

XIV Jornadas Telecom I+D

Arquitectura de agentes para entornos domóticos

Alvaro Paricio García, Juan Ramón Velasco Pérez, Miguel Ángel López Carmona, Iván Marsá Maestre
Departamento de Automática, Universidad de Alcalá
Campus Universitario. Ctra. Madrid-Barcelona, Km. 33,6
E-28871 Alcalá de Henares (Madrid)
Telf: 91 885 6594, Fax: 91 885 6641 / 6923
E-mail: aparicio@aut.uah.es, juanra@aut.uah.es

Área V: Domótica e Inmótica

En la rápida evolución sufrida por los sistemas domóticos e inmóticos en los últimos años, el papel de los agentes y específicamente, de los agentes inteligentes, es cada vez más relevante. La gran mayoría de las propuestas de investigación y comerciales, incluyen uno o más agentes dotados de un nivel de inteligencia variable según su función. Este artículo realiza una taxonomía de los agentes implicados en el entorno domótico, según su funcionalidad, proponiendo una Arquitectura de Sistema Multiagente (MAS) al efecto. En ella se presta especial atención a la distinción entre el conjunto de agentes personales nómadas (móviles con los usuarios y con los dispositivos), y el conjunto de agentes estáticos o de sistema con los que interactúan. Éstos últimos pueden resultar de propiedad individual, colectiva o de terceros, por lo que los modelos de negociación presentan ciertas diferencias, en la obtención de recursos y servicios.

1. Introducción

Dentro de los recientes y continuos esfuerzos hacia la creación tecnológica y la estandarización de las soluciones Domóticas e Inmóticas, así como en la Inteligencia Ambiental¹, [2,3], se están realizando grandes esfuerzos en el área de los dispositivos, de las interfaces de comunicación entre ellos, de las configuraciones de referencia y de los sistemas multiagente (MAS) [4,5,6].

El Grupo de Tecnología de Agentes del Departamento de Automática de la Universidad de Alcalá (GTA-UAH), lleva algún tiempo desarrollando una intensa labor de investigación en tecnología de agentes y sistemas multiagente aplicados a la Inmótica y Domótica. El artículo presenta las guías de trabajo y arquitectura teóricos del proyecto.

Para ello se plantean en primer lugar los escenarios de domótica e inteligencia ambiental, así como los requisitos que plantean los sistemas. En el segundo apartado se comentan las principales plataformas y sistemas para la AmI. El cuarto y quinto apartados muestra el modelo y clasificación de servicios y agentes respectivamente, para la arquitectura propuesta. Por último se comentan varios de los servicios finales ya implementados en la plataforma domótica y algunas conclusiones.

2. Inteligencia ambiental y entorno domótico

El concepto de *entorno domótico*² como aplicación de las tecnologías de la información y comunicaciones a los edificios, con el propósito de aumentar el confort, la seguridad y control, los servicios disponibles (salud y multimedia

fundamentalmente) y la eficiencia energética (con especial énfasis en los aspectos bioclimáticos) entre otros [18], ha sido ampliado actualmente por el concepto de Inteligencia Ambiental.

La Inteligencia Ambiental amplía los ámbitos de aplicación de la tecnología: ya no se trata sólo de un entorno doméstico, sino que también se incluyen otros espacios nuevos: el automóvil, los espacios de uso público (aeropuertos, estaciones, autopistas, etc), zonas de servicios (hoteles, centros comerciales, etc) y otros [1,2]. En adelante, usaremos indistintamente ambos términos para referirnos al mismo concepto.

2.1. Los servicios domóticos

Los servicios proporcionados a los usuarios de los sistemas, pueden ser contemplados desde tres puntos de vista diferentes: modo de operación de los servicios, entornos de aplicación, y los servicios ofertados [7,8]. Estos amplían la clasificación más habitual de: domótica para usuarios domésticos, y domótica para usuarios empresariales.

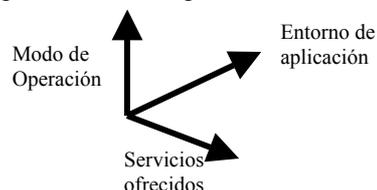


Figura 1. Alcance de los servicios domóticos.

En función del entorno de aplicación, podemos distinguir varios escenarios de aplicación:

- Entornos domóticos propietarios, en los que el conjunto de usuarios finales de los servicios, son los dueños en exclusiva de los recursos a gestionar (o por lo menos tienen los derechos de uso).
- Entornos domóticos de dominio colectivo, pero privado, en los que varios conjuntos de usuarios

¹ AmI, Ambient Intelligence.

² Smart home, smart house.

comparten un recurso de propiedad común. Este puede ser el caso de un parque empresarial, una comunidad de vecinos, etc.

- Entornos domóticos de uso público, en los que los recursos físicos no pertenecen a los usuarios finales de los servicios domóticos sino a un tercero, operador del servicio que factura por los mismos.

De la misma manera, en función de quién presta los servicios domóticos podremos encontrar diversos escenarios de operación:

- Servicios domóticos operados directamente por sus usuarios finales (de forma individual o colectiva).
- Servicios domóticos operados por terceros (por ejemplo, en ciertos casos es la promotora de la construcción quien oferta y opera el servicio a las viviendas construidas por ella [18]).

La tercera dimensión se refiere a los servicios que se pueden ofrecer en cada uno de los entornos domóticos identificados:

- Telemedicina.
- Teleformación.
- Vigilancia y Seguridad.
- Recuperación de información.
- Ocio (servicios multimedia).
- Control de recursos local y remoto.
- Ahorro energético.
- Atención a mayores.
- etc.

Estas tres dimensiones condicionan los mecanismos de negociación entre los posibles agentes que componen el entorno AmI.

2.2. Componentes del entorno domótico

Con independencia de los mecanismos de regulación específicos de cada administración (en el ámbito nacional la regulación de las Infraestructuras Comunes de Telecomunicación y el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [9,10,11]) que podrían modificar el alcance de los modelos de referencia³, parece haber existir acuerdo en el sector acerca del modelo de referencia de red (ISO, IEC [12], [13]):

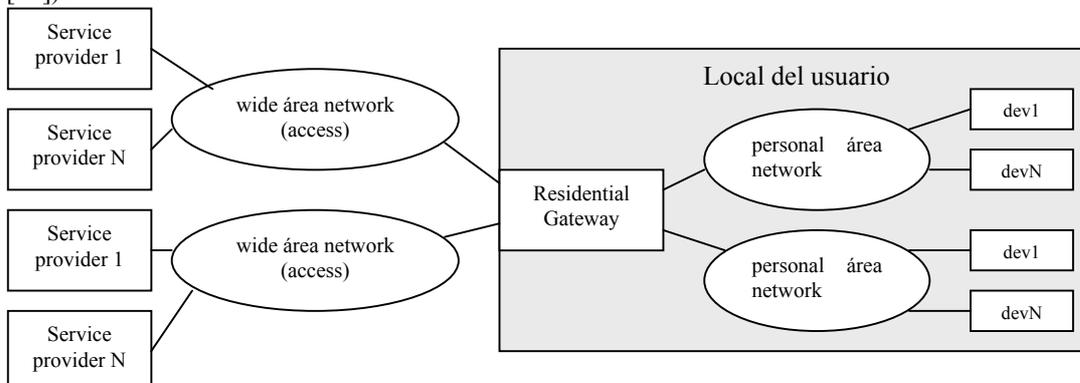


Figura 2. Componentes del entorno domótico.

- **Residential Gateway (RG), Home Server (HS).** Es el componente fundamental de interfaz entre el mundo domótico y el mundo de los proveedores de acceso, contenidos y servicios.
- **Red metropolitana de datos, red de acceso (Wide Area Network, WAN).** Formado por diversas redes con puntos de acceso de usuario final que permiten a los proveedores de capacidad (datos), contenidos y servicios ofrecer sus productos al usuario final.
- **Red doméstica de datos, red interna de distribución (Home Area Network, HAN).** Del RG pueden partir una o más redes internas del local domótico que interconectan los distintos dispositivos que dan soporte a los diferentes servicios disponibles en la vivienda.
- **Dispositivos domóticos** que ofrecen los diferentes servicios domóticos al usuario final. Estos dispositivos pueden ser pasivos (sensores) o activos, con un nivel de inteligencia variable. De la misma manera, los dispositivos podrán ser fijos o móviles.

En relación a la interconexión entre los componentes, todos ellos se interconectan entre sí con diferentes topologías y tecnologías: X.10, LonWorks-LonTalk, CEBus, EIBus, EHS, Konnex, PLC. etc. No obstante, las tecnologías centradas en el transporte inalámbrico son las que mayor potencial presentan: BlueTooth, 802.11, UMTS, etc. La generalidad del concepto AmI hace que el volumen de escenarios a cubrir sea ingente. Esto hace que las arquitecturas de los sistemas, los servicios y redes sean interoperables, abiertas, escalables y ampliables. La mejor manera de abordarlos es desde una doble perspectiva: desde la visión del usuario, y desde la propia visión interna del sistema.

2.3. Requisitos del usuario de un sistema AmI

Como ya se ha visto, la AmI está orientada fundamentalmente a los servicios al usuario. Por ello el enfoque tecnológico de Procesamiento Independiente del Contexto -*Pervasive Computing*-

³ La regulación suele ir por detrás del avance tecnológico, siendo los actores del mercado los que

resulta de aplicación: “[El Pervasive Computing] proporciona el procesamiento en cualquier lugar y en cualquier instante, permitiendo desacoplar los usuarios de los dispositivos, y modelando las aplicaciones como entidades que realizan tareas en beneficio de los usuarios” [22,35]. El contexto se define como “*cualquier información que pueda emplearse para caracterizar la situación de una entidad cualquiera que ésta sea: persona, lugar, u objeto físico o computacional*” [23]. De este modo:

- El usuario puede estar ubicado en un entorno privado, en un lugar público, o en un entorno colectivo (por ejemplo, una comunidad de propietarios). La capacidad de interactuar con el sistema dependerá de su perfil de usuario.
- El usuario puede requerir al sistema doméstico servicios internos o servicios externos (vía un HomeGateway).
- El usuario deberá ser autenticado, autorizado y facturado en el acceso a los servicios.
- El usuario debe tener el mismo contexto cualquiera que sea su posición geográfica y el dispositivo que emplee. De hecho, el usuario puede estar representado por el terminal que esté empleando en cada momento, siendo la interfaz condicionada por el mismo (en tanto en cuanto no se disponga de un terminal universal). Así pues, la movilidad del usuario se consigue tanto con la movilidad geográfica del terminal como con la migración de terminal.
- La prestación de los servicios (y el hecho asociado de la comunicación) se produce a instancia de cualquier agente autorizado (del sistema) o del propio usuario.
- La información que recibe el usuario está particularizada y adaptada a su contexto.

Además del usuario, existen otros actores que deben tenerse en cuenta:

- Los recursos domésticos, como elementos actuables tanto para la prestación de servicios como para la modificación de características del entorno.
- El propio entorno doméstico, modelable como un conjunto de elementos monitorizables mediante sensores.
- Los proveedores de servicios externos.

Especialmente para el soporte en entornos AmI colectivos o públicos, es fundamental el empleo de interfaces normalizadas y seguras dada la variedad de terminales disponibles.

2.4. Requisitos de los sistemas para el entorno doméstico

Tal y como hemos visto, la heterogeneidad de servicios y dispositivos existentes, requieren que la AmI esté soportada por sistemas que provean de [19,20,21,22,25] :

- Tecnologías de *pervasive computing*⁴, independientes del contexto.
- La independencia del contexto implica la carencia de mecanismos de sincronización global [25].
- Tecnologías de comunicación independientes del medio de transmisión y del dispositivo.
- Acceso concurrente a los recursos desde las entidades participantes.
- Interfaces de usuario altamente avanzadas e intuitivas.
- Dispositivos inteligentes capaces de detectarse, reconocerse (validarse), y negociar entre sí para auto-organizarse. Estos dispositivos deben ser autónomos en sí mismos (autocontenidos), aunque deben cooperar con otras entidades. Deben interactuar de forma transparente a las personas (sin su intervención).
- Independencia de la tolerancia a fallos. El fallo de uno de los dispositivos no deberá afectar a los demás [25].
- Los componentes deben ser capaces de intercambiarse no sólo servicios, sino también contextos [21,22]: adquisición, descubrimiento, interpretación y distribución de contextos.

Así, pues las arquitecturas que den soporte a estos sistemas deben ser: *adaptativas, personalizables, extensibles y abiertas*. Los sistemas de comunicación móviles juegan un papel determinante en ellos, constituyendo la base de los agentes personales.

3. Plataformas de servicio y Sistemas Multiagente (inteligente) para AmI

La combinación de los aspectos mencionados ha llevado al concepto de: *Procesamiento móvil inteligente e independiente del contexto*⁵, que incorpora técnicas de desarrollo software intermedio (*middleware*), técnicas de desarrollo de agentes, y técnicas de inteligencia artificial. En [24] se puede consultar una amplia bibliografía sobre el tema.

Para la implementación de los servicios anteriormente citados existen diversas aproximaciones: por un lado, software libre abierto GPL ampliamente empleadas en entornos domésticos de pequeña escala orientadas a integrar el control de la vivienda y sus recursos bajo un servidor HTML, por ejemplo [32].

Otras aproximaciones se centran en la consecución de mecanismos de integración transparente de dispositivos, como el Universal Plug and Play Device Initiative (UPnP), [33].

En las aproximaciones comerciales las más extendidas son las basadas en la infraestructura de OSGi [14], estándar *de facto* en el mercado por su flexibilidad y su reflejo del modelo comercial de los servicios.

suelen requerirla [18].

⁴ *Pervasive Computing*, procesamiento ubicuo.

⁵ *Intelligent Mobile and Pervasive Computing*.

No obstante, se requieren enfoques más avanzados, con agentes móviles dotados de inteligencia y con capacidad de aprendizaje, llevando a arquitecturas de sistemas más avanzadas.

Para la consecución de la independencia de las plataformas parece imponerse en la mayoría de experiencias la tecnología Java dada la variedad de sus máquinas virtuales JVM siendo éstas soportadas por un número creciente de dispositivos, primando la interoperabilidad sobre las prestaciones, especialmente en el campo de los sistemas multi-agente [26]. Para la definición de los componentes, servicios e interfaces, parecen imponerse los lenguajes basados en XML.

3.1. Arquitecturas orientas a dispositivos

Las arquitecturas orientadas a conectividad entre dispositivos y servicios, como UPnP, Jini, Salutation y otras, están orientadas a la conectividad de redes *peer-to-peer*. Para ello describe el uso de ciertos protocolos comunes para permitir la conectividad entre dispositivos mediante cualquier medio de transporte. Así resuelven varios puntos fundamentales:

- Direccionamiento de los dispositivos: mediante mecanismos de asignación manual, DHCP o AutoIP.
- Autodescubrimiento de dispositivos y servicios. En UPnP cada dispositivo tiene que auto-presentarse mediante puntos de control. Estos son entidades que gestionan los servicios ofrecidos por los dispositivos.
- Modelado, descripción separada del dispositivo y de los servicios proporcionados.
- Control de los dispositivos mediante HTTP, XML y SOAP.
- Servicio de eventos, por suscripción a los mismos en los puntos de control.
- Presentación de los servicios mediante URL's e interfaces de usuario capaces de accederlas.

3.2. OSGi

Según [14]: “*La Infraestructura y Especificaciones de OSGi facilitan la instalación y operación de múltiples servicios en una única Pasarela de Servicios Residencial (Open Services Gateway, OSG) (set-top box, módem de cable o DSL, PC, Web-phone, automóvil, pasarela multimedia o pasarela residencial dedicada).*”

En OSGi se desarrolla la pasarela residencial mediante el concepto de Plataforma de Servicios. Con ella se entregan los diferentes servicios domóticos (u otros) al usuario en forma de paquetes software *-bundles-* en formato *jar de java* que encapsulan los diferentes servicios. La infraestructura OSGi provee de mecanismos de soporte de ciclo de vida de las distribuciones de SW y de los servicios, incluyendo su propio directorio de servicios. Asimismo, define un modelo de referencia que identifica los diferentes roles de las entidades participantes en la operación de los servicios.

El OSG es un dispositivo seguro, sin administración local que interconecta las redes internas del usuario con las redes de acceso de los proveedores tanto de servicios, como acceso, transporte y fabricantes de software.

OSGi presenta como principal ventaja la formulación de un modelo operativo sencillo, viable y orientado a modelos reales de comercialización, con gran interoperabilidad.

No obstante, las interfaces presentadas por OSGi carecen de la inteligencia necesaria para prestar un servicio donde los dispositivos sean autónomos y ofrezcan capacidades avanzadas adicionales a las ofrecidas por los proveedores de los servicios, quedándose a un nivel funcional de servicio: identificación de los actores/roles, la descripción de sus interfaces y el modelo de entrega y gestión de los servicios.

Ello hace preciso el desarrollo de nuevas capas software sobre ellas para alcanzarlas. Por ello, se identifica el paradigma de sistemas multiagente inteligentes como el más adecuado para su integración.

3.3. Agentes inteligentes

En el entorno domótico existen perfiles de usuarios con capacidades inteligentes que deberían aprender del pasado para maximizar la probabilidad de éxito en el desarrollo de sus funciones según los gustos personalizados de los usuarios. Y en este sentido, para acelerar y aumentar la adaptabilidad al usuario: aparece el comportamiento proactivo en que el sistema elabora de manera autónoma nuevas metas y las negocia haciendo uso de la mejor manera de presentación aprovechando además sus capacidades de manejo del lenguaje natural e interfaces hablados. Con la introducción del papel del conocimiento, aparece el concepto de agente inteligente, con ciertas características que lo definen: autonomía, reactividad, iniciativa, y habilidad social entre otras. Es mucha la literatura existente sobre agentes y sistemas multiagente ([27,28,29,30,31] ofrecen multitud de referencias actualizadas e históricas). Así, el papel de los agentes queda entre los modelos lógicos de servicio y validación, y los componentes de plataforma (*middleware*) que interconectan los componentes.

Existen numerosas propuestas y experiencias de aplicación de tecnología de agentes y *pervasive computing*, [24]. Entre ellas, destacan las que tienen una perspectiva holística como el proyecto Oxygen del MIT [8].

4. Modelos de análisis

A los efectos de análisis de la arquitectura de multiagentes, en nuestra propuesta empleamos un enfoque por niveles de abstracción. En un nivel superior se encuentra el plano de análisis, modelado y validación, en el que se establecen varios modelos necesarios para el desarrollo de los proyectos de domótica/inmótica:

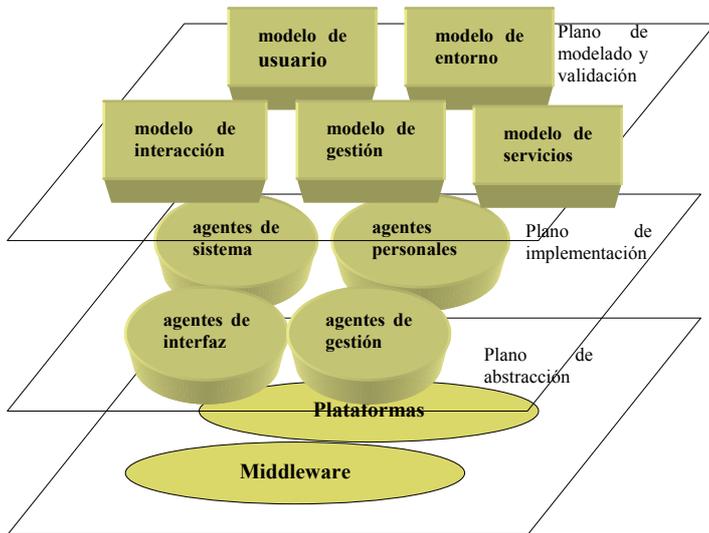


Figura 3. Modelos de análisis.

- **Modelo de entorno:** dirigido a las entidades participantes en el entorno domotizado.
- **Modelo de usuario:** dirigido al modelo BDI⁶ de las personas que desean interactuar con el entorno
- **Modelo de interacción:** dirigido al control de los métodos y modos de interacción.
- **Modelo de gestión:** dirigido a la administración del sistema completo, y en relación con los proveedores de servicio.
- **Modelo de servicios:** orientado a la estructuración funcional de los integrantes del sistema MAS.

Tras estos aspectos de análisis, se encuentra el plano de implementación, donde se constituyen los agentes que se encargan de realizar las funciones establecidas en los modelos, ya sea implementando los servicios que le corresponden o cierta funcionalidad específica:

- **Agentes de sistema:** relacionan el modelo de interacción con el modelo de entorno, estableciendo una capa de inteligencia en los sensores y actuadores del edificio, así como mecanismos de coordinación entre ellos.
- **Agentes personales:** implementan el modelo del usuario en relación con el entorno. Representan a las personas que acceden al edificio y se encargan de que éste se adapte a los gustos de sus representados.
- **Agentes de interfaz:** permiten que el usuario interactúe con el resto de los sistemas.
- **Agentes de gestión:** permiten que el proveedor de los servicios interactúe con los sistemas: operación, supervisión, provisión, mediación, etc.

Un agente puede tener comportamientos combinados de una o varias de las características mencionadas.

⁶ *Believes, desires and intentions.*

La capa inferior la constituye el plano de abstracción del hardware, implementado por el middleware y las plataformas.

Para el análisis de los sistemas multiagente combinaremos varias metodologías: Agent UML [34], la propia notación de OSGi [14], los modelos de interacción propuestos por FIPA [15] así como los modelos de referencia de la red [12,13] y otros (MAS-CommonKADS [16], INGENIAS [17]).

Según el plano de modelado descrito anteriormente, contemplamos los siguientes modelos para la arquitectura de agentes domóticos.

4.1. Modelo de entorno

Consideraremos que la plataforma central objeto de análisis está ubicada en el HomeGateway del usuario. Este normalmente contiene capacidad de procesamiento y recursos suficientes para la instalación del sistema software de agentes, existiendo implementaciones de tecnología estándar de bajo coste, así como sistemas operativos asociados (Embedded linux, J2ME, Windows Embedded, etc).

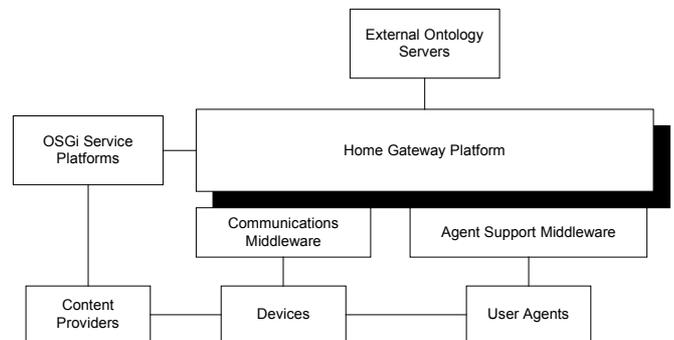


Figura 4. Modelo de entorno.

El entorno de la plataforma de agentes domóticos contempla la integración con plataformas normalizadas para este tipo de soluciones, fundamentalmente basadas en entornos OSGi como ya hemos visto. El sistema en el domicilio del usuario debe ser capaz de interactuar con las plataformas OSGi que le proporcionan servicios externos.

De la misma manera, a los efectos del análisis, la plataforma de agentes domóticos contempla diferentes clases de dispositivos:

- Sensores (temperatura, presencia, humos, seguridad, etc). Estos dispositivos normalmente son pasivos.
- Actuadores (interruptores, valvulas, etc).
- Dispositivos de interfaz, cuyo objetivo es la presentación de contenidos.
- Terminales móviles de usuario.

Obviamente, un dispositivo puede presentar características comunes a uno o varios de estos perfiles. Asimismo, las tecnologías de comunicaciones y control domóticos actuales deben ser soportados por el sistema de agentes propuesto. Este soporte se realiza mediante el correspondiente

componente de middleware presente en la plataforma de los agentes.

Los proveedores de contenidos externos, acceden mediante sus plataformas de servicio externas a los dispositivos domóticos que han sido habilitados al efecto desde la plataforma del HomeGateway. De la misma manera, los agentes particulares del usuario pueden residir en los propios dispositivos que lo soporten (por ejemplo, PDA's, móviles, etc), usando los mecanismos de la plataforma para su habilitación.

Para conseguir el principio de procesamiento independiente del contexto, es preciso un modelo genérico del conocimiento que independice los servicios, los usuarios y los dispositivos. Este modelo se consigue mediante ontologías.

Las ontologías son ampliamente usadas en los campos de Inteligencia Artificial y la Web Semántica [36]. Una ontología proporciona el vocabulario de representación del conocimiento sobre un dominio y sus situaciones específicas.

Cada ontología se modela mediante lenguajes de definición de ontologías (Web Semántica) como OWL y RDF [38,39]. Estos lenguajes permiten la descripción de cada uno de los modelos de datos de cada aplicación y/o servicio en términos de clases, relaciones entre ellas y sus propiedades y atributos. Muchas de estas ontologías pueden ser referenciadas y adquiridas mediante proveedores externos de ontologías [1].

En [22] se muestra una arquitectura middleware para *pervasive computing* orientado al mantenimiento de un modelo de contexto común, compartido por todos los dispositivos y servicios, así como varios servicios de gestión de ontologías.

La arquitectura de agentes debe estar soportada por una plataforma de gestión de agentes que incorpore los recursos básicos para soportar su ciclo de vida, el modelo de despliegue, su configuración, su supervisión, y la inclusión de nuevas funcionalidades. Entre ellas se encuentra el soporte a los diferentes protocolos de comunicación que componen el entorno domótico. En las primeras implementaciones realizadas por el grupo de agentes de la UAH se emplea JADE [40] como plataforma de trabajo.

4.2. Modelo de Usuario

Ya en el epígrafe anterior dedicado a los requisitos del usuario de un sistema AmI se trataron las directrices básicas de análisis. El modelo de usuario es muy dependiente de las aplicaciones concretas desplegadas, por lo que se manejará a nivel de ontologías y contextos.

El modelado concreto de los usuarios se remitirá a las implementaciones concretas de la arquitectura para las diferentes aplicaciones.

4.3. Modelo de Interacción

Los modelos de interacción que la arquitectura incluye básicamente comprenden los modelos de interacción proporcionados por FIPA, ampliándolos

con nuevos servicios de distribución de eventos por mecanismos *multicast*. Esta ampliación se debe a la necesidad de tener modelos más sencillos de interacción entre agentes residentes en la misma plataforma, incluso en el mismo hardware.

Los modelos contemplados por FIPA resultan demasiado acoplados en general al estar basados en modelos *peer-to-peer*. Cada agente debe conocer de antemano los destinatarios de sus mensajes o emplear un agente proxy que los encamine.

En ese sentido, el modelo de interacción ampliará el paradigma de *subscriber-publicador* dotándolo de un enfoque más genérico *multicast*. Esta ampliación será objeto de futuros trabajos específicos. Baste reseñar que las suscripciones de los distintos componentes forman parte de los contextos de agentes mencionados anteriormente.

En los mecanismos de comunicación orientados a eventos es precisa la definición de canales de comunicación restringidos, hilos de comunicación específicos, que se describirán en el modelo de interacción.

En [21] se describe una arquitectura de agentes para AmI donde se definen *dominios de interés* de los agentes, que se comunican agrupándose en comunidades, que son moderadas por un *líder*. La compartición del conocimiento se realiza mediante una arquitectura de pizarras.

En [37] se muestra una arquitectura de agentes para AmI donde se establecen organizaciones sociales implícitas y explícitas de agentes en función de sus intereses (ontologías), empleando para ello mecanismos de *chanelled-multicast* (sobre multicast IP).

El modelo de interacción se ve ampliado por la integración de los servicios de terceros a través de plataformas OSGi, o desde los propios mecanismos de descubrimiento de dispositivos.

4.4. Modelo de gestión

El modelo de gestión de la arquitectura de agentes contempla separadamente la gestión de los recursos empleados por los propios agentes, la plataforma, los servicios que soporta, tanto internos como externos y sus usuarios.

Así, asociados a cada agente podremos encontrar:

- La relación de bundles OSGi asociados.
- Descripción de las ontologías soportadas (ficheros *rdf*).
- Ficheros de configuración normalizados (ficheros XML).
- Componentes de comunicación empleados.

La propia plataforma debe disponer de un componente general de Servicio de Directorio, similar al *Directory Facilitator* descrito por FIPA y su extensiones [41,42]. Entre otros se incluirán los siguientes directorios:

- Directorio de agentes [41].
- Directorio de servicios [41,42,43].
- Directorio de ontologías.
- Directorio de Usuarios.

- Directorio de Contextos Locales y de Usuario.
- Directorio de Aplicaciones.
- Directorio de Planificaciones Temporales.

El estado general de los diferentes actores, recursos y entidades es modelado por contextos basados en las ontologías, existiendo en el plano de agentes al menos un agente inteligente razonador de contextos. El *middleware* de plataforma de agentes debe incorporar un motor de inferencias capaz de realizar los correspondientes procesos de razonamiento sobre las ontologías y contextos.

4.5. Modelo de servicios

En el análisis del sistema y la clasificación de los agentes involucrados, resulta preciso realizar un análisis y clasificación previo de los servicios necesarios en el sistema. Un agente podrá implementar cero, uno o más servicios.

El sistema multiagente para AmI que nos ocupa debe integrar el mapa de servicios y aplicaciones disponible desde las pasarelas OSGi como los servicios internos ofrecidos por los dispositivos, y los servicios y aplicaciones internos implementados en el sistema.

En la figura se relacionan algunos de los servicios identificados en la arquitectura, clasificados según su funcionalidad general.

Así encontramos:

- Servicios de Directorio.
 - Servicios de Descubrimiento.
- Ambos proporcionan recursos para la búsqueda y localización y descubrimiento automático de otros servicios y agentes.
- Servicios y Aplicaciones externos, para la integración de los servicios proporcionados por

las pasarelas OSGi.

- Servicios internos de la propia plataforma.

5. Arquitectura de agentes

Atendiendo a los modelos mencionados anteriormente, se propone la arquitectura de agentes mostrada en la figura 6. Como ya se ha mencionado los agentes implementan cero, uno o más servicios en función de su rol. Dependiendo de él, su cardinalidad puede variar de 0 a N (0 si el agente no está presente, N cuando tiene varios ejemplares).

En el diagrama se agrupan por su categoría funcional, mostrando también las relaciones con el modelo de entorno y los directorios de información.

El esquema mostrado hace más hincapié en el rol de los agentes que en su materialización concreta, pudiendo ser integrados uno o más de estos roles en un único ejemplar (por ejemplo, el agente descubridor de dispositivos y el agente geoposicionador).

5.1. Agentes de Sistema

Los agentes de sistema complementan la función de la plataforma de agentes, proporcionando servicios de diversa complejidad basados en conocimiento.

Razonador de Ontologías (Ontology Agent)

Su misión es el razonamiento abstracto sobre las diversas ontologías realizando deducciones e inducciones integrando el modelo de conocimiento. Como se indica en [22] dicho razonamiento es más eficiente si se realiza por niveles: razonamiento generalizado y específico del dominio.

El directorio de ontologías es administrado por este agente.

Servidor de Contextos (Context Broker Agent)

El agente servidor de contextos agrupa la información relativa a los usuarios, sus perfiles, perfiles y dominios funcionales, relacionándolos con las aplicaciones y servicios que usan. En [44] se muestra un ejemplo de relación de contextos generando la suficiente información agregada para los agentes de usuario, aplicaciones y servicios.

El directorio de contextos locales es administrado por este agente.

En ciertas configuraciones reducidas, el rol de razonador de ontologías y de servidor de contextos puede verse unificado en un único ejemplar de agente.

Descubridor de Dispositivos (Device Discovery Agent)

Su misión es la actualización permanente del inventario de dispositivos presentes en el sistema, tanto dispositivos fijos como itinerantes, normalmente de usuario.

Este agente se encarga de la recolección de las ontologías de dispositivos adecuadas, así como el inventariado de los servicios proporcionados por él.

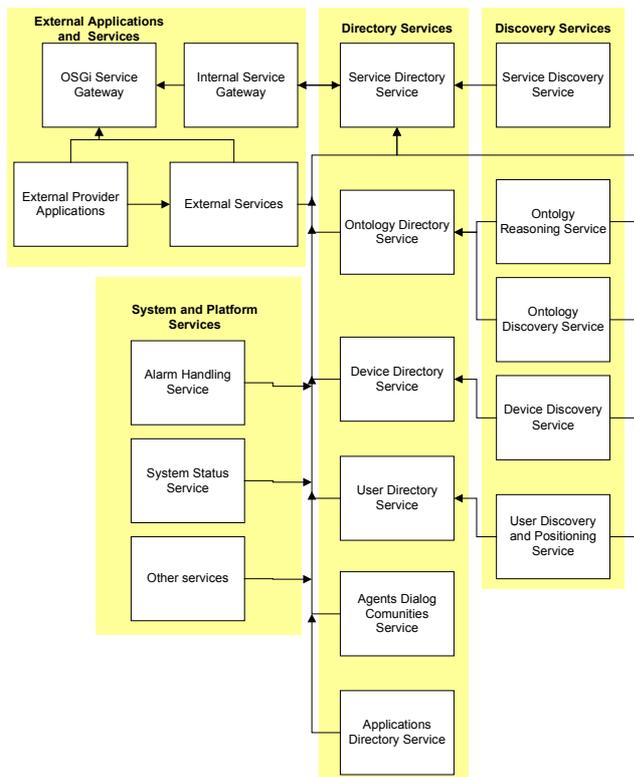


Figura 5. Modelo de servicios.

Gestor de Referencias Espaciales (Device Discovery Agent)

Se ocupa de la resolución y posicionamiento de los dispositivos, generando referencias espaciales universales aptas para la representación inmediata de los recursos en las diferentes aplicaciones a desplegar.

Monitor de dispositivos (Device Monitoring Agent)

Su misión es la monitorización del estado operativo de los dispositivos, así como la toma de datos históricos para la supervisión y gestión de uso (tarificación, etc).

Control de Acceso de dispositivos (Device Access Control Agent)

Su misión es la gestión del estado administrativo de los dispositivos, indicando si son activos o no para los diferentes servicios, y gestionando el control de acceso de los usuarios a ellos.

Los diferentes roles de agentes gestores de dispositivos mencionados pueden ser agrupados en agentes únicos según la estrategia de cada implementación de sistema, minimizando la interacción entre ellos. Así, podemos pensar en un

agente especializado por cada tecnología de dispositivos que asume todos los aspectos ligados a ella: descubrimiento, monitorización, control de acceso, e interfaz de servicios, dialogando todos ellos con un único agente geo-referencial que genera un único contexto geo-referencial común.

En una configuración independiente del contexto podemos disponer de varios agentes descubridores de dispositivos especializados por tecnologías, que alimentan a un único agente georeferencial que genera un único contexto geográfico.

Gestor de Alarmas (Alarm Handling Agent)

Este agente es el encargado de la generación de alarmas y su progresión en el sistema, en función de los casos especificados. Las alarmas pueden provenir de varios orígenes:

- De la monitorización específica realizada por los agentes de dispositivos.
- Espontáneamente desde los dispositivos.
- De otros agentes (por ejemplo, alertas de seguridad en el acceso de usuarios).
- De escenarios de correlación internos del propio agente de alarmas.

El agente se encarga de la normalización de las

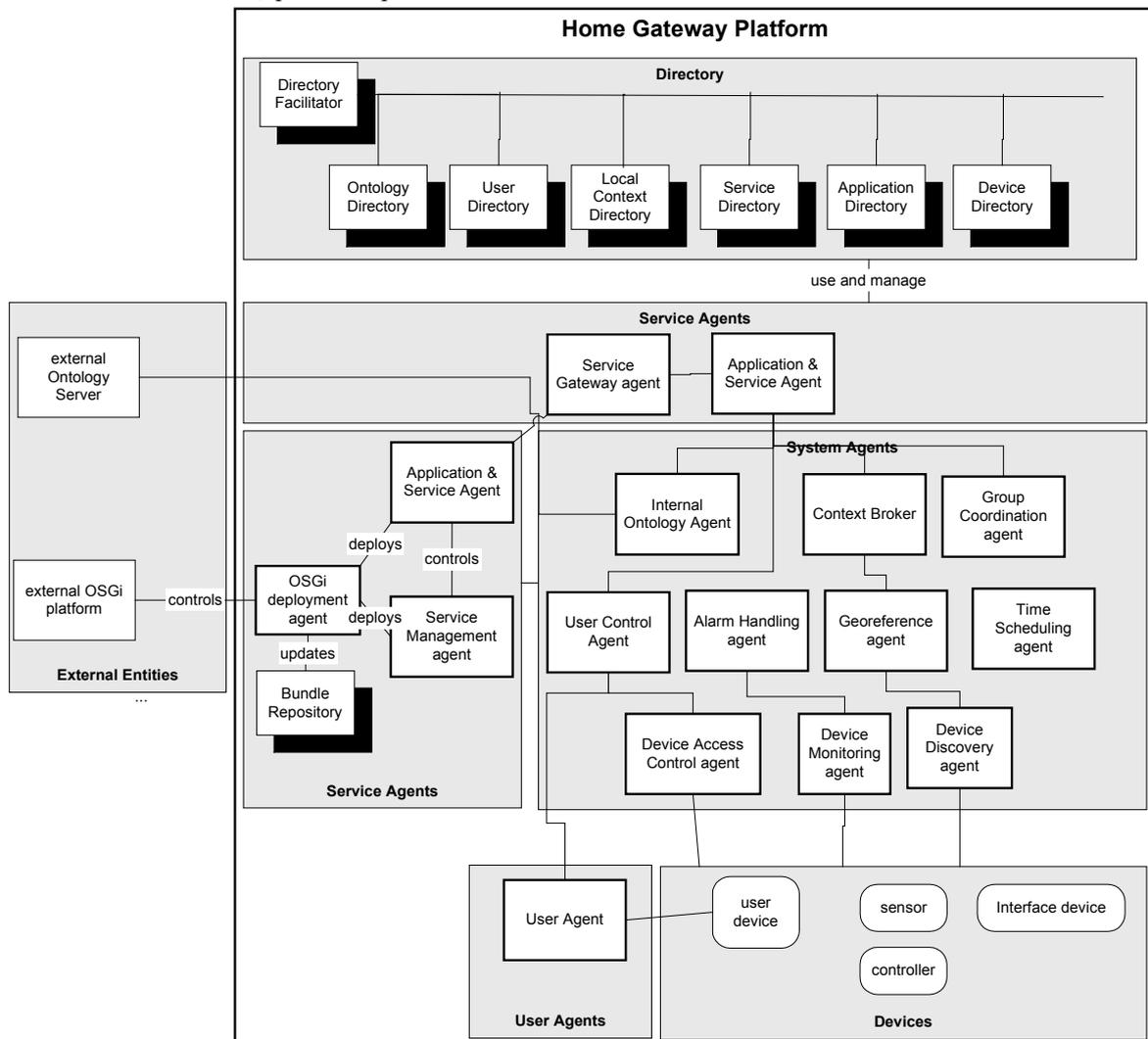


Figura 6. Arquitectura de agentes.

alarmas y su comunicado al agente gestor de contextos.

Control de Usuarios (User Control Agent)

Se encarga de la gestión de la seguridad de usuarios, entendiendo como usuarios tanto a las personas, como a los dispositivos, como a los sistemas externos que interactúan con la plataforma AmI.

De igual manera, se ocupa de la migración de los agentes de usuario entre los diferentes dispositivos según la posición del agente.

Coordinador de Comunicaciones de Grupo (Group Coordination Agent)

Este agente coordina los protocolos avanzados entre los agentes de la plataforma cuando éstos no tienen capacidad suficiente para el establecimiento de la comunicación, así como para actuar de pasarela de mensajes, y de gestor de suscripciones.

Planificador Temporal (Time Scheduling Agent)

Su misión es la gestión de eventos en el tiempo armonizando la sucesión de tareas y proporcionando un orden lógico superpuesto al orden temporal.

Pasarela de Servicios (Service Gateway Agent)

La misión de este agente es la gestión del directorio de servicios, discriminando los servicios internos de la plataforma de los servicios externos, proporcionando mecanismos de control de acceso y de tarificación de uso.

La pasarela de servicios es capaz de interactuar con otras pasarelas de servicio similares.

Agentes de Usuario (User Agents)

Los agentes de usuario constituyen la parte más importante comercialmente hablando de un sistema de AmI dado que definirán la única percepción disponible del sistema para cada usuario.

La misión del agente de usuario es proporcionar al mismo una visión particular del contexto, en los términos que le afectan (según el modelo BDI), ofreciéndole de forma activa las diferentes informaciones y alternativas de que dispone.

Este agente, además de segmentar la información contextual, la adecúa al dispositivo específico sobre el que reside.

6. Conclusiones y trabajos futuros

El Grupo de Tecnología de Agentes de la UAH ha desarrollado numerosos sistemas multiagente orientados específicamente a la generación de aplicaciones AmI: gestor de salud, gestor de compras, planificador de agenda personal, etc.

A la luz de las aplicaciones domóticas ya realizadas se plantea un enfoque generalista de integración de los modelos en un marco semántico homogéneo, con patrones de comportamiento uniforme y normalizados, centralizando los trabajos de investigación en los modelos de negociación comunes, en las ontologías descritas y en los mecanismos de comunicación, ampliando los modelos FIPA.

Referencias

- [1] Chen, H., Perich, F., Finin T. "SOUPA: Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications". International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, August 2004
- [2] "Scenarios for Ambient Intelligence in 2010. The European Union Report". Disponible en: <ftp://ftp.cordis.lu/pub/ist/docs/istagscenarios2010.pdf>
- [3] Shadbolt, Nigel. "Ambient Intelligence". IEEE Computer. Marzo 2003. Disponible en: <http://computer.org/intelligence>
- [4] "Phillips' vision of ambient intelligence". Disponible en: <http://www.phillips.com/research/ami>
- [5] "e2 Home. a joint venture between Electrolux and Ericsson to build smart condominiums". Disponible en: <http://www.e2-home.com>
- [6] "Georgia Tech's Aware Home". Disponible en: <http://www.cc.gatech.edu/fce/ahri>
- [7] "MIT's house_n". Disponible en: http://architecture.mit.edu/house_n
- [8] "MIT's Oxygen project for pervasive human-centered computing". Disponible en: <http://oxygen.lcs.mit.edu/Overview.html>
- [9] Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información. "ORDEN de por la que se desarrolla el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de los edificios y la actividad de instalación de equipos y sistemas de telecomunicaciones". Disponible en: <http://www.setsi.mcyt.es/legisla/legisla.htm>
- [10] Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información. "REAL DECRETO 401/2003, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las

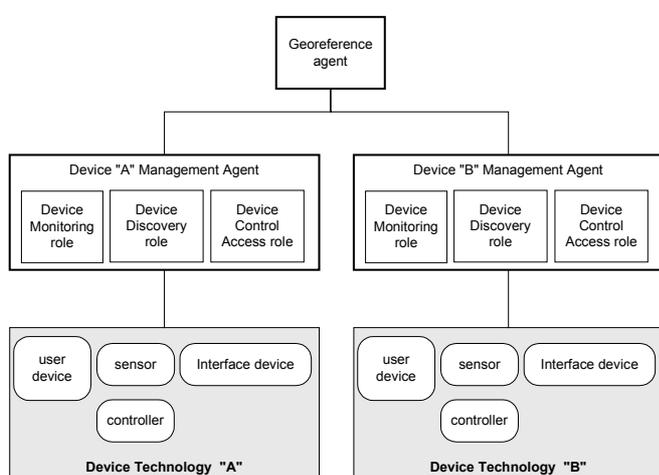


Figura 7. Agrupación de agentes por tecnologías.

infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de los edificios y de la actividad de instalación de equipos y sistemas de telecomunicaciones”. Disponible en:

<http://www.setsi.mcyt.es/legisla/legisla.htm>

[11] Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información. “REAL DECRETO 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión”. Disponible en:

<http://www.setsi.mcyt.es/legisla/legisla.htm>

[12] “Multimedia systems and equipment – Multimedia home server systems – Home server conceptual model”. IEC/TS 62318-2003.

[13] “Information Technology – Home Electronic System (HES) Gateway. Part1:A. Residential gateway model for HES”. ISO/IEC CD 15045-1

[14] “Open Services Gateway initiative (OSGi) Specification”. Disponible en:

<http://www.osgi.org> y http://osgi.org/resources/spec_download.asp

[15] “Foundation for Physical Intelligent Agents”. Disponible en: <http://www.fipa.org>.

[16] “Definición de una metodología para el desarrollo de sistemas multiagente”. Disponible en: <http://www.gsi.dit.upm.es/tesis/cif.html>

[17] “Metodología de análisis de sistemas multiagentes INGENIAS”. Disponible en: <http://grasia.fdi.ucm.es/ingenias>

[18] Canivell, C. “La vivienda domótica: una realidad asequible”. BIT, Julio-Agosto 2002.

[19] Gershenson, C. Heylighen, F. “Protocol Requirements for Self-Organizing Artifacts: Towards an Ambient Intelligence”. Disponible en: <http://pespmc1.vub.ac.be/Papers/SO-Artifacts.pdf>

[20] O’Hare, G.M.P., O’Grady M.J., Keegan, S. O’Kane, D., Tynan, R., Marsh, D. “Intelligent Agile Agents: Active Enablers for Ambient Intelligence”. Proceedings of Ambient Intelligence and Scientific Discovery Workshop, CHI 2004 Conference, Vienna, Austria 25th April, 2004.

[21] Maret, P., Hammond, M., Calmet, J. “Knowledge Sharing for Ambient Intelligence”. Disponible en: http://iaks-www.ira.uka.de/iaks-calmet/papers/Amb_Intelligence.pdf

[22] Gu, T., Keng Pung, H. “Providing middleware support for context-aware services”. Elsevier. Journal of Network and Computer Applications. 2004.

[23] Abowd, G, Dey, A. “Towards a better understanding of context and context-awareness.” En H-W Gellerson, editor, *Handheld and ubiquitous computing*, number 1707 in Lecture Notes in Computer Science, pages 304-7. Springer, September 1999.

[24] “Intelligent Mobile and Pervasive Computing. Selected material on Artificial Intelligence and Agent-based Software for Mobile and Pervasive Computing”. Recopilación en web de bibliografía sobre el tema. Disponible en: <http://mobileandpervasive.blogspot.com/>

[25] Vaskivuo, T. “Software Architecture for decentralised distribution services in spontaneous networks”. VTT Technical Reserach Centre of Finland. 2002.

[26] Khalil, C. “Multi-Agent Systems: A Review of Current Technologies”. IMPACT Research Group. Loughborough University.

[27] Moore, B., Noschang M., Penix, J. “An Annotated Bibliography of Software Agent Technology”. Proceedings of ECAI-92.

[28] Luck, M., Ashri R., d’Inverno M. “Agent-Based Software Development”. 2004.

[29] G. Weiss “Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence”. MIT Press, 2000.

[30] M. Wooldridge “An Introduction to MultiAgent Systems”. John Wiley & Sons, Chichester, England, 2002.

[31] S. Russell, P. Norvig. “Artificial Intelligence: A Modern Approach”. 2nd Edition Prentice Hall, 2002.

[32] “MisterHouse”. Disponible en: <http://misterhouse.sourceforge.net>

[33] “UPnP. Universal Plug and Play Device”. Disponible en: <http://www.upnp.org>

[34] Bauer, B. Müller J.P., Odell, J. “Agent UML: A Formalism for Specifying Multiagent Interaction”. Proceedings of ICMAS 2000, Boston, MA, 2000

[35] Henricksen K., Indulska J., Rakotoniarainy J. “Infrastructure for Pervasive Computing: Challenges workshop o Pervasive Computing”. Informatik’01. Viena 2001.

[36] Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. “The Semantic Web”. Scientific American. 2001.

[37] Busetta P., Rossi S., Legras F. “Real-Time Role Coordination for Ambient Intelligence”. AIMS 2003.

[38] W3 Consortium.. “Web Ontology Language (OWL)”. Disponible en: <http://www.w3.org/2004/OWL/>

[39] W3 Consortium.. “Resource Description Framework (RDF)”. Disponible en: <http://www.w3.org/2004/RDF/>

[40] TiLab. “JADE. Java Agent Development Platform”. Disponible en: <http://jade.tilab.com/>

[41] Foundation for Inteligent Physical Agents. “FIPA Agent Management Specification”. Disponible en: <http://www.fipa.org/specs/fipa00001/SC00001L.html>

[42] Campo, C. “Distributed Directory Facilitator: A proposal for the FIPA Ad-Hoc First CFT”. Universidad Carlos III de Madrid. Disponible en: <http://www.fipa.org/docs/input/f-in-00063/f-in-00063.pdf>

[43] “Web Services and Service-Oriented Architectures”. Disponible en: <http://www.service-architecture.com>

[44].Chen H. et al. “CoBra: Context Broker Architecture. An Intelligent Borker for Context-Aware Systems in Smart Spaces”. UMBC Disponible en: <http://cobra.umbc.edu/>