiental

Los servicios de Aml que proveerá el modelo propuesto para este caso de estudio son los siguientes:

Servicio 1: Proporcionar recomendaciones acerca del espacio que más se acomoda al usuario según su perfil de usuario (intereses) y contexto social.

Servicio 2: Adaptar el entorno con respecto a la luminosidad. El sistema inteligente tendrá la capacidad de controlar el sistema de iluminación teniendo en cuenta las preferencias del usuario en cuanto al nivel de confort con el que se deseen encontrar en el entorno, por ejemplo, si el usuario le gusta estudiar con un nivel alto de luminosidad (iluminación brillante), el sistema inteligente encenderá todas las luces posibles con el fin de adecuar el entorno al usuario.

Servicio 3: Adaptar el entorno con respecto a la temperatura. El sistema inteligente tendrá la capacidad de controlar el sistema de ventilación y/o calefacción teniendo en cuenta las preferencias del usuario en cuanto al nivel de confort con el que se deseen encontrar en el entorno, por ejemplo, si el usuario le gusta estudiar en un lugar cálido, el sistema inteligente controlará el sistema de calefacción y/o ventilación hasta adecuar el entorno al usuario.

Servicio 4: Permitir o denegar el ingreso al laboratorio inteligente.

Servicio 5: Cerrar y activar alarma de la puerta del laboratorio inteligente.

Servicio 6: Mostrar los usuarios presentes en un determinado espacio y la situación actual de éste.

Servicio 7: Encender/apagar luces dependiendo de la ocupación de un espacio determinado.

Servicio 8: Activar sistema de karaoke

Servicio 9: Activar sistema de audio

Servicio 10: Proporcionar información teniendo en cuenta los gustos, por ejemplo, si el usuario le gusta la Física, el sistema inteligente le mostrará información sobre estos tópicos en el dispositivo que posea.

Servicio 11: Proporcionar información teniendo en cuenta la información personal, en este caso, la carrera. Por ejemplo, si el usuario estudia Ingeniería Física, el sistema inteligente le mostrará información sobre conferencias temáticas relacionadas con su profesión.

Para la especificación de estos servicios se utilizó un mecanismo de razonamiento basado en reglas en donde cada servicio es ofrecido como consecuencia del cumplimiento de unas precondiciones o antecedentes.

5.2.6 Facilitadores de meta-modelo propuesto

A continuación se describe el Sistema Multi-Agente y la WSN que se desarrollaron para la validación del modelo de Aml propuesto, los cuales interactúan con otras herramientas con el fin de construir un sistema inteligente bajo este modelo (figura 5.4). Estas herramientas son SQLite, la cual se empleó para la administración de las bases de datos de contexto y de perfil de usuario; CLIPS como máquina de conocimiento basada en reglas se usó para crear el sistema experto encargado de determinar los respectivos servicios a prestar dependiendo del contexto y el usuario; y NetBeans como ambiente de desarrollo en Java se utilizó para la integración de todo el sistema propuesto.

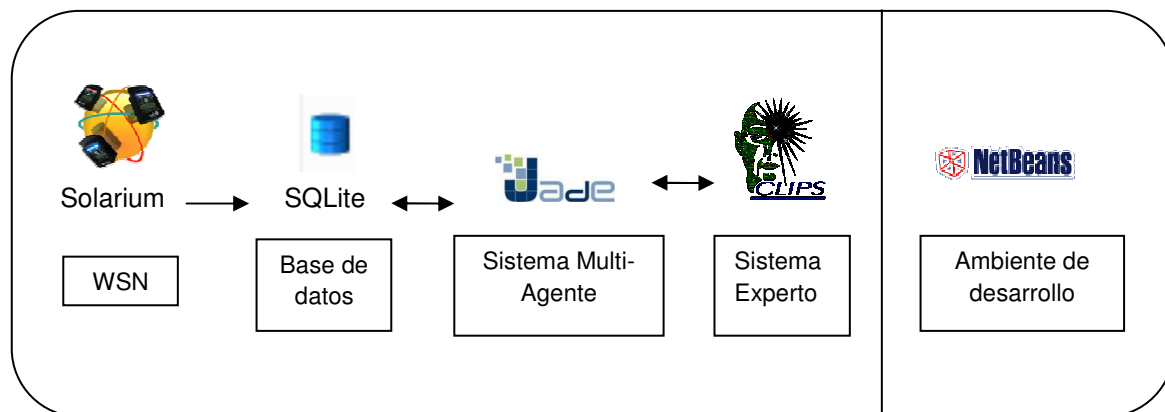


Figura 5.4. Herramientas utilizadas para la validación del modelo propuesto

En la figura 5.5 se presentan los componentes del sistema y la interacción entre ellos. En el nodo central (Servidor) se encuentran el JADE Main Container que a su vez contiene los agentes propios de JADE: DF, AMS y RMA; y los agentes asociados a cada tipo de contexto. Por otra parte, en el nodo Administrador Base de datos es donde se almacena tanto la información del contexto como del perfil de usuario. Finalmente, existen varias instancias de agente Adaptación y agente Usuario, una por cada usuario presente en el entorno inteligente, las cuales están alojadas en el dispositivo que el usuario emplea para comunicarse con el sistema.

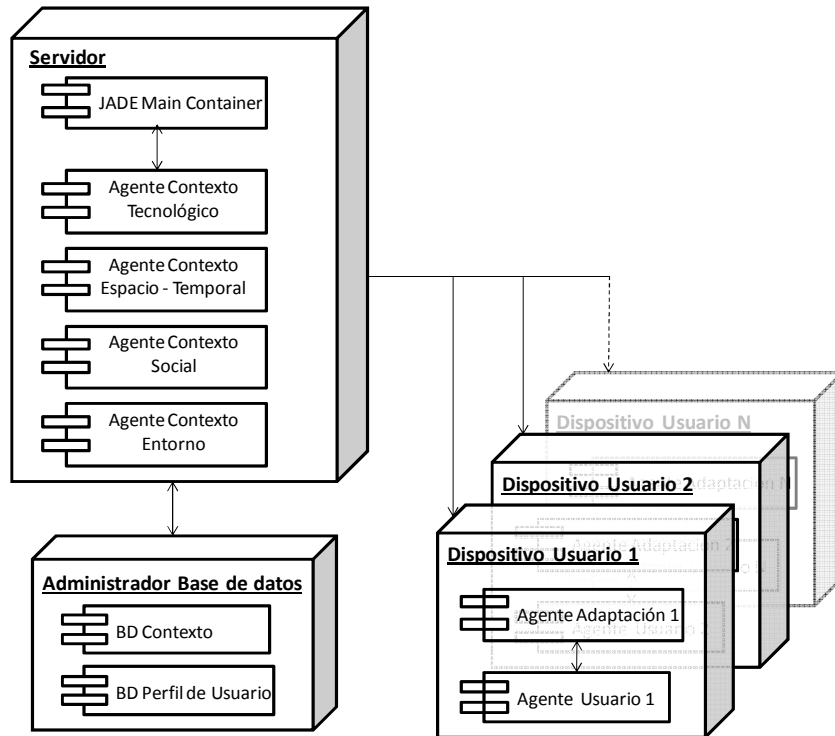


Figura 5.5. Diagrama de despliegue

5.2.6.1 Redes de Sensores Inalámbricas

La WSN diseñada para el desarrollo del modelo de Aml propuesto está compuesta por nodos sensores de la plataforma Sun SPOT, los cuales se eligieron gracias a la facilidad en la programación debido a que como se programa con Java permite integrarlos con aplicaciones ya existentes programadas en éste.

Debido a los alcances de esta Tesis de Maestría, la implementación de la WSN tanto de los nodos inalámbricos como de los actuadores se hizo en forma de simulación, donde para los primeros se usó el emulador de nodos Sun SPOT llamado Solarium y para los segundos se implementó una interfaz que mostraba las diferentes formas de actuación de cada uno.

Solarium es una aplicación Java que puede ser usada para administrar remotamente una red de Sun SPOTs, la cual permite descubrir SPOTs cercanos y administrar el ciclo de vida completo de aplicaciones ejecutadas en estos dispositivos. Además, de descubrir nodos que están conectados por vía USB o con comunicación radio, permite

visualizarlos, interactuar con ellos (programarlos, comenzar o parar aplicaciones, etc.), y finalmente, permite emular SPOTs debido a que permite ejecutar aplicaciones en un Sun SPOT virtual [Sun Microsystems, 2009]. Los Sun SPOTs virtuales aparecen en una ventana gráfica que representa su panel de sensores (donde se elige cierto valor de determinada variable desplazando el control deslizante que allí aparece), controles, panel de visualización de la aplicación (application output) y la cubierta exterior (Figura 5.6).

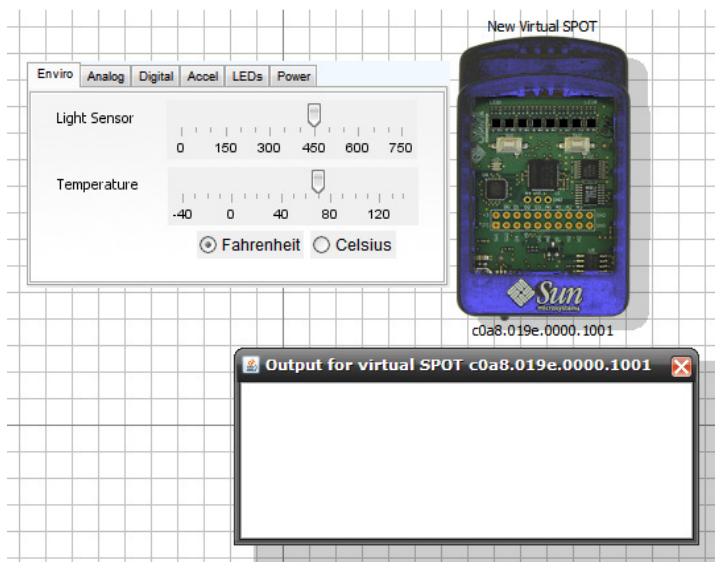


Figura 5.6. Emulador de Sun SPOT

5.2.6.2 Sistema Multi-Agente

El Sistema Multi-Agente propuesto ofrece un entorno de Inteligencia Ambiental (Aml) en un salón ó laboratorio inteligente llamado Smartlab, que tiene como objetivo adaptar el entorno dependiendo del contexto y el perfil de usuario, el cual a través de la adquisición de información por parte de las WSN conoce de los diferentes tipos de contextos y gracias a la interacción previa con los usuarios conoce de sus características que harán parte de su perfil de usuario.

Para la validación del modelo propuesto se emplea una arquitectura básica, la cual es similar a la arquitectura general propuesta en la sección anterior pero con una modificación en la capa de agentes, donde se usa un sólo agente de contexto que

maneja los cuatro tipos de contexto y un agente usuario que gestiona los perfiles de todos los usuarios (Figura 5.7). En este caso, se emplea un sólo agente debido a que las características consideradas en el modelo de contexto pueden ser fácilmente tratadas por éste pero si el número de características aumenta considerablemente es necesario utilizar un agente por cada tipo de contexto para que la información no se vuelva inmanejable y la sincronización en la adquisición y actualización de información no se vea afectada. Si se supone una arquitectura con varios agentes de contexto, lo único que cambia es que el agente de adaptación debe contar con la información completa del contexto como producto de la comunicación exitosa con cada tipo de agente de contexto para que pueda ocurrir la adaptación del entorno. Para el desarrollo y ejecución de los agentes que componen la arquitectura propuesta se utilizaron algunos modelos de la metodología de modelado de Sistemas Multi-Agente MAS-CommonKADS y la plataforma JADE.

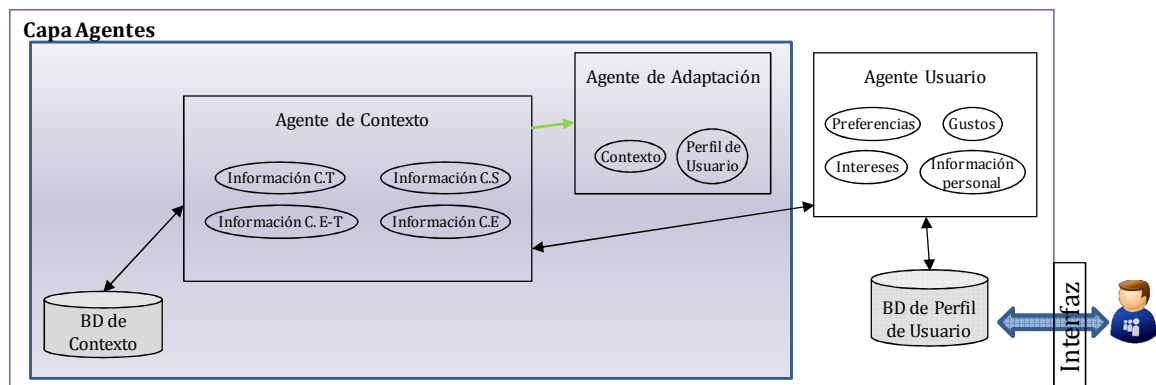


Figura 5.7. Sistema Multi-Agente propuesto

La descripción de los agentes se representa por medio de plantillas textuales de agentes propuestas en la metodología MAS-CommonKADS (Tablas 5.1, 5.3 y 5.5 para agente de adaptación, agente usuario y agente de contexto, respectivamente) y se usan tarjetas CRC para agentes para la identificación de objetivos, planes, etc (Tablas 5.2, 5.4 y 5.6 para agente de adaptación, agente usuario y agente de contexto, respectivamente).

Tabla 5.1. Plantilla de agente de adaptación

Agente de adaptación
Nombre: agente de adaptación
Tipo: agente de software
Papel (Responsabilidades): tomar decisiones a partir de información enviada por el agente de contexto
Posición: dentro del sistema de agentes
Descripción: agente deliberativo que se encarga de tomar decisiones y ejecutar acciones basado en el contexto y perfil de usuario.

Tabla 5.2. Tarjeta CRC para agente de adaptación

Agente de adaptación		Clase: adaptación		
Objetivos	Planes	Conocimiento	Colaborador	Servicio
Recibir información del contexto y del usuario suministrada por el agente de contexto y el agente usuario, respectivamente	Mantener una comunicación con el agente de contexto	Ninguno	Agente de contexto	Obtener información del contexto y perfil de usuario para la consecuente adaptación del entorno
Adaptar el entorno a partir de la activación de actuadores	Ejecutar acciones enfocadas en la adaptación del entorno	Tipo de entorno y estrategia de adaptación	Ninguno	Adecuar el entorno para la satisfacción del usuario

Tabla 5.3. Plantilla de agente usuario

Agente usuario
Nombre: agente usuario
Tipo: agente de software
Papel (Responsabilidades): gestionar el perfil de usuario, consultándolo en una base de datos (BD) y enviándolo al agente de contexto cuando sea requerido

Posición: dentro del sistema de agentes
Descripción: agente de interfaz que se encarga de gestionar información del usuario definida en el modelo del usuario propuesto (gustos, preferencias, intereses o información personal).

Tabla 5.4. Tarjeta CRC para agente usuario

Agente usuario		Clase: usuario		
Objetivos	Planes	Conocimiento	Colaborador	Servicio
Compartir información de un usuario con una base de datos (BD)	Extraer y enviar características del usuario desde una BD	Ninguno	Ninguno	Recuperar el perfil de usuario desde una BD
Informar al agente de contexto	Comunicar al agente de contexto las características del usuario	Ninguno	Agente de contexto	Notificar el perfil de usuario al agente de contexto

Tabla 5.5. Plantilla de agente de contexto

Agente de contexto
Nombre: agente de contexto
Tipo: agente de software
Papel (Responsabilidades): manejar información del contexto tecnológico, contexto espacio-temporal, contexto social y contexto del entorno definida en el modelo de contexto propuesto
Posición: dentro del sistema de agentes
Descripción: agente de información que se encarga de gestionar información acerca del contexto tecnológico, contexto espacio-temporal, contexto social y contexto del entorno en la BD del contexto.

Tabla 5.6. Tarjeta CRC para agente de contexto

Agente de contexto		Clase: contexto		
Objetivos	Planes	Conocimiento	Colaborador	Servicio
Consultar información del contexto tecnológico, contexto espacio-temporal, contexto social y contexto del entorno	Realizar consultas a la BD de contexto a acerca del contexto tecnológico, contexto espacio-temporal, contexto social y contexto del entorno	Contexto tecnológico, contexto espacio-temporal, contexto social y contexto del entorno	Ninguno	Obtener contexto tecnológico, contexto espacio-temporal, contexto social y contexto del entorno
Informar al agente de adaptación	Comunicar el perfil de usuario y los cuatro tipos de contexto asociados a éste al agente adaptación	Ninguno	Agente adaptación	Notificar el perfil de usuario y los cuatro tipos de contexto asociados a éste al agente adaptación

Además de estar compuesto por estos agentes, el prototipo implementado cuenta con los siguientes agentes proporcionados por JADE:

- Agent Management System, AMS: Es el agente encargado de la supervisión y control sobre el acceso y uso de la plataforma. Además, presta el servicio de páginas blancas, es decir, es el responsable de la autenticación de los agentes y el control de registros, asegurando que cada agente en la plataforma disponga de un nombre único.
- Directory Facilitator, DF: Es el agente que presta el servicio de páginas amarillas. Aquí es donde cada agente del sistema puede registrar los servicios que ofrece.

Gracias al agente DF, un agente puede encontrar otros agentes en el sistema que proporcionen los servicios necesarios para lograr sus objetivos.

- Remote Monitoring Agent, RMA: Es el agente que permite controlar al resto de agentes en una plataforma. Provee una interfaz gráfica que facilita las funciones de monitorización y control.

En primera instancia, para este caso de estudio, la BD de Contexto se encuentra almacenando constantemente información del contexto enviada por la WSN acerca del estado del entorno y del usuario; y una vez ésta detecte un usuario en la entrada del entorno inteligente, el agente de contexto envía un mensaje al agente usuario consultando si el usuario con determinado ID existe en la BD de Usuario. En caso afirmativo, el agente usuario consulta el perfil de dicho usuario y se lo envía al agente de contexto, quien luego reenvía esta información junto con el contexto asociado a dicho usuario al agente de adaptación, el cual finalmente realiza un determinado procesamiento basado en un Sistema Experto que tiene integrado para la ejecución de diferentes acciones sobre el entorno inteligente. En caso negativo, el sistema inteligente le solicita al usuario el registro de su perfil y procede igual que el caso anterior luego de su registro. En la figura 5.8 se muestra el diagrama que describe la secuencia principal del sistema.

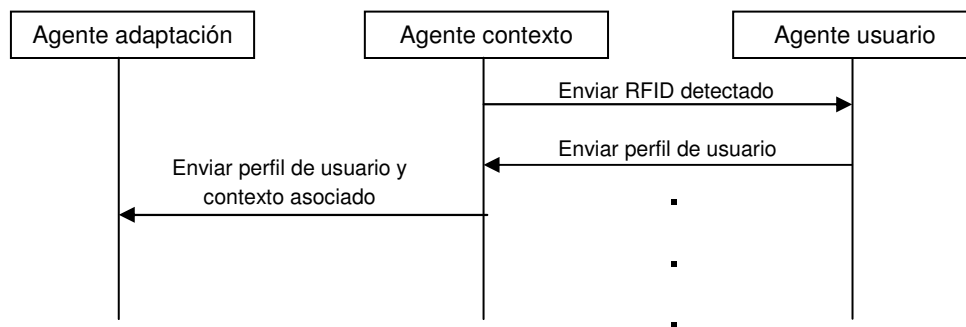


Figura 5.8. Diagrama de secuencias

Para el sistema inteligente propuesto, se requiere que el agente de adaptación además de prestar los servicios descritos en la tabla 5.2, ofrezca ciertos servicios adaptativos generales al usuario gracias a la interacción con el agente de contexto, los cuales son descritos en la sección 5.2.5.

5.3 Escenario de Validación

El escenario propuesto para la validación del modelo de Aml consiste de un espacio con una distribución geográfica en forma de malla, compuesto por varias salas o cuartos denominadas sala de arte, sala de relajación, sala de estudio, hall o corredor, baño y puerta (figura 5.9), en donde se ubican varios nodos inalámbricos que adquieren información de ciertas variables físicas usando varios sensores integrados en los nodos Sun SPOT y otros externos conectados al puerto análogo/digital, las cuales son necesarias a la hora de adaptar el entorno al usuario presente (tabla 5.7).

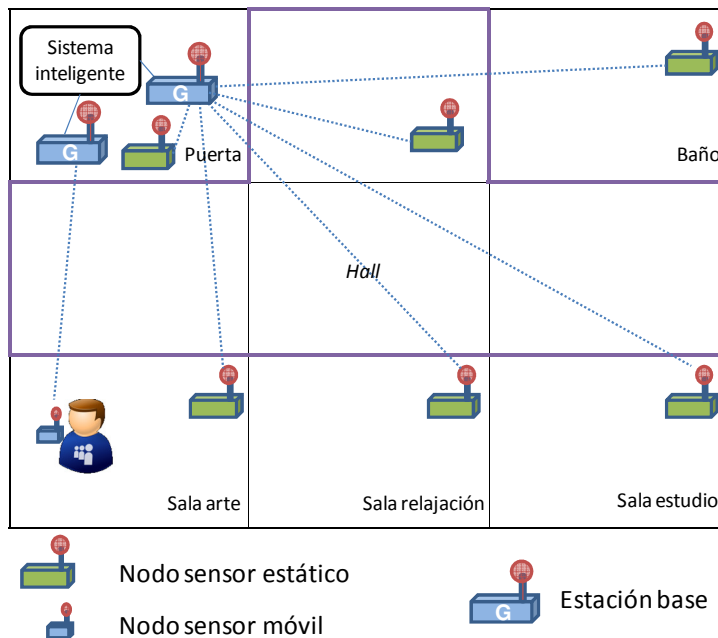


Figura 5.9. Escenario de validación de modelo propuesto

Tabla 5.7. Variables físicas utilizadas

Variable	Sensor	Función
Temperatura	Sensor de temperatura (integrado)	Medir temperatura del entorno
Luminosidad	Sensor de luminosidad (integrado)	Medir luminosidad del entorno

Ubicación	Sensor GPS (externo)	Proporcionar la ubicación de personas
Identificación	Sensor RFID (externo)	Reconocer e identificar personas

Los tres tipos de nodos sensores existentes dentro del entorno inteligente son:

1. Estáticos: están ubicados dentro de las salas y son los encargados de medir la temperatura y luminosidad de cada sala, e identificar al usuario presente en ella (nodo contexto).
2. Móviles: son portados por el usuario, y por consiguiente, son los encargados de determinar la ubicación e identificación del usuario presente en el entorno (nodo usuario).
3. Estación base (Gateway): está conectado al sistema de inteligencia, es el encargado de recibir toda la información proveniente del entorno y de los usuarios presentes en él para su posterior tratamiento por el sistema de inteligencia.

Los nodos Sun SPOT especifican la temperatura en grados Celsius y la luminosidad en valores sin procesar que entrega el módulo conversor análogo/digital (ADC), los cuales son directamente proporcional a la iluminancia medida en lux ($\text{lux} \approx 2 \cdot \text{ADC}$).

Debido a que los Sun SPOT sólo poseen sensores de temperatura y de luminosidad, los demás sensores a utilizar deben simularse, para lo cual se emplean las entradas análogo/digital que poseen estos dispositivos (figura 5.10). El sensor de RFID es representado por la entrada A0 donde cada intervalo $3\text{v}/6$ del rango de voltaje corresponde a un único identificador (Ejemplo: si el control deslizante de A0 está ubicado en un valor menor que $0,5\text{v}$, entonces el usuario tiene un RFID igual a 123, si está en el intervalo $0,5\text{v} - 1\text{v}$ es 456, y se aplica de igual forma para los demás intervalos). Por otro lado, el sensor GPS es representado por la entrada A1 donde cada intervalo $3\text{v}/6$ del rango de voltaje corresponde a una única ubicación. Debido a que la posición es una variable física fija se determinaron ciertos valores para ésta (Tabla 5.8), donde para el ejemplo de la figura 5.10, las medidas observadas son $\text{RFID}=123$ y $\text{ubicación}=\text{puerta}$.

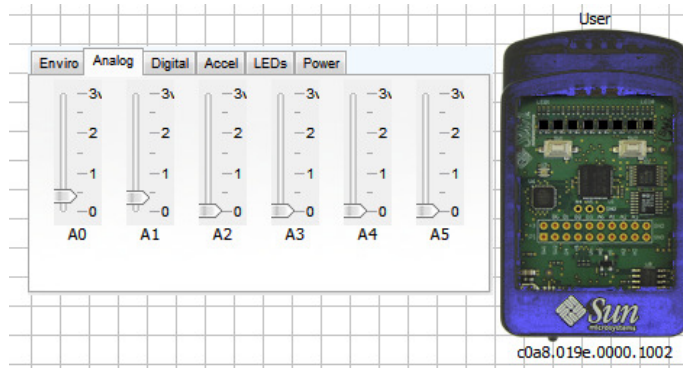


Figura 5.10. Panel de sensores de Sun SPOT virtual

Tabla 5.8. Valores para la ubicación según la posición del control deslizante correspondiente al sensor GPS (A1)

Posición de control deslizante	Ubicación
< 0,5 v	Puerta
0,5v – 1v	Hall o corredor
1v - 1,5v	Sala arte
1,5v - 2v	Sala relajación
2v - 2,5v	Sala estudio
2,5v - 1,5v	Baño

Al implementar el sistema propuesto se busca que al entrar una persona al laboratorio inteligente, éste estará capacitado para adaptarse a las necesidades de los usuarios y a la situación del entorno en donde se configura. Al ingresar un usuario al entorno universitario inteligente, el sistema tiene conocimiento de los gustos y algunos datos personales gracias al agente usuario (previamente se identifica al usuario por medio de una etiqueta RFID que lleva consigo y tiene asociado un identificador único RFID), es decir, sabe que el usuario le gusta cierta asignatura o tema y estudia o ejerce determinada carrera; además, gracias a los agentes de contexto conoce el estado del entorno. Por lo tanto, el sistema le ofrecerá tanto a estudiantes como a profesores del laboratorio inteligente, servicios relacionados con esta información.

Para lograr esto fue necesario implementar los siguientes componentes. Para la simulación de un usuario que solicita el acceso al laboratorio inteligente (ubicado en la puerta) y la configuración de su perfil se desarrollaron interfaces gráficas, donde en la primera (figura 5.11) se solicita la identificación del usuario ante el sistema (identificador RFID, en este ejemplo “123”) y en caso de no ser un usuario permitido (no existe en la base de datos) se le despliega la segunda para ingresar las características del usuario empleando diferentes menús y áreas de texto (figura 5.12), las cuales serán almacenadas luego en la base de datos implementada.

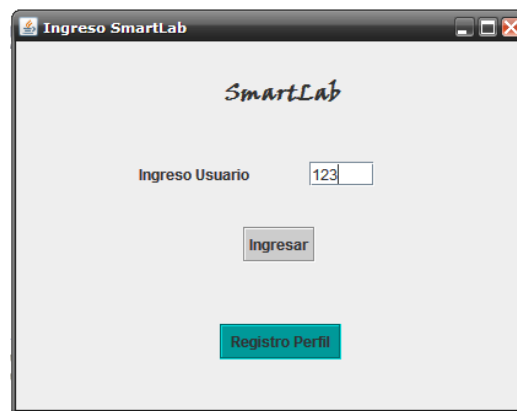


Figura 5.11. Simulación de presencia de usuario

Figura 5.12. Configuración de perfil de usuario

Donde las opciones para cada tipo de característica son:

- Carrera: - Ingeniería Física
- Ingeniería de Sistemas
- Propósito: - ambientes amenos
- ambientes relajantes
- mantenerse informado
- Tipo clima: - calido
- templado
- frio
- Tipo iluminación: - tenue
- normal
- brillante
- Gustos: - Física
- Ciencia de la computación
- Deportes
- Artes
- Tipo dispositivo: - Ninguno
- Celular
- Portátil
- Categoría social: - artista
- deportista
- investigador

Un ejemplo de las bases de datos de contexto (compuesta por dos tablas de datos) y de perfil de usuario (implementadas en SQLite) pueden verse en la figura 5.13.

TABLE UserReadings						Buscar (t)	Mostrar Todo	Añadir	Duplicar	Editar	Eliminar
rowid	spotId	timestamp	RFID	Position							
1	c0a8.017c.0000.1002	1744	123	puerta							
2	c0a8.017c.0000.1002	1744	123	puerta							
3	c0a8.017c.0000.1002	1744	123	puerta							
4	c0a8.017c.0000.1002	1745	123	puerta							
5	c0a8.017c.0000.1002	1745	123	puerta							

TABLE ContextReadings						Buscar (t)	Mostrar Todo	Añadir	Duplicar	Editar	Eliminar
rowid	spotId	timestamp	Light	Temperature	RFID						
1	c0a8.017c.0000.1001	1730	450	28.88889	123						
2	c0a8.017c.0000.1001	1730	450	28.88889	123						
3	c0a8.017c.0000.1001	1730	450	28.88889	123						
4	c0a8.017c.0000.1001	1730	450	28.88889	123						
5	c0a8.017c.0000.1001	1730	450	28.88889	123						

TABLE usuario										Buscar (t)	Mostrar Todo	Añadir	Duplicar	Editar	Eliminar	
rowid	rfd	nombre	carrera	categoria_social	dispositivo	gustos	preferencias_proposito	Preferencias_clima	Preferencias_iluminacion							
1	123	Silvia	Ingenieria Fisica	artista	celular	Fisica	mantenerse informado	calido	brillante							
2	456	Andrés	Ingenieria de Sistemas	deportista	celular	Ciencia de la Computacion	ambientes relajantes	calido	tenuie							
3	789	Gustavo	Ingenieria Fisica	deportista	Ninguno	Deportes	ambientes relajant...	frio	brillante							

Figura 5.13. Base de datos de Contexto (arriba) y base de datos de Usuario (abajo)

Además, se desarrolló una interfaz gráfica para la simulación de un usuario dentro del laboratorio inteligente, la cual muestra la adaptación del entorno inteligente ante la presencia de éste, por medio de la representación gráfica de determinado servicio que esté prestando. Esta interfaz cuenta con tres partes principales, en el lado izquierdo está ubicada la malla que representa la distribución espacial del laboratorio inteligente y en la cual se mostrarán ciertos servicios proporcionados por el modelo propuesto. En el lado derecho hay dos paneles, el superior contiene la información del estado actual del entorno (perfil de usuario presente en el laboratorio y el contexto asociado a él) y el inferior contiene las recomendaciones e información de interés concerniente a la adaptación del usuario; y un botón de inicio quien es el activador del sistema inteligente desarrollado (figura 5.14).

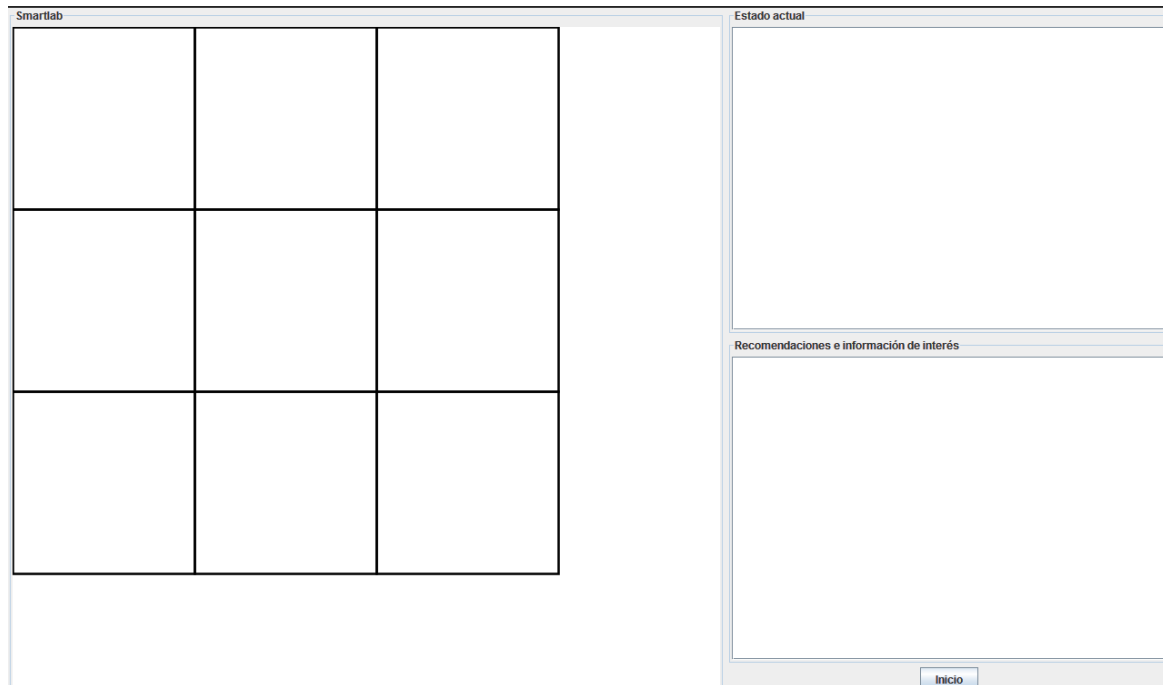


Figura 5.14. Escenario de validación

5.4 Resultados

A través del prototipo implementado se validó el modelo de Aml propuesto basado en la integración de WSN y Agentes de software. Para esto se empleó la configuración de WSN de la figura 5.15, en donde se implementaron tres tipos de nodos sensores como se mencionó anteriormente, los cuales dos de ellos están encargados de la adquisición de ciertas variables de interés dentro del laboratorio inteligente (Tabla 5.9) y uno está destinado a servir como intermediario entre la plataforma de WSN y el sistema inteligente (Gateway).

Tabla 5.9. Variables de interés en cada nodo sensor

Contexto	Usuario
Temperatura	Identificación RFID
Luminosidad	Ubicación
Identificación RFID	



Figura 5.15. WSN implementada (Solarium)

A continuación se especifica una lista que contiene las acciones que representan los servicios prestados (citados en la sección 5.2.5) por el sistema inteligente propuesto y una breve descripción en caso de ser necesaria.

1. Recomendar la sala de arte dentro del laboratorio inteligente
2. Recomendar la sala de relajación dentro del laboratorio inteligente
3. Recomendar la sala de estudio dentro del laboratorio inteligente

Para representar estas acciones se implementó el despliegue de información en un área de texto, la cual simboliza la pantalla del dispositivo que posee el usuario, ya sea un celular, un portátil o un computador de escritorio, y contiene la respectiva recomendación de la sala generada con base en su perfil de usuario.

4. Encender/apagar las luces logrando una iluminación tenue.
5. Encender/apagar las luces logrando una iluminación normal.
6. Encender las luces logrando una iluminación brillante.

Para simular cada tipo de iluminación se adicionó a cada sala un bombillo de color, donde su color dependía del nivel de intensidad de cada tipo de iluminación (tabla 5.10).




Tabla 5.10. Tipos de iluminación

Tipo iluminación	Intervalo de nivel de luminosidad	Color bombillo
Tenue	(51-230)	Azul
Normal	(231-700)	Rojo
Brillante	>700	Amarillo

7. Encender/apagar el sistema de calefacción y/o ventilación logrando un clima cálido
8. Encender/apagar el sistema de calefacción y/o ventilación logrando un clima templado.
9. Encender/apagar el sistema de calefacción y/o ventilación logrando un clima frío.

Para simular cada tipo de clima dentro del laboratorio inteligente, se adicionó a cada sala un indicador del clima y un display donde se reporta la medición actual de la temperatura, teniendo como indicadores e intervalos de temperatura correspondientes los mostrados en la tabla (tabla 5.11).



Tabla 5.11. Tipos de clima

Tipo clima	Intervalo de temperatura	Indicador
Cálido	>24 °C	
Templado	(17.1-24) °C	
Frío	(12-17) °C	

10. Permitir el ingreso al laboratorio inteligente
11. Cerrar y activar alarma de la puerta del laboratorio inteligente

Para simular ambas acciones se utilizó la convención detallada en la tabla 5.12. Vale la pena aclarar que como esta acción es inmediata no es apreciable su representación gráfica en la interfaz desarrollada.

Tabla 5.12. Tipos de acceso

Tipo acceso	Indicador
Acceso permitido (acción 10)	
Activación de alarma (acción 11)	

12. Encender/Apagar las luces del baño o hall

Para representar este servicio se adicionó a cada sala un bombillo de color amarillo que indica el encendido de luces debido a la presencia de algún usuario.

13. Encender el sistema de karaoke

14. Encender el sistema de audio

Estos servicios son suministrados en la sala de arte y relajación, respectivamente, de tal forma que cuando un usuario ingrese a la sala de arte inmediatamente se encienda un sistema de karaoke con temas de sus artistas favoritos ó cuando ingrese a la sala de relajación se encienda un sistema de audio con canciones de su tipo de música favorita. Para simular ambos servicios se tiene la convención detallada en la tabla 5.13.

Tabla 5.13. Encendido de sistemas de entretenimiento

Tipo sistema	Sala	Indicador
Karaoke	Arte	
Audio	Relajación	

15. Desplegar información de las diferentes áreas de la Física

16. Desplegar información de las diferentes áreas de la Ciencia de la computación
17. Desplegar información de los diferentes deportes practicados en la universidad
18. Desplegar información de los diferentes grupos artísticos de la universidad
19. Desplegar información de actividades culturales dentro de la universidad
20. Desplegar información de conferencias temáticas dentro de la universidad según carrera

Para representar este conjunto de acciones se implementó el despliegue de información igual que para el anterior caso (acciones 1-3) en un área de texto, la cual simboliza la pantalla del dispositivo que posee el usuario, y contiene la respectiva información determinada a partir del perfil de usuario.

Para realizar las pruebas del prototipo desarrollado se crearon escenarios con los cuales se pretende probar la adaptación del entorno dependiendo del estado del entorno y el usuario allí presente.

Prueba de escenario con usuario 1

1. Perfil de usuario: Estudiante de Ingeniería Física, artista, posee un celular como dispositivo de usuario, le gusta la Física, y prefiere los lugares cálidos, la iluminación brillante y mantenerse informado.
2. Contexto inicial (estado de la sala visitada): Temperatura=28.9°C, Luminosidad=450.

Prueba de escenario con usuario 2

1. Perfil de usuario: Estudiante de Ingeniería de Sistemas, deportista, posee un celular como dispositivo de usuario, le gusta la Ciencia de la Computación, y prefiere los lugares fríos, la iluminación tenue y estar rodeado de ambientes relajantes.
2. Contexto inicial (estado de la sala visitada): Temperatura=26.7°C, Luminosidad=705.

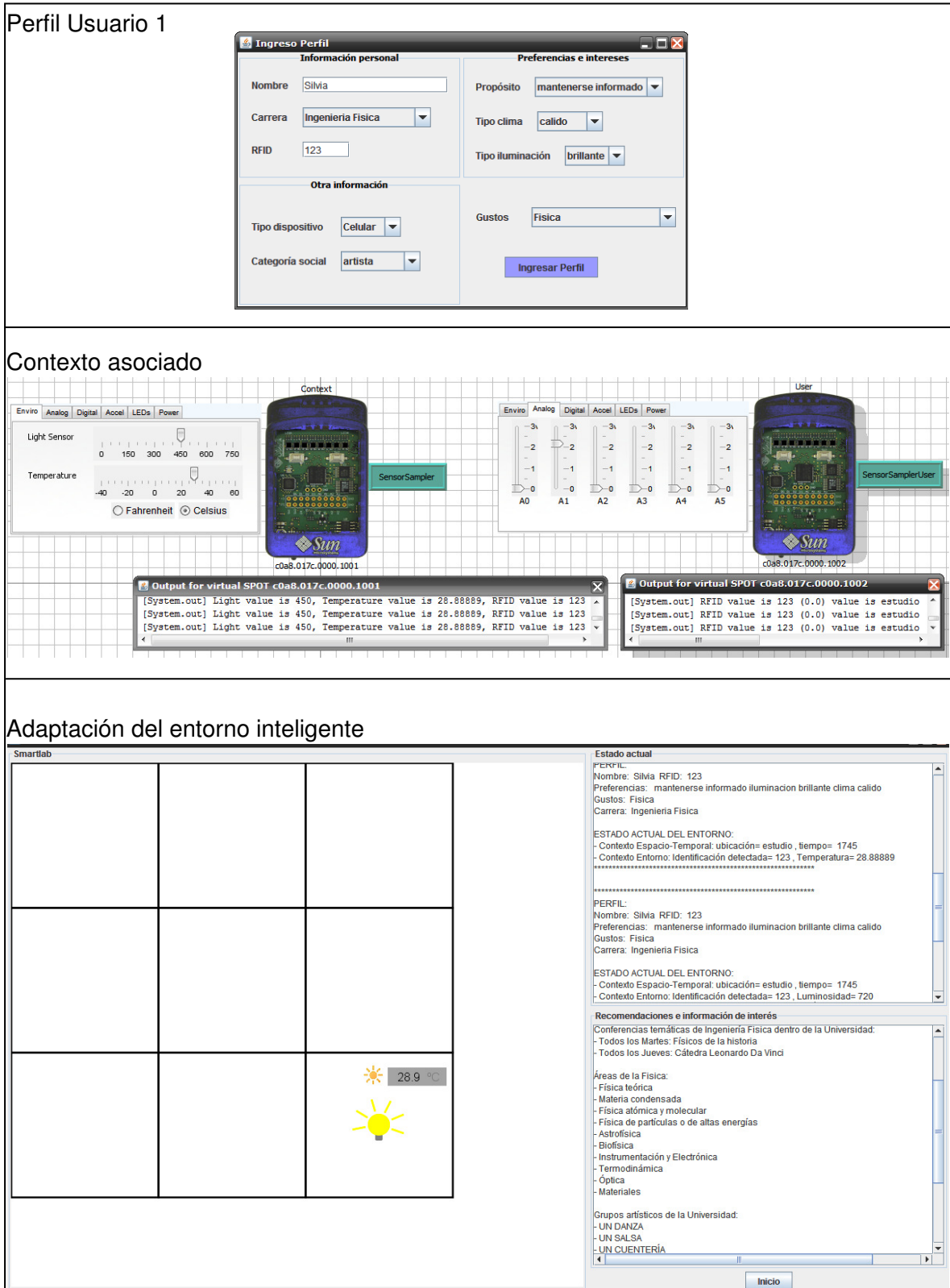


Figura 5.16. Prueba de escenario con usuario 1

La adaptación realizada por el sistema inteligente SmartLab, detallada en la figura 5.16, logró adecuar el entorno para el usuario 1 de la siguiente manera:

- Debido a la preferencia del usuario en mantenerse informado, el sistema le recomendó e inmediatamente lo dirigió a la sala de estudio, donde le suministró información relativa a su carrera y gustos, tales como conferencias temáticas dentro de la universidad y áreas de la Física, respectivamente. Además, le notificó acerca de las recomendaciones de las salas por orden de prioridad de visita (el sistema lo envía directamente a la de mayor prioridad) y de los grupos artísticos y actividades culturales que existen en la universidad para lo cual se basó en su contexto social de artista.
- Debido a que la temperatura deseada por el usuario estaba en el rango del clima cálido, ésta no fue modificada; caso contrario a lo que ocurrió con la luminosidad, que aumentó su nivel de 450 (considerado como iluminación normal) a 720, el cual es considerado el valor promedio para el tipo de iluminación brillante. Esto se puede observar tanto en la sección de Estado actual como en la sala de estudio dentro de la malla del laboratorio.

Para el usuario 2, la adaptación realizada por el sistema inteligente SmartLab, detallada en la figura 5.17, logró adecuar el entorno de la siguiente manera:

- Debido a la preferencia del usuario en visitar ambientes relajantes, el sistema le recomendó e inmediatamente lo dirigió a la sala de relajación, en donde se activó un sistema de audio con el fin de suministrarle música acorde a sus preferencias. Además, le notificó acerca de las recomendaciones de las salas por orden de prioridad.
- Debido a que la temperatura deseada por el usuario estaba en el rango del clima frío, ésta debió ser modificada, para lo cual el sistema inteligente activó un sistema de calefacción para disminuir la temperatura de 26.7°C al valor promedio de temperatura considerada fría, es decir, a 14°C. De forma análoga ocurrió con el nivel de luminosidad debido a que al usuario le agrada la iluminación tenue y el valor inicial es

de 705, el cual equivale a una iluminación brillante, entonces se debió adecuar el sistema de iluminación para que ésto se lograra. Esto se puede observar tanto en la sección de Estado actual como en la sala de estudio dentro de la malla del laboratorio.

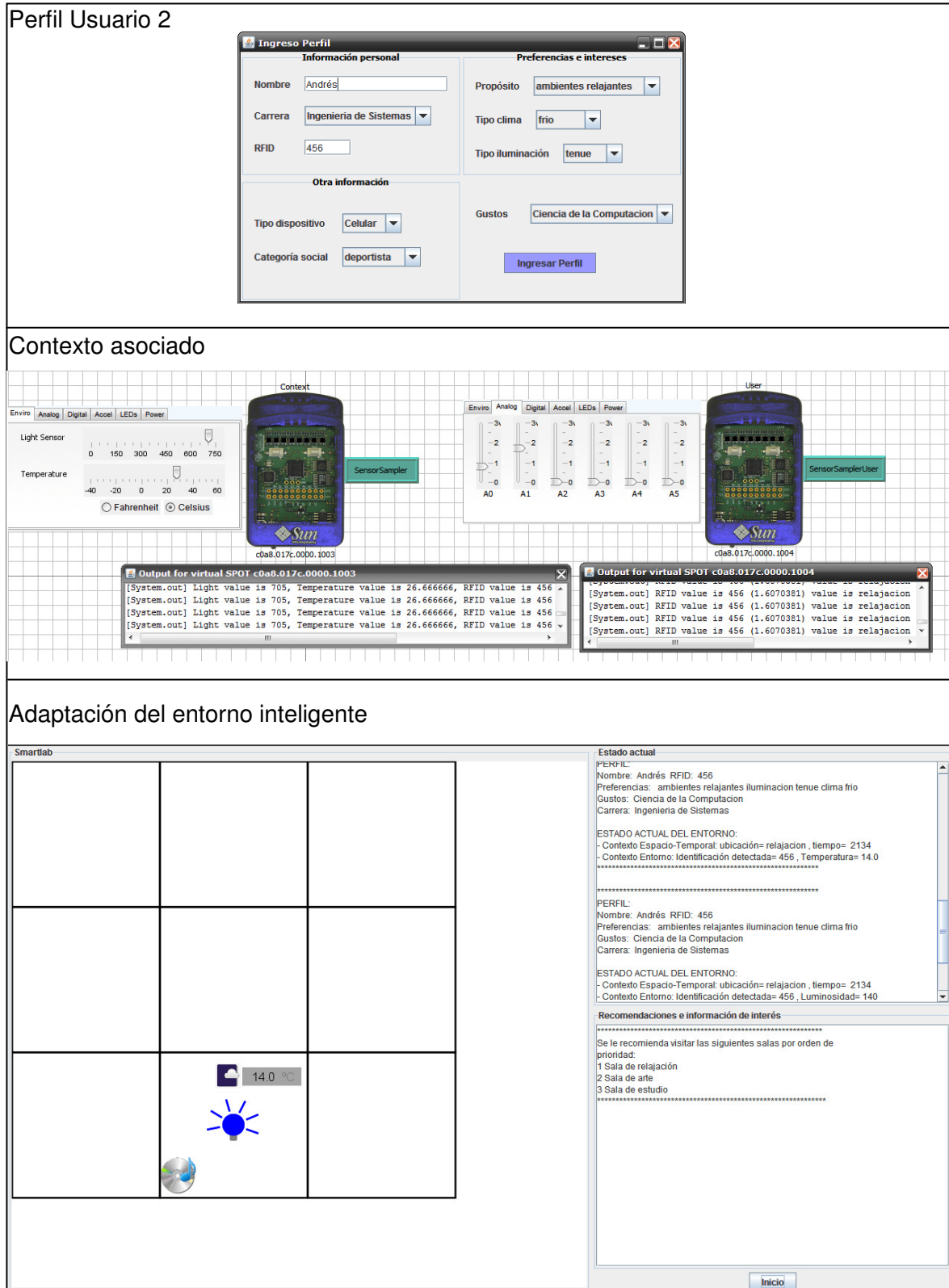


Figura 5.17. Prueba de escenario con usuario 2

Con el fin de tener una idea acerca del desempeño del sistema desarrollado, se pretende realizar un tipo de evaluación simple basado en la consideración o no de la adaptación. Para esto, se ejecutaron los escenarios anteriores, usando el mismo perfil de usuario y contexto asociado para cada usuario (figura 5.16 y figura 5.17) sin tener en cuenta el modelo de adaptación propuesto, obteniendo los resultados mostrados en la figura 5.18 y figura 5.19 correspondientes al usuario 1 y usuario 2, respectivamente.

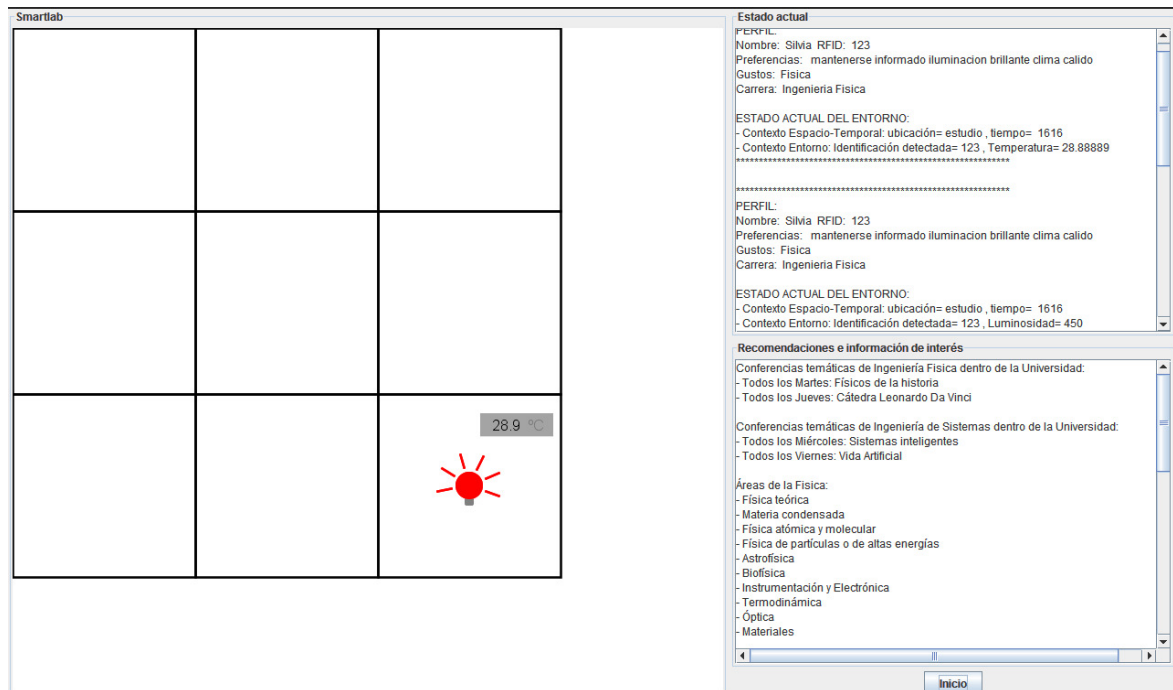


Figura 5.18. Prueba de escenario sin adaptación con usuario 1

Al no considerarse la adaptación, no se tienen en cuenta las características del usuario, lo que conlleva a que no se generen recomendaciones de ninguna sala, por lo tanto, el sistema únicamente tiene conocimiento de la ubicación de un usuario a través de las etiquetas RFID. En el caso del usuario 1, el sistema lo detecta en la sala de estudio y le proporciona todo tipo de información sin discriminar por carrera, gustos ó categoría social. Por otro lado, la temperatura y la luminosidad no son modificadas al percibir la presencia del usuario, de tal forma que en el display (integrado en la malla del laboratorio) y en la sección de Estado actual sólo se despliega el valor actual de la temperatura y el nivel de luz se mantiene en un valor fijo.

Para el usuario 2, tampoco se generan recomendaciones de ninguna sala; en este caso, el sistema lo detecta en la sala de relajación por lo que activa un sistema de audio que proporciona una lista de canciones aleatorias sin tener en cuenta ninguna característica del usuario. Por otra parte, la temperatura y la luminosidad no son modificadas para alcanzar el confort del usuario como ocurre al considerar la adaptación, lo que se refleja en el despliegue de la información de ambas variables físicas con el mismo valor obtenido por la WSN (observable tanto en la sección de Estado actual como en la sala de relajación dentro de la malla del laboratorio).

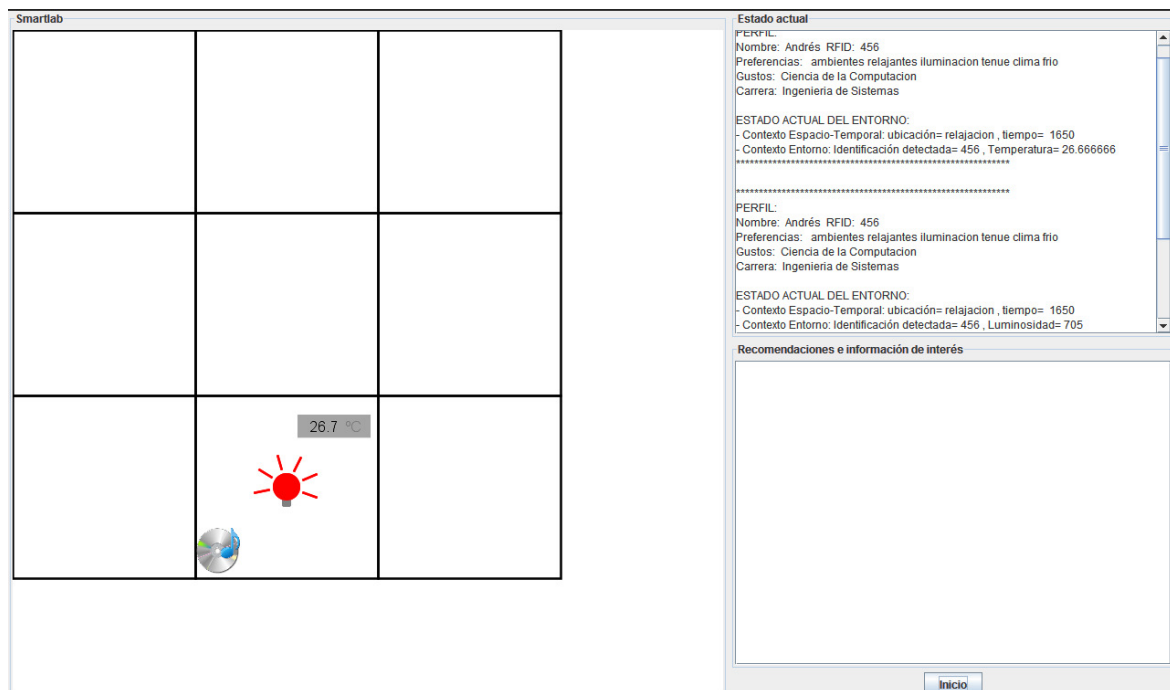


Figura 5.19. Prueba de escenario sin adaptación con usuario 2

Al analizar los escenarios sin adaptación se puede deducir que el sistema inteligente desarrollado pretende adaptar el entorno a las características del usuario presente en él y al contexto asociado a éste.

6. Evaluación del desempeño

En este capítulo se realiza la evaluación del desempeño del modelo de Aml propuesto a nivel cualitativo y cuantitativo teniendo en cuenta algunas métricas propuestas en el marco de esta tesis. Las métricas cualitativas definidas son: interactividad, conectividad, ubicuidad, invisibilidad, adaptatividad y sensibilidad al contexto; mientras que las cuantitativas son: especificaciones del equipo, latencia, completitud y escalabilidad.

6.1 Evaluación cualitativa

Según [Restrepo et al., 2011], un sistema inteligente se puede evaluar de forma cualitativa mediante un vector conformado por seis características intrínsecas, estas son:

- Interactividad: relacionada con la reducción de la interacción explícita debido a que el sistema se supone que usa su inteligencia para inferir las situaciones y necesidades del usuario a partir de las actividades observadas.
- Conectividad: radica en la búsqueda de la libertad que se proporciona a los usuarios para escoger qué tipo de información o entretenimiento desean, cuándo y dónde.
- Ubicuidad: cualidad de la computación de estar presente en todas partes.
- Invisibilidad: experiencia de carácter psicológico percibida por el usuario al interactuar con el sistema.
- Adaptatividad: habilidad de los entornos de ser altamente adaptativos, característica que se relaciona en gran medida en cómo las personas interactúan con la Aml.

- Sensibilidad al contexto: un sistema es sensible al contexto si éste usa el contexto para proporcionar información relevante y/o servicios al usuario, donde la relevancia depende de la tarea del usuario.

Teniendo en cuenta estas características, se evaluó el sistema inteligente SmartLab desarrollado como prototipo de validación del modelo Aml propuesto de la siguiente manera:

SmartLab={interactividad, conectividad, ubicuidad, invisibilidad, adaptatividad, sensibilidad al contexto}

- Interactividad: alta. SmartLab es interactivo debido a que cuenta con una interfaz de usuario natural para el usuario que no necesita ningún conocimiento previo para su manejo, además permite el seguimiento del estado del entorno en cuanto a la temperatura y nivel de luminosidad de determinado lugar, la ubicación de usuario, entre otros aspectos claves orientados a la satisfacción del usuario.
- Conectividad: alta. Su conectividad es alta debido a que comprende un conjunto de tecnologías inalámbricas, correspondientes a la soportada por la WSN y los dispositivos de usuario (celular ó portátil), y alámbricas (computadores) que permiten la constante comunicación del sistema inteligente desarrollado con el usuario en cuestión.
- Ubicuidad: media. En SmartLab se maneja la ubicuidad a un nivel medio debido a que dependiendo de donde se encuentre el usuario, éste le provee los servicios prestados allí gracias a que el entramado tecnológico está presente en todas partes, pero estos servicios sólo son ofrecidos dentro del laboratorio inteligente.
- Invisibilidad: media. El grado de invisibilidad es media porque aunque el usuario no necesita tener conocimiento de las herramientas que requiere para llevar a cabo cierta actividad, es decir, la tecnología se comporta de forma transparente, el tamaño del nodo que porta el usuario (compuesto por el Sun Spot, sensor GPS y etiqueta RFID) no es imperceptible para éste.

- Adaptatividad: alta. El sistema inteligente desarrollado es altamente adaptativo debido a que el sistema constantemente está adecuando el entorno al usuario y a lo que está ocurriendo en el lugar donde éste se encuentra; donde la WSN, los agentes inteligentes implementados y la interfaz de usuario permiten que la interacción entre el sistema y el usuario sea lo más natural posible.
- Sensibilidad al contexto: alta. Esta cualidad se refleja en la medida en que el sistema tiene la capacidad de inferir el estado de la actividad que está ejecutando el usuario y las características de su entorno de tal manera que reacciona adecuadamente según sus gustos y preferencias, lo cual se presenta en un historial con los cambios que van ocurriendo en el entorno como producto de la adaptación.

En la tabla 6.1 se puede apreciar la comparación de dos Sistemas de Inteligencia Ambiental con el sistema SmartLab según el modelo de evaluación utilizado anteriormente. De esta tabla comparativa se puede concluir que el sistema desarrollado para la validación del modelo propuesto cumple satisfactoriamente las cualidades de un sistema bajo el paradigma de Inteligencia Ambiental, lo cual se refleja en los valores obtenidos de la evaluación cualitativa. Debe tenerse en cuenta que esta evaluación se realizó para el sistema simulado, sin embargo, se obtendrían los mismos resultados para la implementación del sistema real.

Tabla 6.1. Comparación de Sistemas de Inteligencia Ambiental según modelo de Evaluación propuesto por [Restrepo et al., 2011]

Característica	AMIGO	HOMELAB	SmartLab
Interactividad	Alta	Alta	Alta
Conectividad	Alta	Alta	Alta
Ubicuidad	Alta	Media	Media
Invisibilidad	Media	Alta	Media
Adaptatividad	Alta	Media	Alta
Sensibilidad al contexto	Alta	Alta	Alta

Debido a que la evaluación cualitativa es subjetiva, ésta va a depender de la persona que evalúe el sistema, además como sirve de soporte a la creación de sistemas inteligentes analizando ciertas características relevantes dentro del campo de la Aml, es válido que el sistema pueda evaluarse a través de este tipo de evaluación por el mismo desarrollador, quien además puede realizar una comparación subjetiva con otros sistemas inteligentes gracias a su conocimiento en el área.

6.2 Evaluación cuantitativa

La evaluación a través de métricas de un determinado sistema o proceso resulta ser un método adecuado para medir su calidad o desempeño de forma cuantitativa [Pastrana & Ovalle, 2008]. Por lo tanto, para este tipo de evaluación se definieron varias métricas denominadas especificaciones del equipo, latencia, completitud y escalabilidad, las cuales se describen a continuación.

6.2.1 Especificaciones del equipo

Las características del equipo, sea un computador de escritorio, un computador portátil, etc., donde se implementa un sistema inteligente resultan ser un factor muy significativo a la hora de evaluar el desempeño del sistema, debido a que el tipo de procesador o memoria afectará en gran medida el rendimiento de su funcionamiento. Esta métrica puede tomar uno de los siguientes valores:

- 0, para características deficientes del equipo comparadas con los últimos dispositivos hardware en el mercado y el número de tareas a realizar.
- 1, para características óptimas del equipo comparadas con los últimos dispositivos hardware en el mercado y el número de tareas a realizar.

En el caso de SmartLab, la métrica de especificaciones del equipo vale 0. A continuación se presentan las características del equipo utilizado para la construcción y ejecución del sistema inteligente:

- Tipo de computador: portátil (HP Pavilion dv2000 Notebook PC)

- Memoria RAM: 1 GB
- Capacidad de almacenamiento: 80 GB
- Procesador: Genuine Intel® CPU T2080 @ 1.73 GHz (Dual Core)

Aunque el equipo posee dos núcleos que permiten dividir las tareas de procesamiento y realizar determinada acción más rápidamente, al ejecutar el sistema inteligente se presentaba un retardo adicional en su funcionamiento debido a que la memoria era insuficiente para obtener un buen rendimiento. Además, el número de las herramientas empleadas era grande, cinco en total (Solarium, SQLite, JADE, CLIPS y NetBeans), que ejecutaban simultáneamente cinco aplicaciones diferentes (proyectos Java), donde para la simulación de la WSN se tenían mínimo dos programas corriendo simultáneamente (uno para el nodo contexto y otro para el nodo usuario), y tres programas en Netbeans, correspondientes a: el gateway del nodo contexto, el gateway del nodo usuario (quien también simula la presencia de un usuario), y el Sistema Multi-Agente que a su vez ejecuta un sistema experto para deducir las acciones para la adaptación del entorno. Por lo tanto, el sistema SmartLab exhibía un alto consumo en el procesamiento y memoria debido a las especificaciones del equipo que cada herramienta requería para su uso, lo cual se veía reflejado en un aumento del tiempo de respuesta; que aunque afecta un poco el rendimiento del equipo no es apreciable significativamente para el dominio de aplicación de un laboratorio inteligente donde una respuesta no inmediata no afecta directamente nuestra integridad física, caso contrario a como ocurre en el dominio de la salud o prevención de desastres.

Este tipo de métrica está relacionada con la robustez del sistema, debido a que la robustez de un sistema informático se mide según el tipo de programación o por su gestión de la información digital; así, para que un sistema informático se denomine robusto éste debe tener la capacidad de ejecutar diversos procesos de manera simultánea sin generar fallos o bloquearse. Por lo tanto, se puede decir que SmartLab es un sistema poco robusto debido a que el equipo donde fue implementado cuenta con características deficientes que producen que las herramientas usadas trabajen de forma más lenta y en escasas ocasiones, originen situaciones de bloqueo.

6.2.2 Latencia o tiempo de respuesta del sistema

La latencia o tiempo de respuesta del sistema se define como el tiempo que tarda un sistema inteligente en realizar una o varias tareas, orientadas en lograr la adaptación del usuario presente en el entorno. La tabla 6.2 presenta los resultados obtenidos para la evaluación del SmartLab según la métrica de latencia.

Para cada actividad se hicieron 5 pruebas donde se reporta solo el promedio. Vale la pena aclarar que para cada prueba se utilizó una pareja nodo usuario-nodo contexto que representaba la situación en cada sala.

Tabla 6.2. Resultados de la evaluación de la latencia

Actividad		Número de tareas	Latencia (seg)
1	Envío de perfil de usuario	1	0,016
2	Comienzo de sensado	2	6,2
3	Comunicación de agentes	4	15,4
4	Respuesta de SMA	7	27
5	Momento de Sensado a momento de respuesta en sala de estudio	11	56
6	Momento de Sensado a momento de respuesta en sala de arte/relajación	11	56

A continuación se muestra el detalle de las tareas por cada actividad:

- Actividad 1: Envío de información acerca del usuario al agente de contexto
- Actividad 2: Sensado de nodo contexto y Sensado de nodo usuario
- Actividad 3: Envío de solicitud de perfil de usuario por parte del agente de contexto, Envío de perfil de usuario por parte del agente usuario, Consulta de estado del

- entorno realizada por el agente contexto, y Envío de contexto y perfil de usuario al agente de adaptación.
- Actividad 4: Envío de solicitud de perfil de usuario por parte del agente de contexto, Envío de perfil de usuario por parte del agente usuario, Consulta de estado del entorno realizada por el agente contexto, Envío de contexto y perfil de usuario al agente de adaptación, Adecuación de temperatura, Adecuación de luminosidad y Activación de sistema de karaoke para la sala de arte ó sistema de audio para la sala de relajación ó despliegue de información para la sala de estudio.

 - Actividad 5: Sensado de nodo contexto, Sensado de nodo usuario, Almacenamiento de información enviada por nodo contexto en BD de contexto, Almacenamiento de información enviada por nodo usuario en BD de contexto, 4 tareas de la comunicación de agentes, Adecuación de temperatura, Adecuación de luminosidad y despliegue de información.

 - Actividad 6: Sensado de nodo contexto, Sensado de nodo usuario, Almacenamiento de información enviada por nodo contexto en BD de contexto, Almacenamiento de información enviada por nodo usuario en BD de contexto, 4 tareas de la comunicación de agentes, Adecuación de temperatura, Adecuación de luminosidad y Activación de sistema de karaoke para la sala de arte ó sistema de audio para la sala de relajación.

Según los resultados obtenidos en la tabla 6.2 y una gráfica de Latencia vs Número de tareas (figura 6.1), se puede observar que el tiempo de respuesta del sistema aumenta a medida que lo hace el número de tareas, por lo que se identifica que se comportan según una relación lineal de la siguiente forma:

$$l = \alpha n + \beta$$

donde l es la medida de la métrica de latencia, n es el número de tareas, y α y β son sus parámetros ($\alpha=5,5346$, $\beta=-6,4382$).

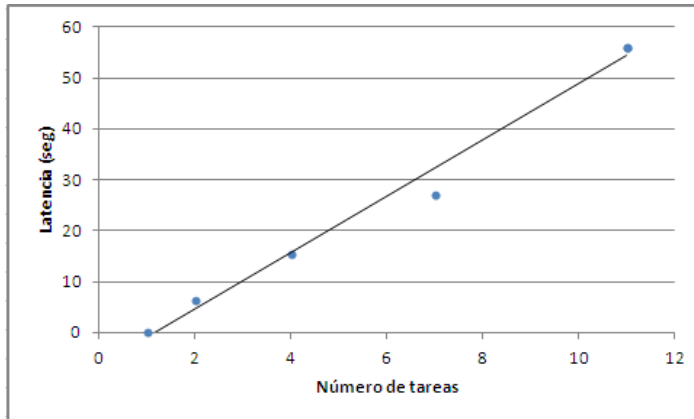


Figura 6.1. Latencia vs Número de tareas

Debe tenerse en cuenta que aunque la validación incluye variables que están en el marco de un sistema simulado dentro de un mismo computador, en un sistema real los comportamientos serían similares dónde lo único que cambiaría serían los tiempos de respuesta del sistema producidos por los sistemas de control de temperatura e iluminación, y los tiempos de adquisición de información por parte del localizador GPS y de las etiquetas RFID, donde ambos tiempos serían mayores a los obtenidos con el sistema simulado debido a retardos inherentes a la electrónica, mecánica, y al funcionamiento mismo de los dispositivos reales empleados. No se presenta una gran diferencia entre el sistema simulado y el real debido a que la plataforma de WSN usada para el prototipo de validación además de simular los nodos inalámbricos, permite programar el mismo código fuente implementado en los Sun SPOT's virtuales en los dispositivos reales, a diferencia de los sensores de RFID y GPS donde es necesario manipular la electrónica correspondiente a cada sensor externo, y por lo tanto, el sistema simulado puede reproducirse casi en su totalidad en dispositivos reales.

6.2.3 Completitud

La completitud de un sistema inteligente es la capacidad de generar un cambio o no en el entorno ante un evento. Esta métrica puede tomar dos valores y debe tenerse en cuenta un tiempo máximo para la realización del cambio:

- 0, cuando no hay cambio ante un evento

- 1, cuando hay cambio ante un evento

En la tabla 6.3, se muestran algunos cambios ocurridos en el entorno como consecuencia de la presentación de un evento, lo cual refleja el cumplimiento de esta métrica por parte del sistema SmartLab. Para generar los indicadores de completitud, se ejecutaron diez casos.

Tabla 6.3. Resultados de la evaluación de la completitud

Evento		Cambio	Completitud
1	Temperatura menor/mayor que la deseada por el usuario	Aumentar/disminuir temperatura del entorno	1
2	Nivel de luz menor/mayor que el deseado por el usuario	Aumentar/dismunir intensidad del sistema de iluminación del entorno	1
3	Presencia de usuario en sala de arte	Encendido de sistema de karaoke	1
4	Presencia de usuario en sala de relajación	Encendido de sistema de audio	1
5	Presencia de usuario en sala de estudio	Proporción de información en dispositivo de usuario	1

6.2.4 Escalabilidad

La escalabilidad determina como varía el desempeño del sistema inteligente cuando el número de tareas a realizar aumenta. Su medición se basa en determinar en qué proporción se altera el tiempo de latencia. Para su medición, se define la siguiente expresión:

$$Es = \frac{l_{max} - l_{min}}{n_{total}}$$

Donde l_{max} y l_{min} son los valores máximo y mínimo de latencia, respectivamente y n_{total} es el número total de tareas. La escalabilidad viene asociada con uno de los siguientes valores cualitativos:

- Escalabilidad Buena: cuando se cumple que

$$\Delta Es = \left(\frac{Es_{actual} - Es_{anterior}}{Es_{anterior}} \right) < 0.5 \text{ (50\%)}$$

- Escalabilidad Deficiente: cuando se cumple que

$$\Delta Es = \left(\frac{Es_{actual} - Es_{anterior}}{Es_{anterior}} \right) > 0.5 \text{ (50\%)}$$

Donde ***Es_{actual}*** es la Escalabilidad al aumentar el número de tareas y ***Es_{anterior}*** es la Escalabilidad sin aumentarlas.

Con base en la tabla 6.2 se determinó la escalabilidad del sistema SmartLab, tomando la información registrada en la actividad 6 para hallar el ***Es_{actual}*** y la información de la actividad 4 para hallar el ***Es_{anterior}***, y el resultado obtenido se reportó en la tabla 6.4.

Tabla 6.4. Resultados de la evaluación de la Escalabilidad

<i>Es_{actual}</i>	<i>Es_{anterior}</i>	ΔEs	Valor cualitativo
5,09 seg/tarea	3,86 seg/tarea	0,32	Escalabilidad buena

7. Conclusiones y Trabajo futuro

El nuevo concepto de Aml traerá grandes avances referentes al área de la salud, principalmente a las personas de la tercera edad y personas discapacitadas, gracias al mejoramiento de las interfaces con el usuario y las formas de comunicación, debido a que se podrá interactuar en lenguaje natural con el sistema diciéndole qué actividad se quiere realizar a través de voz ó gestos. La Aml generará una eficiencia en la actuación diaria de las personas, evitando la manipulación directa de dispositivos cotidianos, es decir, la programación de éstos solo es realizada durante su creación, y dándole prioridad a tareas más importantes y productivas para su vida.

En esta tesis de maestría se propone un meta-modelo de Aml, el cual basado en el conocimiento del Contexto y el Perfil de Usuario pretende guiar en el desarrollo de aplicaciones que logren adaptar el entorno donde es implementado. Para lograr esto, se definen varios modelos que están conformados por toda la información necesaria para lograr su objetivo: el modelo de contexto con información del estado del entorno, el modelo del usuario con ciertas características del usuario, el modelo de adaptación que tiene en cuenta el contexto y/o el perfil de usuario con el fin de ofrecer los servicios más adecuados al usuario, y por último, el modelo de dominio con el conocimiento necesario en determinada aplicación.

Como elementos tecnológicos facilitadores de este meta-modelo se propone el uso de WSNs para adquirir información de ciertas variables físicas del entorno y del usuario, enriquecidas con agentes inteligentes, quienes, poco a poco, van agregando inteligencia a éstas y son los encargados de la adaptación dentro del entorno.

Los principales aportes de esta tesis de maestría son: un modelo de Inteligencia Ambiental facilitado por la integración de Redes de Sensores Inalámbricas con Agentes Inteligentes, el cual tiene la capacidad de ofrecer aspectos tales como conocimiento de contexto, WSN más inteligentes y adaptación. Además, una nueva clasificación del

contexto que permite deducir más fácilmente la situación actual del entorno y su consecuente adaptación, y la definición de una arquitectura para desarrollar sistemas de Inteligencia Ambiental. Finalmente, la implementación de un prototipo basado en la arquitectura propuesta y de una estrategia de evaluación del desempeño a nivel cualitativo y cuantitativo de sistemas inteligentes con el fin de realizar la validación del modelo propuesto.

La integración de las plataformas de desarrollo que fueron utilizadas para la implementación del prototipo, estas son: Solarium, SQLite, JADE, CLIPS y NetBeans se convierte en una de las fortalezas del trabajo de investigación desarrollado en esta tesis de maestría, donde se puede ver el cumplimiento de la condición de crear sistemas más robustos que aprovechen las fortalezas de cada uno individualmente.

Debido a la complejidad que puede llevar la definición de un Sistema Aml, es de vital importancia tener claro las características que debe poseer para poder ser catalogado dentro del campo de la Aml y de la misma forma que puedan ser evaluados a partir de éstas. Entre las características más destacables y las cuales se discuten en esta tesis están: interactividad, conectividad, ubicuidad, invisibilidad, adaptatividad y sensibilidad al contexto.

Estas características además de permitir la evaluación del desempeño de sistemas Aml al comparar algunos ya predefinidos como se mostró en esta tesis, también sirve como soporte en la construcción de nuevos sistemas de este tipo. Además, como soporte de validez adicional se encuentran las métricas definidas en la evaluación de desempeño cuantitativa, estas son: especificaciones del equipo, latencia, completitud y escalabilidad; con las cuales se pudo concluir que el sistema desarrollado en el marco de esta tesis: "SmartLab" podía ser considerado como un sistema inteligente.

Como trabajo futuro se tiene previsto validar el modelo a través de la implementación de un prototipo real, implementando dispositivos hardware reales que realicen el monitoreo de una zona en tiempo real (e.g. MICA2, Mote Sky, Mote Iris, SunSpot, Zigbee, etc.); e integrarlo con un SMA desarrollado en alguna plataforma para la creación y alojamiento de agentes inteligentes como JADE con el fin de alcanzar tareas como seguimiento, control y toma de decisiones en un dominio de aplicación específico donde interactúen

varios usuarios de forma que se tengan en cuenta sus preferencias y el estado del entorno, y que la interacción usuario-entorno sea en lo posible transparente. Además, se pretende incluir más características en el modelo del usuario tales como limitaciones físicas, discapacidades cognitivas e historial que junto con la definición de un formalismo de expresión de las preferencias, gustos e intereses proporcionen mayor información del usuario y faciliten obtener el máximo confort de los usuarios finales, y finalmente considerar algún mecanismo de retroalimentación que permita actualizar dinámicamente los perfiles manejados en el modelo de adaptación.

Además se tiene previsto a largo plazo, implementar los agentes en los sensores (para mejorar su rendimiento tal como se especificó en esta tesis), en los dispositivos móviles de los usuarios y en un servidor central encargado de gestionar la información de todo el sistema. De esta manera se explotarían las características principales de los agentes (distribución, comunicación y paralelismo).

Aunque con la implementación del modelo de Aml propuesto se logra proporcionar un entorno inteligente que se adapta tanto a la situación en que éste se encuentra como a los usuarios presentes en él, se tiene como trabajo futuro aplicar el paradigma orientado a servicios a través de la integración de OSGI (acrónimo en inglés para Open Services Gateway Initiative), el cual consiste en un marco de trabajo modular que provee escalabilidad, interoperabilidad y heterogeneidad en sistemas complejos.

Finalmente, se pretende aumentar el número de servicios y por ende, el número de acciones a realizar dentro del laboratorio inteligente simulado con el fin de obtener una interacción más natural entre la tecnología y el usuario, que se asemeje más a la interacción real y lograr la máxima satisfacción de éste.

Referencias bibliográficas

Aarts E., Marzano S. (Eds.). (2003). *The New Everyday: Views on Ambient Intelligence*. 010 Publishers. Rotterdam, The Netherlands.

AMIGO Project. <http://www.amigo-project.org>, Último acceso 02 Junio 2012.

AMIGO. *Amigo Ambient Intelligence for the networked home environment*. (2004). Short project description. Enero 16.

Arango F., Zapata C. M. (2006). *UN-Método para la elicitación de requisitos de software*. ISBN: 958-33-9717-2. Escuela de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

Asensio, A.; Miguel, A.; Pascual, J. (2009). *Diseño de un simulador para redes de sensores*. Facultad de Informática, Universidad Complutense de Madrid.

Barraza A., Barrera L., Carrillo A., Martínez S. (2010). *ZUGYM: Un Sistema basado en Agentes que ofrece Servicios Personalizados a Clientes de Gimnasios*. Quinto Congreso Colombiano de Computación (5CCC).

Bayer P. & Svantesson M. (2001). *Comparison of Agent-Oriented Methodologies Analysis and Design MAS-CommonKADS versus Gaia*. Blekinge Institute of Technology. Student Workshop on Agent Programming. Sweden.

Carretero N. & Bermejo A. (2005). *INTELIGENCIA AMBIENTAL*. Centro de Difusión de Tecnologías, Universidad Politécnica de Madrid.

Carrillo A., Gensel J., Villanova-Oliver M., Martin H. (2005). Sistemas Multi-Agente ubicuos para la recuperación de información adaptada. CLEI 2005, Conferencia Latinoamericana de Informática, pp. 367-378. Cali, Colombia.

Casanova, L. (2002). Sistema de Posicionamiento Global (GPS), Capitulo 10. www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/topografia_plana/pdf/CAP-10.pdf
Último acceso 19 Marzo 2012.

Cheong, E. (2007). Actor-Oriented Programming for Wireless Sensor Networks. University of California, Berkeley. August 30.

Corrales J. A., Torres F., Candelas F. A. (2006). Tecnologías en la Inteligencia Ambiental. XXVII Jornadas de Automática. Almeria.

Cortese G., Lunghi M. and Davide F. (2005). Context-Awareness for Physical Service Environments, Ambient Intelligence, IOS Press, pp. 71-96, <http://www.ambientintelligence.org>.

De Paola A., Gaglio S., Lo Re G., and Ortolani M. (2009). Human-Ambient Interaction through Wireless Sensor Networks. Conference on Human System Interactions. Catania, Italia.

Dey A.K. (2000). Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications. Ph thesis, Collage of Computing. Georgia Institute of Technology. Diciembre.

Eisenhauer M., Rosengren P., Antolin P. (2009). A development platform for integrating wireless devices and sensors into Ambient Intelligence systems. IEEE International Workshop on Wireless Ad-hoc and Sensor Networks. Roma, Italia.

Fernández L., Blasco J. M., Hernández J. F., Montón E. (2006). Wireless Sensor Networks in Ambient Intelligence. Universidad Politécnica de Valencia. Workshop TSB-LST, WTHS'06.

Ferscha A. (2003). Coordination in Pervasive Computing Environments. Proceedings of the Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, Proceedings of the Twelfth IEEE International, Linz-Austria, IEEE, 3-9, Junio.

FIPA. (1997). Foundation for Intelligent Physical Agents, Foundation for Intelligent Physical Agents. Specifications. <http://www.fipa.org>, Último acceso 2 Marzo 2010.

Gallego J., Lemos D., Meneses G. and Hernandez A. (2010). Development of a Wearable Vital Signs Monitor for Healthcare. 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS Buenos Aires, Argentina.

Gómez J. (2002). Modelado de Sistemas Multi-Agente. Tesis Doctoral, Departamento de Sistemas Informáticos y Programación. Universidad Complutense de Madrid.

Hernández J., Restrepo S., Muñoz T., Ovalle D. (2010). Modelo de un Sistema Híbrido Multi-agente para la detección y control de incendios ambientales simulados: STOP-FIRE. Quinto Congreso Colombiano de Computación (5CCC).

Hong D., Chiu D., Shen V., Cheung S., Kaféza E. (2007). Ubiquitous enterprise service adaptations based on contextual user behavior. Information Systems Frontiers, Springer Netherlands, p. 343-358. Julio.

Horfan A., D. (2005). Sistema de seguridad en redes locales utilizando sistemas multiagentes distribuidos Net-Mass. Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia, Colombia. N34 sep P101-113.

Iglesias C. (1998). "Definición de una metodología para el desarrollo de sistemas multiagente". Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos Universidad Politécnica de Madrid.

JADE. Java Agent DEvelopment Framework. <http://jade.tilab.com/>. Último acceso 2 Marzo 2010.

JADE Tutorial: JADE Programming for beginners. (2009). TILab. Italia.

Jian H., Yumin D., Yong Z., Zhangqin H. (2008). Creating an Ambient-Intelligence Environment Using Multi-Agent System. The 2008 International Conference on Embedded Software and Systems Symposia (ICESS2008). Chengdu, Sichuan, China. Julio.

Kirsch-Pinheiro M., Gensel J., Martin H. (2004). Representing Context for an Adaptive Awareness Mechanism. Proceedings of the 10th International Workshop on Groupware (CRIWG 2004), LNCS, Springer-Verlag, vol. 3198, pp. 339-348.

Kolari J., Laako T., Hiltunen T., Ikonen V., Kulju M., Suihkonen R., Toivonen S., and Virtanen T. (2004). Context aware services for mobile users , technology and user experiences. VTT information.

Küpper A. (2005). Location-based Services, Fundamentals and Operation. Ludwig Maximilian University Munich, Germany, Ed Wiley.

Maes P. (2007). New Paradigms for Human-Computer Interaction. Fluid interfaces group. Massachusetts Institute of Technology. Estados Unidos.

Magerkurth C., Etter R., Janse M., Kela J., Kocsis O., Ramparany F. (2006). An intelligent user service architecture for networked home environments. 2nd IET International Conference on Intelligent Environments, 2006. IE 06. Athens. Julio.

Mahgoub, I & Ilyas, M. (2006). Smart dust: sensor network applications, architecture, and design. Taylor & Francis Group. Florida, USA.

Marsh, D.; Tynan, R.; O’Kane, D.; O’Hare, G.M.P. (2004). Autonomic wireless sensor networks. Engineering Applications of Artificial Intelligence.

Muldoon, C. (2007). An agent framework for ubiquitous services. Ph.D. dissertation, University College Dublin.

Muldoon, C.R., Collier, W., O'Grady, O'Hare, G. (2006). Agent factory microedition: A framework for ambient applications. Computational Science–ICCS 2006, vol. Volume 3993/2006, pp.727–734.

MyHeart Project. (2004). <http://www.hitech-projects.com/euprojects/myheart/>. Último acceso Mayo 29 2011.

O'Hare, G. (1996). Agent Factory: An Environment for the Fabrication of Multi-Agent Systems. Foundations of Distributed Artificial Intelligence, p.449.

O'Hare G. & Jennings N. (1996). Foundations of distributed artificial intelligence. John Wiley & Sons.

O'Hare G.M.P. & O'Grady M.J. (2003). Gulliver's Genie: A Multi-Agent System for Ubiquitous and Intelligent Content Delivery. Computer Communications, Vol. 26, No. 11, pp. 1177-1187, Elsevier.

O'Hare G.M.P., O'Grady M.J., Keegan S., O'Kane D., Tynan R., Marsh D. (2004). Intelligent Agile Agents: Active Enablers for Ambient Intelligence. Department of Computer Science, University College Dublin (UCD). Dublin, Ireland.

Orozco A., Cárdenas J., Flórez L., Carrillo A. (2008). MAIPU: Modelo de adaptación de información basado en perfil de usuario para personalizar las ventas de productos a través de portales Web. Departamento de Ingeniería de Sistemas, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Ovalle D. (2009). Notas de curso de Sistemas Multi-Agente. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Pastrana M., Ovalle D.A. (2008). Método de Comparación utilizando Métricas de Calidad para Protocolos de Negociación Electrónica en Sistemas Multi-Agente. Revista: DYNA, UNAL – Sede Medellín, ISSN: 0012-7353, Vol. 75, No. 154, pp. 231-240.

Pauwels E.J., Salah A. A., Tavenard R. (2007). Sensor Networks for Ambient Intelligence. IEEE 9th Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP). Amsterdam.

Pérez J. A. (2000). Sahara: Arquitectura de seguridad integral para sistemas de agentes móviles basados en Java”, Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, Departamento de Informática, Oviedo, España, Febrero.

Pérez W. (2010). Guía metodológica orientada a desarrolladores de servicios de mercadeo basados en localización para ofrecer mejores alternativas teniendo en cuenta perfiles de usuario. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Ingeniería de Sistemas. Bogotá, Colombia.

Piedrahita, A.A.; Montoya, A.; Ovalle, D.A. (2009). Integration Model of Mobile Intelligent Agents within Wireless Sensor Networks. IEEE Latin-American Conference on Communications 2009. LATINCOM '09. Colombia.

Pozo-Ruz, A.; Ribeiro, A.; García, M.C.; García, L.; Guinea, D.; Sandoval, F. (2000). Sistema de Posicionamiento Global (GPS): descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro. Mundo Electrónico, N° 306, pp.54-59.

Quero A. (2007). Definición de una Metodología de Desarrollo de Software utilizando Ontologías. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

Restrepo S.E., Montoya A., Ovalle D.A. (2011). Modelo de evaluación de Sistemas de Inteligencia Ambiental utilizando un Vector de Características Intrínsecas. II Congreso de Inteligencia Computacional. Medellín, Colombia.

Riva G., Vatararo F., Davide F., Alcañiz M. (2005). Ambient Intelligence. IOS Press. <http://www.emergingcommunication.com>. Último acceso 02 Junio 2012.

Russell S. & Norvig P. (1996). INTELIGENCIA ARTIFICIAL, Un Enfoque Moderno. Prentice Hall Hispanoamericana S.A., pp 979.

Santi, P. (2005). *Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks*. John Wiley & Sons Ltd. England.

Schmidt A. 2005. *Interactive Context-Aware Systems Interacting with Ambient Intelligence*, in *Ambient Intelligence*, G. Riva, et al., Editors.

Sebbak F., Mokhtari A., Chibani A., Amirat Y. (2010). *Context-aware ubiquitous framework services using JADE-OSGI integration framework*. 2010 International Conference on Machine and Web Intelligence (ICMWI). Algiers, Algeria.

Small Programmable Object Technology (SunSPOT).
<http://www.sunspotworld.com/index.html>. Último acceso 02 Junio 2012.

Steiniger S., Neun M. and Edwardes A. *Foundations of Location Based Services. Lesson 1, Lecture Notes on LBS, V. 1.0*.

Stojmenovic, I. (2005). *Handbook of Sensor Networks: Algorithms and Architectures*. John Wiley & Sons, Inc. Canadá.

Sun Microsystems (2009). *Solarium User's Guide. Red Release 5.0*. California, U. S. A.

Susperregi L., Mautua I., Tubío C., Pérez M. A., Segovia I., Sierra B. (2004). *Una arquitectura multiagente para un Laboratorio de Inteligencia Ambiental en Fabricación. Taller DESMA'04 (Desarrollo de Sistemas Multiagente)*. España.

Tynan, R.; Ruzzelli, A.G.; O'Hare, G.M.P. (2005). *A Methodology for the Development of Multi-Agent Systems on Wireless Sensor Networks*. SEKE'05, the 17th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering. Taiwan, China, IJSEKE press.

Villalba M. E. (2008). *Investigación Innovación en e-Salud*.
http://www.catedravodafone.etsit.upm.es/formacion/informatica_sanitaria/0809/docs/0809_IS_CLASE%20INNOVACION_evm.pdf. Último acceso Julio 27 2011.

Vlassis N. (2007). *A Concise Introduction to Multiagent Systems and Distributed Artificial Intelligence*. University of Amsterdam.

W3C. <http://www.w3.org/TR/webont-req/>. Último acceso Abril 24 2011.

Weiser M. (1991). *The Computer for the 21st Century*. Scientific American.

Weiss, G. (1999). *Multiagent Systems A Modern Approach to Distributed Modern Approach to Artificial Intelligence*. Massachusetts Institute of Technology.

Wooldridge M. (2002). *An Introduction to MultiAgent System*". 1ª ed. Baffins Lane, England: John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 047149691X.

Wooldridge M., Jennings N. R., Kinny D. (1999). *A Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design*; Kluwer Academic Publishers, Boston. Manufactured in The Netherlands.

Zapata C. & Sánchez A. (2010). *Sistema Inalámbrico para la Supervisión de las Variables Ambientales de un Invernadero*. Revista Virtual Diseño y Pensamiento. Quinta Edición. Universidad del Quindío.

Zhao, F. & Guibas, L. (2004). *Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach*. Elsevier/Morgan-Kaufmann.