

GIDIA: Grupo de Investigación y
Desarrollo en Inteligencia
Artificial
Escuela de Sistemas, Facultad de
Minas
Universidad Nacional de
Colombia – Sede Medellín
{omsalazaro, salvarezl,
dovalle}@unal.edu.co

QUOTE-MAS: SISTEMA MULTI-AGENTE UBICUO DE ASISTENCIA BASADO EN LA WEB PARA LA ASIGNACIÓN DE CITAS MÉDICAS Y BÚSQUEDA DE ESPECIALISTAS ADAPTADOS AL PERFIL DE USUARIO

QUOTE-MAS: QUOTE-MAS: UBIQUITOUS MULTI-AGENT WEB-BASED SYSTEM FOR MEDICAL QUOTES ALLOCATING AND SEARCHING FOR SPECIALIST ADAPTED TO USER PROFILE.

Óscar Mauricio Salazar Ospina,
Santiago Álvarez Lebrúm,
Demetrio Arturo Ovalle Carranza.

RESUMEN

La necesidad de sistemas ubicuos que permitan tener acceso a sistemas informáticos, desde cualquier lugar en cualquier momento y el uso masivo del internet, han impulsado la creación de sistemas que puedan ser accedidos, no sólo desde computadores convencionales sino también desde celulares o tabletas, aprovechando así, el crecimiento de las tecnologías móviles que hoy por hoy permiten el uso de aplicaciones cada vez más robustas y elaboradas. El objetivo de este artículo es exponer las ventajas que trae el uso de la computación ubicua orientada a la construcción de aplicaciones web, dotándolas también de las notorias ventajas que trae el vincular este tipo de computación con técnicas de inteligencia artificial distribuida (IAD). A partir de este modelo, se desarrolló un Sistema Multi-Agente (SMA) de asistencia médica que exhibe dichas características llamado Quote-MAS, el cual sirve como apoyo a las empresas promotoras de salud en lo relacionado con la asignación y cancelación de citas médicas, además de servir al usuario tanto en la selección de exámenes médicos según sus preferencias y limitaciones, como en la búsqueda de especialistas en alguna rama de la medicina. Finalmente, se presenta la validación del sistema Quote-MAS a través de un caso de estudio.

PALABRAS CLAVES:

sistemas ubicuos, sistemas Multi-Agente, sistemas de recomendación, perfil de usuario, adaptatividad, aplicaciones web, ontologías.

ABSTRACT

The need for ubiquitous systems that allow access to computer systems from anywhere at any time and the massive use of the Internet, has prompted the creation of systems that can be accessed not only from conventional computers but from mobile phones or tablets, taking advantage of the growth of mobile technologies today allow the use of increasingly robust applications and processed. The aim of this paper is to present the advantages brought by the use of ubiquitous computing-oriented construction of web applications, giving them also the obvious advantages it brings the integration of such a computer approach with distributed artificial intelligence (DAI) techniques. Based on this model we proposed a Multi-Agent System (MAS) that exhibit these features called Quote-MAS, which serves as support to health promotion organizations in relation to the allocation and cancellation of appointments. In addition, this system assists the user both in the selection of medical examinations according to its preferences and limitations, as in the search of specialists in any of medical branches. Finally, we present the validation of the Quote-MAS system by means of a case study.

KEYWORDS:

ubiquitous systems, Multi-Agent systems, recommender systems, user profile, adaptive systems, Web applications, ontologies.

1. INTRODUCCIÓN

Es muy común encontrarse con dificultades en los procesos de asignación y búsqueda de citas médicas en hospitales o empresas promotoras de salud (EPS), un claro ejemplo de esto se presenta en el momento en que algún usuario de la empresa promotora de salud (EPS) decide cancelar una cita previamente asignada. Dicha cita por lo general se pierde, debido a la falta de un medio eficaz y eficiente que permita reasignar la cita a otros usuarios que se encuentren en lista de espera. Los procesos de asignación y la cancelación de citas en las empresas se convierten entonces en tareas arduas y repetitivas por parte de los empleados, quienes a parte de realizar tareas de vital importancia, que muchas veces descuidan, deben revisar grandes bases de datos para la realización de estos dos complejos procesos.

Otro problema común con el que se encuentran comúnmente tanto los empleados de las empresas promotoras de salud (EPS) como sus usuarios, radica en la actualización de documentos exigida por el estado para la renovación del servicio de salud. Este proceso consiste en informar y recordar el envío de documentos de vital importancia para los usuarios, tales como certificados de estudio, certificados de supervivencia, documentos de identidad, etc. En conclusión, el problema radica principalmente en la pérdida sustancial no sólo de citas, sino también de tiempo por parte de los empleados de las empresas de salud, originando retrasos considerables tanto para la empresa como para los demás usuarios.

A partir de las problemáticas planteadas anteriormente, se propuso conceptualizar, analizar, diseñar e implementar el sistema Quote-

MAS, el cual aborda dichas problemáticas mediante la utilización de técnicas de inteligencia artificial distribuida y sistemas Multi-Agente. Adicionalmente, el sistema está basado en la web y de esta forma adopta mecanismos que permitan la búsqueda de información desde cualquier lugar y en cualquier momento, dotando así al sistema de ubicuidad (Ubiquitous Computing) definida por primera vez por Mark Weiser en su artículo "The Computer for the 21st Century" [1] como una computación robusta y transparente al usuario, la cual permitía tener acceso a sistemas desde lugares remotos. Para potencializar más esta característica, se orientó la implementación no sólo a computadores de escritorio convencionales, sino también ampliar el alcance a dispositivos móviles como celulares, tabletas, consolas de videojuego, etc.

Además de las anteriores características, se decidió implementar también un módulo que permitiera de manera automática la selección y/o asignación de exámenes médicos adaptados a las preferencias o limitaciones del usuario. Otro módulo, el cual se optó por implementar en el sistema, consiste en la búsqueda y selección automática de especialistas, de igual manera adaptados a las preferencias y/o limitaciones del usuario, analizando también los convenios que tienen los hospitales a los cuales pertenecen dichos especialistas con las empresas promotoras de salud (EPS).

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2, se presenta el marco teórico relacionado con sistemas Multi-Agente, ontologías, aplicaciones web, sistemas ubicuos y sistemas de recomendación. En la sección 3, se revisan trabajos relacionados con la temática tratada en este artículo; en la sección 4 se presentan las metodologías utilizadas para la implementación del sistema Multi-Agente. En la sección 5 se describe la implementación del sistema y su respectiva validación a través de un caso de estudio y finalmente, la sección 6, recopila y presenta las conclusiones y posibles trabajos futuros.

2. INTELIGENCIA ARTIFICIAL DISTRIBUIDA (IAD) Y SISTEMAS MULTI-AGENTE (SMA)

Se define a la IAD como un campo de la inteligencia artificial basada en la coordinación, las acciones concurrentes y la solución de problemas distribuidos [2]. Los SMA, que emergen de la IAD, juegan en la actualidad un papel fundamental, brindando alternativas y herramientas para la solución de problemas; dichas herramientas consisten principalmente en organizaciones sociales de agentes con capacidades comunicativas que exhiben características de colaboración y la cooperación para llevar a cabo una tarea compleja, dividiéndola en conjuntos de subtarecas, las cuales, son repartidas entre los diferentes agentes del sistema. Por lo anterior, se logra observar que la implementación de este tipo de sistemas favorece la adquisición y la búsqueda de información contenida en diferentes lugares, característica que se adapta completamente a nuestro sistema, puesto que la información contenida en los diferentes hospitales se encuentra distribuida, al igual que las preferencias y/o limitaciones de los usuarios, en un perfil, en el cual es necesario recogerla y centralizarla en una única base de datos.

Es importante destacar las diferentes tipologías de agentes que pueden asociarse a un SMA, en este contexto, un agente es una entidad virtual capaz de actuar en un ambiente propio, puede comunicarse con otros agentes, esta manejado por un conjunto de objetivos y funciones que trata de optimizar, posee recursos propios y es capaz de percibir su ambiente [3]. Con base en lo anterior, en la implementación de un SMA se hace posible la creación de agentes proactivos, mismos que tienen la capacidad de brindar servicios al usuario sin que éste los solicite previamente; agentes reactivos, que se caracterizan por su capacidad para resolver problemas complejos, mientras se mantiene la simplicidad funcional y conceptual de cada elemento [4]; finalmente, agentes deliberativos, los cuales deberán emprender aquella acción que

supuestamente maximice su medida de rendimiento, basándose en las evidencias aportadas por la secuencia de percepciones y en el conocimiento que el agente mantiene almacenado [5].

3. SISTEMAS UBICUOS

Los sistemas ubicuos, también conocidos como sistemas pervasivos (*pervasive systems*), comprenden sistemas que se están comunicando constantemente a través de redes interconectadas, el requisito básico de un sistema ubicuo es la capacidad de proporcionar al usuario suficiente nivel de privacidad en cualquier lugar y en cualquier momento [6].

A medida que las tecnologías inalámbricas y las redes teleinformáticas ganan fuerza, los sistemas ubicuos se hacen cada vez más útiles y necesarios, buscando instaurar una computación que esté presente en objetos que utilizamos cotidianamente, dotándolos con capacidad de cómputo y de comunicación con los demás objetos, con el fin de lograr interoperabilidad entre estos, es decir, la computación ubicua debe tener un nivel mínimo de intrusión, exhibir una inherente proactividad y una adaptatividad dinámica en función de la situación actual (contexto) y de las preferencias del usuario y su entorno [7].

4. ONTOLOGÍAS

Una ontología se define como una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida de un dominio. Ellas proporcionan una comprensión generalizada de un dominio particular de interés [8]. Mediante el desarrollo de ontologías, la comprensión de un dominio se puede realizar de una manera mucho más elaborada y organizada, permitiendo así una mejor adquisición de la información, sumado a esto, la implementación de una plataforma de agentes que se rijan bajo el estándar de agentes FIPA, permite la integración de ontologías [9], lo cual garantiza que dos agentes que utilicen una misma Ontología, coincidan en las interpretaciones de la información que están intercambiando [10].



5. SISTEMAS DE RECOMENDACIÓN

Los sistemas de recomendación desempeñan una relevante tarea en los sistemas actuales, en donde cada vez se hace más necesario que la información que reciban los usuarios coincida con lo que ellos estaban buscando, si a esto le agregamos que las fuentes masivas de información como el internet, arrojan cada vez más resultados, se hace más necesario entonces contar con este tipo de sistemas, para poder afrontar el filtrado de la información con el fin de que el usuario encuentre información relevante de manera ágil y ordenada.

Las recomendaciones se generan a partir de las opiniones proporcionadas por otros usuarios sobre esos ítems en búsquedas previas, o bien a partir del perfil del usuario [11]. A partir de esto, surgen dos modelos para la selección de la información relevante que puede ser presentada a los usuarios: sistemas basados en contenido y sistemas de filtrado colaborativo. El primero permite sugerir al usuario nuevos productos o servicios en función de su similitud con el contenido (descripción) de otros productos que éste ha juzgado anteriormente [12], es decir, toma en cuenta información previa que el usuario ha elegido como relevante para sugerir nuevos contenidos y de esta manera la información va más enfocada en los gustos del usuario. El segundo modelo, utiliza las valoraciones de los

usuarios sobre ciertos elementos del conjunto total para predecir valoraciones en el resto de los elementos y recomendar los de mayor valoración predicha [13].

6. TRABAJOS RELACIONADOS

En esta sección se presentan algunos de los trabajos afines a esta investigación, los cuales también utilizan temáticas relacionadas con sistemas web, movilidad de agentes, agentes adaptativos, sistemas de recomendación y sistemas ubicuos.

El SMA de comercio electrónico e-CoUSAL [14] cuenta con un módulo de adaptación que dota a ciertos agentes del sistema con características de adaptabilidad, dichos agentes tienen la capacidad de presentar páginas personalizadas que ofrecen información relevante de acuerdo a cada cliente. Este sistema presenta un modelo, el cual, permite realizar la adaptación mediante la inserción de un contexto a través del cual se puede adaptar la información con base en características consideradas dentro de este. En la figura 1, se presenta el modelo utilizado para representar el contexto en este sistema, en donde se consideran diferentes variables como el estado del usuario, el estado de los productos, el estado del ambiente computacional, etc.

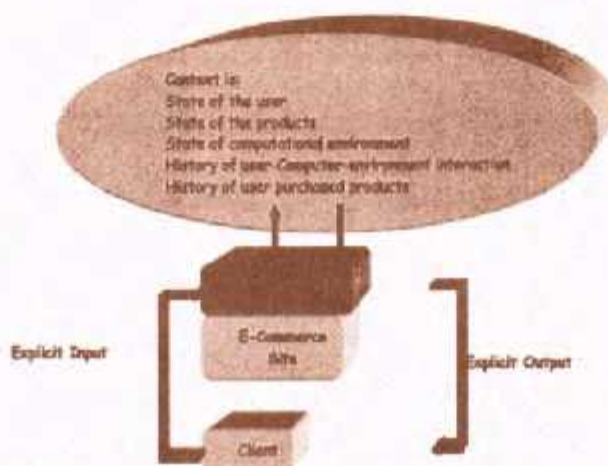


Figura 1. Sistema de recomendación basado en agentes, sistema e-CoUSAL

El módulo de recomendación del sistema e-CoUSAL, actúa con base en dos aspectos: recomendación directa con mecanismo de petición directa y recomendación persuasiva como soporte al sistema de marketing. En el primer aspecto, el usuario interactúa directamente con el sistema mediante la petición de un artículo y el sistema le ayuda en la búsqueda del ítem a través de una lista con los artículos que más se acercan a su petición. El segundo aspecto, corresponde al sistema publicitario que acompaña al contenido de la página completa que es igualmente personalizado. Los sistemas de marketing establecen cómo presentar la publicidad de cada producto destinada a segmentos de consumidores.

El sistema e-CoUSAL presenta características que permiten resaltarlo como un sistema de recomendación bien constituido, sin embargo, este sistema no utiliza ontologías bien definidas que permitan describir y estructurar el contexto de una manera más elaborada y que al mismo tiempo sirva como soporte en la comunicación de los agentes pertenecientes al sistema.

PUMAS [15] es un sistema ubicuo para la recomendación de información adaptada, dotado de cuatro subsistemas Multi-Agente los cuales son: adaptación, información, comunicación y conexión. Este sistema fue diseñado para dispositivos móviles, lo que le otorga

características de ubicuidad. Las consultas se realizan mediante Query Routing, que es un proceso de enrutamiento de consultas, el cual es realizado por el agente RouterAgent del SMA de información y que tiene como función ir adicionando información relevante a la consulta, utilizando como fuente los sistemas de información previamente seleccionados. PUMAS es un sistema bastante robusto, sin embargo, no considera aspectos del contexto social y del entorno que son importantes al momento de adaptar las consultas realizadas por el usuario.

Tapstry [16] fue uno de los primeros sistemas de recomendación basados en filtrado colaborativo, y fue desarrollado por Xerox PARC durante la década de los noventa. Este sistema tenía como función, permitir a los usuarios realizar anotaciones sobre documentos electrónicos publicados en un grupo de noticias, para que posteriormente se pudieran compartir con los demás usuarios del sistema. Sin embargo, este sistema no realizaba la tarea de filtrado automáticamente sino que eran los usuarios quienes a partir de anotaciones, podían determinar si la información allí consignada había sido o no de su interés.

Otro sistema de recomendación interesante es PGMúsica [17] el cual utiliza la técnica de filtrado colaborativo aplicado al dominio de la música, este se basa en el envío y recepción de canciones mediante streaming, utilizando una arquitectura Peer-to-Peer. El módulo de recomendación fue

implementado mediante un sitio web por medio del cual se puede visualizar información de interés adaptada a las preferencias del usuario. El sistema muestra algunas deficiencias en cuanto a la descripción de las canciones que recomienda, lo que origina pérdida de información y recomendaciones inexactas. La utilización de ontologías bien definidas podría atacar este problema, con lo cual la información estaría mejor estructurada.

El SMA Virtual E Care [18] se establece en el campo de la domótica con el fin de permitir la construcción de hogares inteligentes para el cuidado de las personas de la tercera edad, con el fin de mejorar su calidad de vida. Adicionalmente, el sistema cuenta con un desarrollo implementado bajo los estándares de la plataforma OSGi [19] brindando modularidad y permitiendo la integración en tiempo real de componentes con arquitecturas diferentes. El sistema cuenta con un módulo de monitoreo de signos vitales en tiempo real, que permite llevar control constante de cualquier eventualidad que se presente, informarle al usuario sobre su estado de salud y recordarle acerca de los horarios para la ingestión de medicamentos. En el momento que ocurre alguna eventualidad respecto a la salud del usuario, el sistema tiene la capacidad de comunicarse con el Call Care Center, el cual se encarga de tomar las acciones necesarias, que puede ser desde comunicarse con un hospital para reportar la emergencia, hasta informar al usuario las acciones correctivas que se deben tomar. Sin embargo, esta funcionalidad del

sistema evidencia posibles retrasos al momento de comunicarse con los centros de atención hospitalaria, además de requerir constantemente la operación de personal humano para dicha tarea.

Cardea [20] es un sistema que proporciona una plataforma de servicios hospitalarios sensibles a diferentes factores ambientales y circunstanciales que provee información relevante relacionada con situación, temperatura y humedad o dispensación para las diferentes personas y elementos involucrados en el sistema (elementos heterogéneos como medicamentos y personal hospitalario). Posee dos funcionalidades conocidas como el Sistema gestor de alarmas y el Sistema de gestión farmacéutica. Este primero, se encarga de monitorear constantemente las fechas de caducidad de los medicamentos, al igual que su existencia en Stock, esto gracias a un sistema de antenas RFID [21] que posibilita a través de la radiofrecuencia, la identificación de los mismos. El segundo sistema, es el encargado de gestionar la actividad de los medicamentos dentro de la farmacia, se apoya en el uso de la plataforma OSGi que facilita el despliegue de los diferentes módulos utilizados y de igual manera permite el despliegue de nuevos servicios, los cuales ofrecen funcionalidades tales como la localización e identificación de personas y medicamentos mediante tecnologías de radiofrecuencia, integración con sistemas externos utilizando tecnologías de bus, servicios colaborativos con acceso multi-dispositivo.

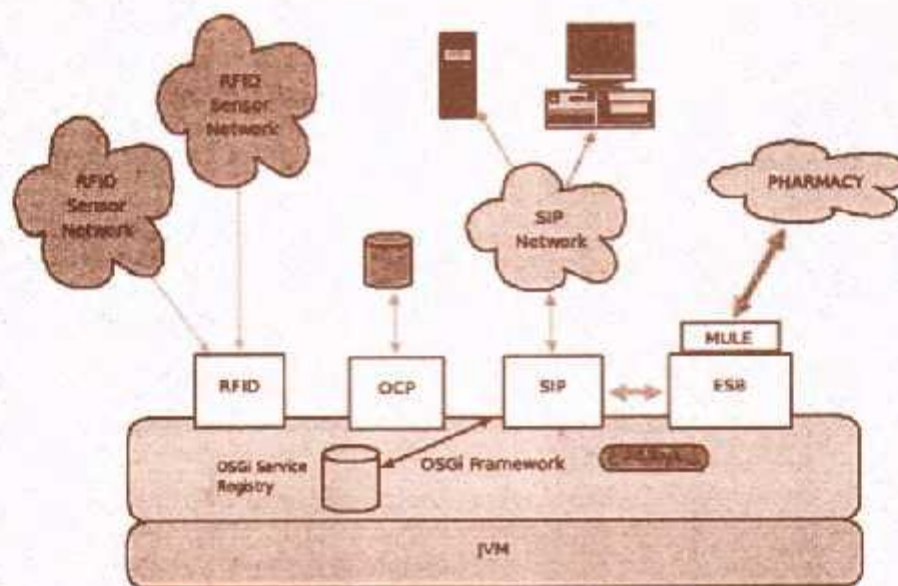


Figura 2. Arquitectura del sistema Cardea [20].

7. MODELO PROPUESTO

El modelo propuesto en este artículo se basa en la integración de los conceptos más relevantes de computación ubicua, aplicaciones basadas en la Web, y técnicas de IAD. Con base en este modelo, se desarrolló un SMA para la asistencia personalizada a los usuarios en la asignación y cancelación de citas médicas, selección de especialistas médicos, además del proceso de entrega de certificados y documentos exigidos por las EPS para la renovación del servicio de salud. Con base en esto, se decidió analizar las diferentes metodologías existentes para la construcción del SMA. De la gran diversidad de metodologías que se encontraron, se optó por utilizar los modelos de las fases de conceptualización, análisis y diseño de las metodologías MAS-CommonKADS [22] y GAIA [21].

Se decidió utilizar estas dos metodologías, dado que se consideró que una sola metodología no cubre totalmente el espectro del sistema y en

algunos casos los modelos se complementan entre diferentes metodologías como se puede observar en la figura 2, en donde por ejemplo, el modelo de organización de MAS-CommonKADS encuentra representación en los modelos de roles e interacción de GAIA. De la misma manera, el modelo de conocimientos de MAS-CommonKADS no encuentra representación en los modelos de GAIA.



Figura 3. Equivalencias entre modelos de las metodologías MAS-CommonKADS y GAIA [23]

A continuación, se presentarán algunos de los modelos más significativos de cada metodología para las diferentes etapas de desarrollo del sistema, mediante los cuales se pretende ilustrar las funcionalidades del sistema de manera mucho más detallada, permitiendo a la vez, una mejor comprensión del dominio del sistema desarrollado y el cómo se reflejan dichos modelos en una posterior implementación. Para el desarrollo de los modelos de las metodologías, se utilizaron artefactos proporcionados por el lenguaje de modelado orientado a agentes, AUMI [24].

7.1. Fase de conceptualización

La fase de conceptualización sirvió para comprender a cabalidad el dominio del problema a solucionar, definiendo así tanto los requisitos funcionales como los no funcionales que se deberían tener en cuenta para el desarrollo del sistema, a partir de esto se delimitó el problema y se definió el alcance que el sistema Quote-MAS tendría.

Luego de identificar los actores tanto internos como externos al sistema, se procedió a reconocer las relaciones o interacciones entre cada uno de dichos actores mediante la utilización del diagrama de casos de uso, propuesto originalmente por Jacobson et al [25], el cual propone la metodología MAS-CommonKADS en su etapa de conceptualización.

Se presenta entonces el diagrama de casos de uso (ver figura 4) para el escenario, gestión de citas médicas, en donde se evidencia la existencia de dos actores, el empleado y el usuario de la EPS, además de tres diferentes interacciones de dichos actores con el sistema, en donde el usuario inicia la transacción solicitando una cita médica en la entidad y a partir de esto, incluye otra transacción que lleva a cabo el empleado donde se asigna la cita médica. Es de aclarar que esta última transacción puede extender en la cancelación de la cita médica en caso de que el usuario así lo solicite.



Figura 4. Diagrama de casos de uso para el escenario gestión de citas médicas del sistema Quote-MAS.

7.2. Fase de análisis

Durante el desarrollo de esta fase se busca abordar el problema planteado en la fase anterior, con el fin de encontrar soluciones que serán posteriormente planteadas en más detalle a través de modelos proporcionados por las dos metodologías que se escogieron para el desarrollo del sistema, sin abordar los detalles relacionados con la implementación.

En la primera etapa de esta fase, se mostrarán los modelos proporcionados por la metodología GALA, la cual busca en primera instancia la identificación de roles, mostrando las diferentes interacciones que estos pueden llevar a cabo entre sí, es decir, pretende definir un conjunto de roles organizados describiendo sus interacciones o lo que es lo mismo, describir una sociedad de agentes [26]. La segunda etapa, mostrará algunos de los modelos que se desarrollan en la etapa de análisis de la metodología MAS-CommonKADS.

• Modelo de roles (Role Model)

El modelo de roles permitió identificar los roles presentes dentro del sistema Quote-MAS, los cuales son: el usuario, el asesor de citas, el asesor de consulta de especialistas, el asesor de recomendación y el asesor de documentación. Es del caso aclarar que, un rol se diferencia de un agente en que el rol es una serie de tareas

coherentes, mientras el agente es quien desempeña uno o más roles [27].

Tabla 1. Plantilla descriptiva del rol usuario del modelo de roles de GAIA para el sistema Quote-MAS

Rol	Usuario
Objetivos	Representar al usuario en el sistema QUOTEMAS y comunicarse con los demás roles.
Responsabilidades	Consultar el perfil: recuperar la información relacionada con el usuario, tanto las preferencias como las necesidades. Entregar el perfil: Consiste en entregar la información relacionada con el usuario, al rol que la solicite.
Capacidades	Gestionar y recuperar la información del perfil de usuario para cuando sea solicitada.
Información requerida	Información presupuestal del usuario. Datos de ubicación del usuario. Información general del usuario. Información de tipo de afiliación al sistema de salud.

La tabla 1, muestra la plantilla descriptiva para el rol usuario dentro del sistema Quote-MAS, la cual define los objetivos principales de dicho rol, al igual que sus responsabilidades, capacidades e información requerida para llevar a cabo dichas responsabilidades. Dado que un rol puede ser

visto como una descripción abstracta de las funciones esperadas de una entidad [3], se realizará una breve descripción de cada rol.

El rol de usuario pretende representar al usuario humano dentro del sistema, además tiene como responsabilidades la administración del perfil del usuario al cual representa y servir como puente entre los demás roles del sistema y el usuario en el momento de enviar y/o recibir información.

El segundo rol dentro del sistema es el asesor de citas, el cual tiene como objetivo el asesorar al usuario con toda la información referente a una cita médica, es decir, es el encargado de consultar, asignar y/o cancelar las citas médicas que el usuario solicite.

El tercer rol es el asesor de consulta de especialistas, que fue definido para recuperar y recopilar toda la información encontrada con respecto a consultas que el usuario solicite referentes a la búsqueda de especialistas en alguna rama de la medicina.

El cuarto rol corresponde al asesor de recomendación, quien se encarga de adaptar la información al perfil del usuario, el cual describe gustos, preferencias, necesidades y limitaciones del usuario que describe tales como presupuesto, hospital, vinculación con EPS, etc.

El quinto y último rol define al asesor de documentación, quien se encarga de generar alarmas a los usuarios referentes a la entrega o vencimiento de documentos solicitados por las EPS.

• *Modelo de Interacción (Interaction Model)*

El modelo de interacción es aquel que describe las diferentes interacciones que se presentan entre los roles especificados anteriormente. Para el desarrollo de este modelo, se recurrió al diagrama de secuencias de AUML, el cual se puede apreciar en la figura 5.

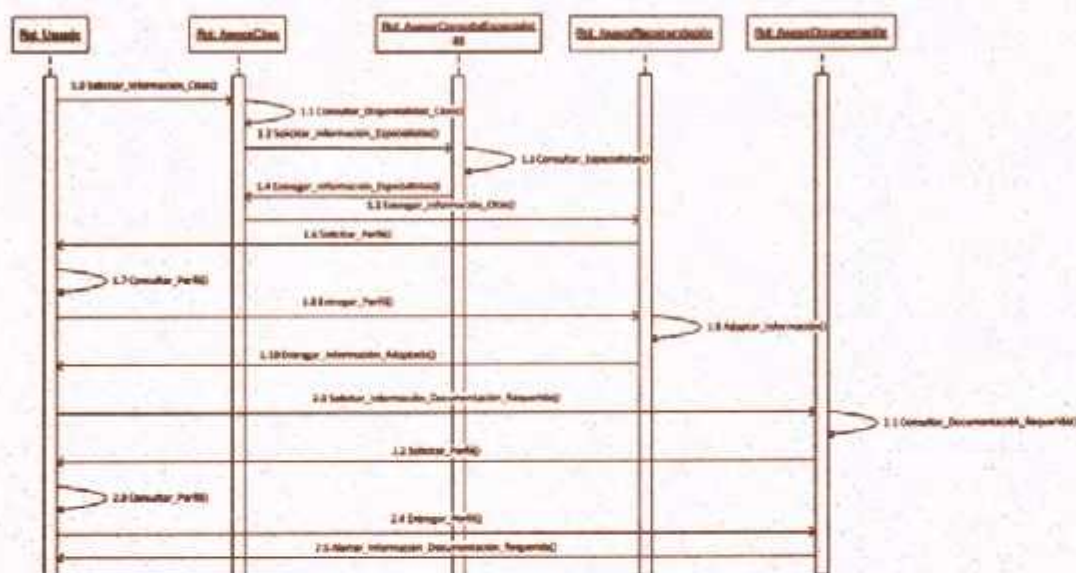


Figura 5. Modelo de Interacción del sistema Quote-MAS

Este diagrama de interacción muestra los diferentes escenarios que se pueden presentar dentro del sistema y la manera en que se van desarrollando mediante la secuencia de comunicación de los roles.

• Modelo de agente (Agent Model)

El modelo de agente (Agent Model) cuyo propósito es el de documentar los distintos tipos de agentes que serán utilizados en el sistema, mapeando los roles encontrados mediante el modelos de roles de GAIA a dichos agentes y determinando la cardinalidad de las instancias de los agentes que serán creados en tiempo de ejecución [26]. Es importante aclarar que un tipo de agente puede asumir uno o más roles aunque lo contrario no es cierto [28], lo anterior es posible puesto que en pro de lograr un sistema más eficiente varios roles pueden ser agrupados en el mismo agente [26].



Figura 6. Modelo de agentes del sistema Quote-MAS

La figura 6 esboza el mapeo de roles a agentes para el sistema Quote-MAS, al igual que la cardinalidad o el número de instancias de cada tipo de agente que se ejecutarán en el sistema Quote-MAS, para esto se utilizó un intervalo (m..n) en la parte superior de la entidad, con (0..*) para significar que habrá cero o más instancias [26]. Con base en esto, podemos observar que se decidió mapear cada rol identificado a un único agente, es decir, la equivalencia entre rol y agente es de uno a uno; tanto para el agente Usuario, como para los agentes Asesor Citas y Asesor Consulta Especialistas, se tendrá tantas instancias como usuarios activos en el sistema. Para los otros dos agentes, Asesor Recomendación y Asesor Documentación se tendrá una única instancia dentro del sistema durante toda la ejecución, sin importar cuántos usuarios estén activos en el sistema.

El modelo de tareas describe todo lo que el agente está en capacidad de realizar para la resolución de problemas, esta parte tiene mucha relación con el modelo de conocimiento (knowledge model) que básicamente describe los mecanismos de razonamiento que el agente debe llevar a cabo para conseguir alcanzar sus objetivos [29]. Con base en lo anterior, se ha decidido mostrar ambos modelos para el agente Asesor Recomendación, puesto que requiere de un mecanismo de razonamiento bastante elaborado. Para el agente Asesor Documentación, se optó por mostrar únicamente el modelo de tareas a manera de comparación con el Asesor Recomendación, en donde las tareas representan a un agente plenamente reactivo en contraste con un agente debidamente deliberativo para el caso.

- *Modelo de tareas (Task Model) y de conocimiento (Knowledge Model)*



Figura 7. Modelo de tareas para el agente de recomendación

En la figura 7, se ilustran las tareas que debe llevar a cabo el agente Asesor Recomendación para alcanzar su objetivo principal, el cual consiste en lograr adaptar la información que se le suministra a las características consignadas en el perfil del usuario a quien va dirigida la consulta, dicho objetivo se desglosa en dos tareas.

La primera, conlleva a una tarea meramente reactiva, la cual consiste en entregar la

información adaptada al agente que la solicitó; la segunda tarea, ya incorpora mecanismos de razonamiento mucho más robustos, puesto que requiere técnicas de inferencia que permitan adaptar la información de la consulta inicial que es entregada por el agente que solicita la adaptación, al perfil del usuario que es solicitado previamente al agente usuario.

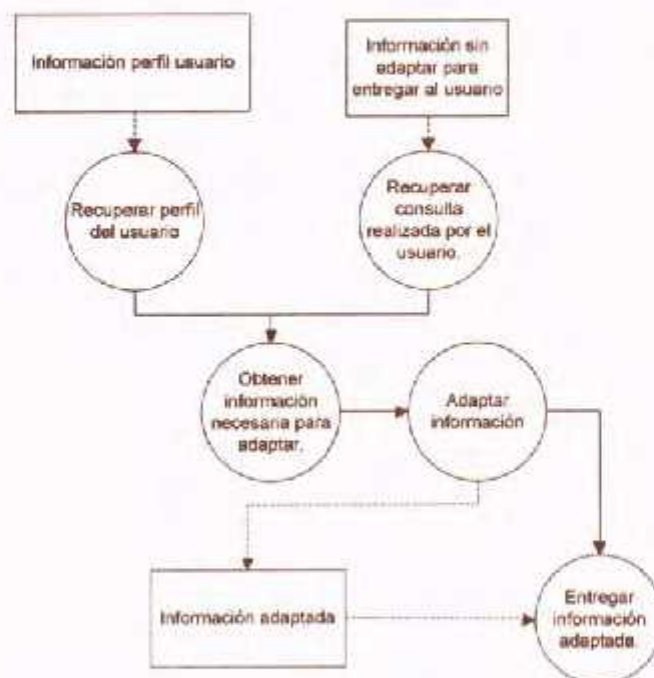


Figura 8. Modelo de conocimiento (experiencia) para el agente de recomendación

Los mecanismos de razonamiento modelados para lograr realizar estas tareas, se definieron mediante el modelo de conocimiento (experiencia), el cual se muestra en la figura 8 y se define en [30] como un modelo que permite mostrar las tareas que requieren conocimiento para ser llevadas a cabo y que permitirán caracterizar al agente como un sistema basado en conocimiento. En el modelo de conocimiento desarrollado para el agente Asesor Recomendación, se pueden observar tres diferentes artefactos utilizados para realizar el

diagrama, el primero consiste en rectángulos, los cuales representan las fuentes de información necesarias para llevar a cabo las transacciones que constituyen el segundo artefacto y se diagraman mediante el uso de círculos. Por último, se utilizan flechas direccionales que definen el flujo de transacciones que el agente sigue para poder cumplir con sus tareas. Enfocándonos ya en lo que representa el diagrama, podemos observar que cada una de las tareas que se definieron en el modelo de tareas para este agente, encuentran representación

mediante transacciones. Es de resaltar que la transacción más relevante en este diagrama consiste en la de adaptación, en la cual será

necesario utilizar alguna técnica de inferencia que se planteará posteriormente en la fase de diseño.



Figura 9 Modelo de tareas para el agente de documentación

En la figura 9, observamos el modelo de tareas para el agente Asesor Documentación, el cual representa un agente reactivo que no necesita ningún mecanismo de razonamiento, por esta razón, para las tareas que este modelo describe, no se hizo necesario plantear un modelo de conocimiento.

• Modelo de comunicación (Communication Model)

Este modelo sólo se encarga del modelado de las relaciones hombre-máquina [21]. Para el desarrollo de este modelo, se utilizaron dos diagramas de secuencias de AUML, que muestran explícitamente lo que se había definido en esta fase mediante modelos anteriores, con respecto a que el usuario humano sería representado dentro del sistema por el agente usuario.

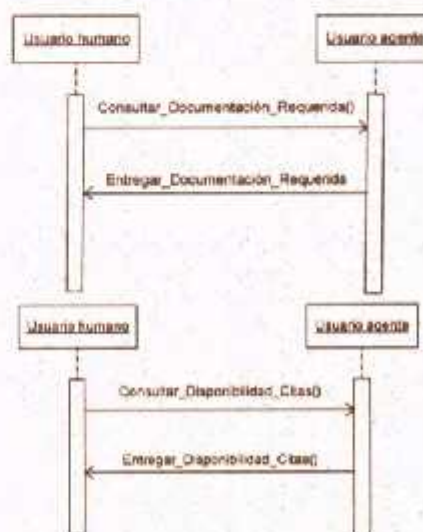


Figura 10 Modelo de comunicación para el sistema Quote -MA5

A partir de esto se visualiza que el usuario humano, con el fin de solicitar o recibir información, sólo interactúa con este agente, el cual ya se encarga de interactuar con los demás agentes del sistema. En la figura 10 se muestran los dos escenarios existentes en el sistema, el de solicitud de citas y el de visualización de alertas de documentación.

• Modelo de organización (Organization Model)

El último modelo correspondiente a la fase de análisis que se implementó, fue el de organización de la metodología MAS-CommonKADS, el cual presenta como objetivo, el facilitar el estudio de viabilidad de la introducción de un SMA, por lo que viene a representar la organización en términos de suborganizaciones relacionadas [30], mediante las cuales se puede comprender de mejor manera el sistema organizacional que será necesario implementar para la construcción del sistema Quote-MAS.

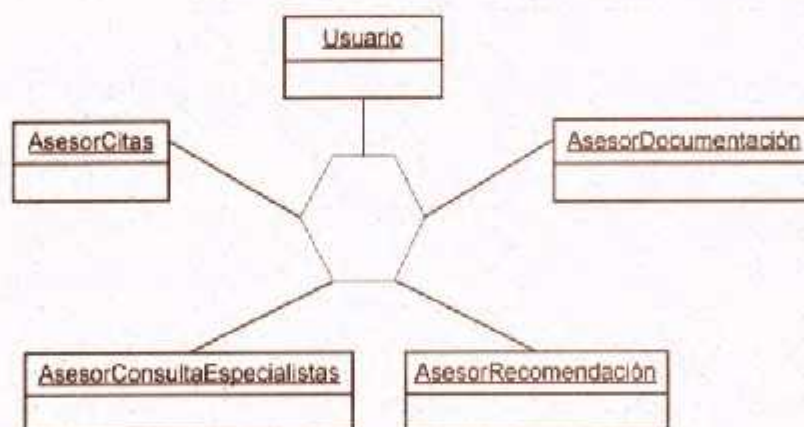


Figura 11. Modelo de organización para el sistema Quote-MAS

La figura 11, muestra el modelo de organización en el cual no existe jerarquía alguna entre los agentes identificados durante la etapa de análisis, es decir, la topología de la organización muestra que todos los agentes están al mismo nivel y que en cualquier momento de ejecución del sistema un agente puede comunicarse con otro sin necesidad de que la información fluya de manera piramidal.

7.3. Fase de diseño

Esta fase pretende estructurar los componentes identificados en las fases de conceptualización y

análisis, que se traducen en requisitos funcionales además de la inclusión también de los no funcionales. A través de esta fase, se quiere también ahondar en detalles de la implementación y detallar las herramientas utilizadas para la implementación.

• Modelo de servicios (Service Model)

Este modelo de GALA enfatiza en las tareas que los agentes pueden desempeñar y las cuales pueden ser ofrecidas con el fin de que otros agentes las puedan solicitar en algún momento de ejecución del sistema. Para el desarrollo de este modelo, se utilizó una plantilla que incluye los

servicios que ofrece el sistema, al igual que las entradas, las salidas, las pre y las post condiciones, y se decidió agregar otra columna para especificar a qué agente estaba ligado el

servicio, con el fin de brindar más trazabilidad en el sistema y facilitar el entendimiento al momento de la implementación.

Tabla 2. Plantilla para especificar el modelo de servicios del sistema Quote-MAS

Agente	Servicio	Entradas	Salidas	Pre- condiciones	Post- condiciones
Usuario	Consultar_Perfil()	Id usuario	Información perfil de usuario	Usuario_Regis- trado=true	Perfil_Entregado=true
Asesor Citas	Asignar_citas()	Parámetros para búsqueda de cita	Cita asignada	Usuario_Regis- trado=true Parámetros_In- gresados=true	Cita_Asignada=true
	Cancelar_citas()	Cita asignada	Cita cancelada	Usuario_Regis- trado=true Cita_Asignada=true	Cita_Cancelada=true
Asesor Consulta Especialistas	Consultar_Información_Especialistas()	Tipo cita	Información especialistas	Usuario_Regis- trado=true	Información_Especialistas_Entregada=true
Asesor Recomendación	Adaptar_Información()	información para adaptar, información perfil de usuario	información adaptada	Usuario_Regis- trado=true	Información_Adaptada=true
Asesor Documentación	Consultar_Documentación_Requerida()	Información perfil de usuario	Documentación requerida	Usuario_Regis- trado=true	Información_Documentación_Entregada=true

▪ **Modelo de conocidos (Acquaintance Model)**

Define el comportamiento deseado de los agentes y su interacción con el entorno. Contiene un

conjunto de casos de uso y los gráficos correspondientes a la comunicación entre los agentes [31].

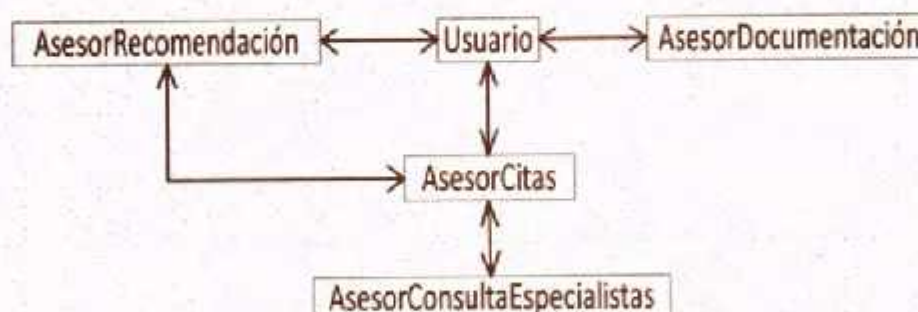


Figura 12. Modelo conocidos Quote-MAS

La implementación del modelo de conocidos se muestra en la tabla 3 y en la figura 12, en donde se especifica qué agentes interactúan y cuáles se conocen entre ellos. La figura 12, muestra los cinco agentes existentes en el sistema y las flechas determinan cómo son las interacciones

entre ellos [32]. De otra parte, la tabla 3 especifica qué tipo de relación existe a través del uso de dos letras, la letra "I" representa que el agente interactúa con otro agente y la letra "A" representa que el agente conoce y tiene identificado al otro agente en su base de conocimiento [33].

Tabla 3. Tabla descriptiva del modelo de conocidos Quote-MAS

	Usuario	Asesor Citas	Asesor Consulta Especialistas	Asesor Recomendación	Asesor Documentación
Usuario		I, A		I, A	I, A
Asesor Citas	I, A		I	I	
Asesor Consulta Especialistas		I			
Asesor Recomendación	I, A	I			
Asesor Documentación	I, A				

• **Modelo de diseño (Design Model)**

De igual manera, se procedió a desarrollar el modelo de diseño de MAS-CommonKADS, el cual distingue tres clases de decisiones de diseño: el diseño de la red, que consiste en describir la

topología de red y los componentes que la estructuran, el diseño de los agentes, que consiste en descomponer cada agente en subsistemas y el diseño de la plataforma, que recoge las características de software y hardware necesarias [30].

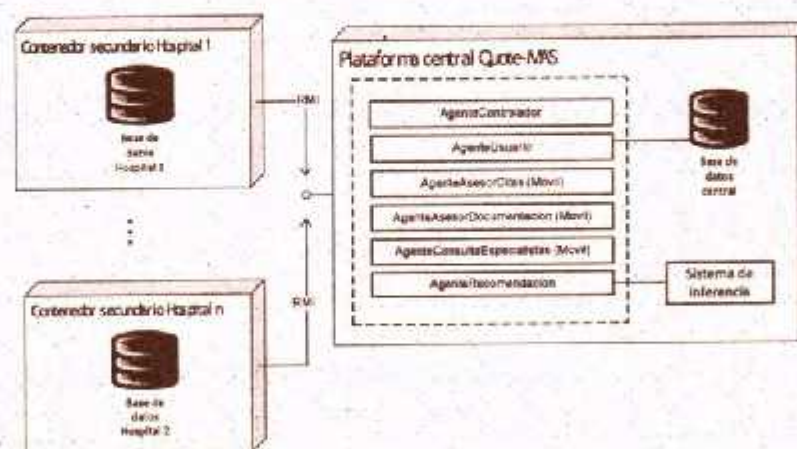


Figura 13. Diseño de red Quote-MAS

La figura 13, ilustra la arquitectura del sistema Quot-MAS y al mismo tiempo las necesidades telemáticas referentes a la constitución de la topología de red necesaria para la implementación. Se puede observar la distribución del sistema en diferentes nodos como se había planteado en etapas anteriores; el componente de la derecha ilustra la plataforma central y el contenedor principal, en el cual son creados los agentes del sistema. En este mismo nodo de la red se encuentra la base de datos principal, en la cual se encuentra consignada la información referente a perfiles de usuario, como se puede observar, el único agente que choca con esta fuente de información es el agente usuario, quien según se determinó anteriormente es el único que tiene acceso a dichos perfiles. Otra característica que es importante resaltar, es el sistema de inferencia que implementa el Agente Asesor Recomendación y que se decidió detallar de esta manera por motivos de claridad al momento de la implementación.

Los otros dos nodos representan cada uno de los hospitales asociados al sistema, los cuales tienen sus propias bases de datos que contienen información de vital importancia para este sistema (información de citas, documentación necesaria y especialistas), dichos nodos de la red serán visitados por los agentes móviles previamente creados en la plataforma central, tales como: Asesor Documentación, Asesor citas y Asesor Consulta Especialistas.

En cuanto al diseño de agente, hay que tener en cuenta las tipologías que se consideran: Agentes de Red, Agentes de información y Agente Interfaz.

Los agentes de información corresponden a las tipologías comunes de agentes como deliberativos, reactivos y proactivos, mientras que los agentes de red y de interfaz van enfocados más bien a la operación del sistema como tal. Para el caso de nuestro sistema, los cinco agentes identificados en la fase de análisis corresponden a agentes de información, mientras que el agente controlador que fue considerado en esta fase de diseño, entra a hacer parte de los agentes de interfaz, ya que va más enfocado a la mediación entre interfaces de usuario y agentes, sirviendo como puente entre la aplicación web y la

plataforma de agentes como tal. El diseño de la plataforma permite documentar las decisiones de bajo nivel sobre el lenguaje de implementación seleccionado, el software y hardware empleado y los usuarios finales del sistema [34]. Con base en lo anterior el módulo de agentes de Quote-MAS se implementó utilizando JADE un framework para construcción de SMA desarrollado por Telecom Italia bajo el lenguaje Java [35].

En cuanto al módulo Web del sistema Quote-MAS que permitirá otorgar al sistema características de ubicuidad, fue necesario utilizar ZK [36] que al igual que JADE es un framework orientado a aplicaciones Web en AJAX, el cual permite enlazar las interfaces web con código java, lo que para nuestro caso es de vital importancia, ya que el módulo de agentes será implementado bajo lenguaje Java.

5. Implementación y Validación del Prototipo

Para el caso de estudio se consideraron tres hospitales, donde cada uno tenía su propio repositorio de información, basándonos en la arquitectura del sistema concebida en la etapa de diseño, se muestra la interfaz que JADE proporciona a través de la figura 14, donde se pueden apreciar los tres hospitales como contenedores secundarios y el contenedor principal donde residen los agentes del sistema.



Figura 14. Interfaz RMA de JADE para el sistema Quote-MAS

Se puede destacar también la presencia del Asesor Consulta Especialistas en el hospital 1, lo que refleja la movilidad del agente dentro de la plataforma. A continuación se muestran algunas

de las interfaces propias del sistema, las cuales incorporan tanto los requisitos funcionales como los no funcionales encontrados en la fase de análisis.



Figura 15. Interfaz de documentación requerida

En la figura 15 se puede observar la interfaz que expone el escenario de entrega de documentación a la EPS, dicha información se encuentra consignada en las bases de datos de los hospitales, que el agente Asesor Documentación se encarga de recopilar y generar las alertas necesarias que posteriormente el agente Usuario mostrará al usuario humano. Para este caso, el usuario deberá adjuntar el certificado de estudio que acredite que aún se encuentra cursando sus estudios.



Figura 16. Interfaz de selección de citas médicas adaptadas al perfil del usuario

La figura 16, permite la selección de citas médicas por parte del usuario, la lista de posibles citas médicas que el usuario puede escoger, la cual fue previamente adaptada a su perfil. El usuario tiene la posibilidad de ignorar algunas de las

características de su perfil si así lo desea o puede también definir un nuevo rango de fechas para que el sistema vuelva a recalcular dichas opciones.



Figura 17. Interfaz de solicitud de citas médicas mediante dispositivos móviles

Finalmente, se muestra la interfaz de solicitud de citas mediante la figura 15, la cual consolida al sistema como un sistema ubicuo ya que el usuario tiene la capacidad de acceder a las funcionalidades proporcionadas por Quote-MAS desde su dispositivo móvil, como se observa en la figura, en la cual se puede definir el tipo de cita y el rango de fechas en las cuales el usuario puede solicitar las citas.

6. Conclusiones y Trabajo Futuro

Los sistemas computacionales ubicuos han demostrado, en la última década su expansión y efectividad, debido al uso masivo de internet, al desarrollo masivo de dispositivos móviles y a la posibilidad de tener acceso a información actualizada de las aplicaciones desde cualquier lugar y en cualquier momento, a través de ellos. Los Sistemas Multi-Agente, por su parte, imprimen a los sistemas informáticos características inteligentes muy interesantes, mediadas por agentes de software, tales como: (a) Reactividad: los agentes perciben su entorno y responden de manera oportuna a los cambios que se producen en él; (b) Proactividad: los agentes no se limitan a actuar en función de un comportamiento dirigido, si no que toman iniciativa; (c) Cooperación y Coordinación: los agentes interactúan con otros a través de algún tipo de idioma de comunicación para realizar una tarea; (d) Autonomía: los agentes operan sin la intervención directa de los seres humanos o de otros agentes, y tienen algún tipo de control sobre su comportamiento y estado interno; (e) Deliberación: toma decisiones mediante el razonamiento; (f) Distribución de tareas: se identifican claramente los problemas que deben resolver y se definen límites para cada agente; (g)

Movilidad: capacidad de desplazarse en una red electrónica; (h) Adaptación: los agentes mejoran su desempeño a lo largo del tiempo y en función de los cambios en el entorno (i) Paralelismo: sacan provecho de la ejecución simultánea de tareas.

En este artículo se presentó, de esta forma, el desarrollo del Sistema Multi-Agente Quote-MAS de asistencia médica, el cual integra características de ambos enfoques: sistemas ubicuos y agentes inteligentes. Adicionalmente, su acceso se realiza a través de una plataforma web que le permite a la aplicación ser usada no sólo desde computadores de escritorio convencionales, sino también desde dispositivos móviles, aprovechando las bondades de internet, a través de esta funcionalidad se evidencia la ubicuidad del sistema.

Dentro de las principales funcionalidades y características que exhibe el sistema Quote-MAS se destacan:

- Sirve como apoyo a las empresas promotoras de salud en lo relacionado con la asignación y cancelación de citas médicas. Dotando dichos procesos de características de proactividad, exhibidas principalmente en la oferta de citas y en recordatorios periódicos de entrega de documentación por parte de los afiliados.
- Brinda al usuario la posibilidad de seleccionar los médicos especialistas en alguna rama de la medicina que sea de su interés y se acomode según sus preferencias y limitaciones (presupuesto, ubicación, convenio con la EPS, etc.). En este punto se hace evidente la adaptatividad de citas y médicos especialistas al perfil del usuario.
- Brinda agilidad y efectividad al momento de asignar y cancelar citas, brindando así más destreza a dicho proceso y logrando un mayor grado de satisfacción a los usuarios.

Los resultados arrojados por el sistema Quote-MAS han sido bastante satisfactorios, no sólo en el proceso de consulta y recuperación de información, sino también al momento de adaptar la información al perfil del usuario. Es importante destacar que las características expuestas previamente encuentran representación dentro

del sistema, mediante lo cual se demuestra que el uso de Sistemas Multi-Agente ubicuos y adaptativos puede aportar de manera relevante y efectiva una solución al problema planteado inicialmente.

Como trabajo futuro se pretende mejorar el sistema de recomendación con técnicas mucho más elaboradas, como los filtros colaborativos en donde se tiene en cuenta las recomendaciones realizadas previamente a los usuarios con perfiles similares al del usuario. También, realizar adaptación a nivel de los dispositivos móviles (celulares, PDA, etc.) para la visualización de contenido. Finalmente, se busca ampliar las funcionalidades del sistema integrándolo con un sistema experto que permita determinar enfermedades a partir de síntomas y recomendando especialistas según las enfermedades diagnosticadas.

8. Referencias

- [1] M. Weiser. The Computer for the 21st Century. Scientific American. 1991.
- [2] A.H. Bond and L. Gasser, editors. Readings in distributed artificial intelligence. Morgan Kaufmann. 1988.
- [3] J. Ferber. Multi-Agent System: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence, 1999.
- [4] Franck Gechter, Vincent Chevrier, François Charpillat, A Reactive Agent-Based Problem-Solving Model : Application to Localization and Tracking, ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (ACM TAAS), volume 1 issue 2, p 189-222 (2006).
- [5] Inteligencia Artificial Un Enfoque Moderno, Segunda Edición. Stuart Russell (Prentice Hall), 2004.
- [6] A. Dehghantanha, R. Ramli: A User-Centered Context-Sensitive Privacy Model in Pervasive Systems, Coll. of Technol. & Innovation, Asia Pacific Univ., Kuala Lumpur, Malaysia.
- [7] Alan F. Westin. Privacy and Freedom. Publisher: Bodley Head.
- [8] M. Uschold and M. Gruninger, 'Ontologies: Principles, Proceedings of the 10th International Conference on Computer Supported Cooperative

Work in Design methods and applications,' Knowledge Engineering Review, vol. 11, no. 2, pp. 93-155, 1996.

[9] IEEE Foundation for Intelligent Physical Agents. <http://www.fipa.org/>.

[10] D. García: Introducción al estándar FIPA, Universidad Complutense de Madrid, 2000.

[11] E. Herrera-Viedma, L. Olvera, E. Peis, C. Porcel. Revisión de los sistemas de recomendaciones para la recuperación de información. Tendencias de investigación en organización del conocimiento (Trends in knowledge organization research), José Antonio Frías, Ed. Crispulo Travieso, Universidad de Salamanca, (2003), 507-513.

[12] L. de Campos, J. Fernández, J. Huete, M. Rueda: Uso de conocimiento estructurado en un sistema de recomendación basado en contenido, Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, Universidad de Granada, Granada, España.

[13] S. Galán: Filtrado Colaborativo y Sistemas de Recomendación, Universidad Claos III de Madrid. Madrid, España, 2007.

[14] A. Gil, Z. Guessoum, F. García: Recomendadores en un Sistema Multi-Agente Adaptativo para el Comercio Electrónico.

[15] Carrillo Ramos, A., Gensel, J., Villanova, M., Martín, H.: PUMAS: a Framework based on Ubiquitous Agents for Accessing Web Information Systems through Mobile Devices. In: 20th Symposium on Applied Computing (SAC 2005), pp. 1003-1008. ACM Press, New York (2005).

[16] David Goldberg, David Nichols, Brian M. Old, and Douglas Terry. Using Collaborative Filtering to Weave an Information Tapestry. Communications of the ACM, 35(12):61-70, Diciembre 1992.

[17] L. Betarte, R. Machado, V. Molina: PGMúsica, sistema de recomendación de música. Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, 2005 - 2006.

[18] Costa, R., Novais, P., Lima, L., Carneiro, D., Samico, D., Oliveira, J., Machado, J., Neves, J.: VirtualECare: Intelligent Assisted Living, in Electronic Healthcare. In: Weerasinghe, D. (ed.) Social Informatics and Telecommunications Engineering, Series Institute for Computer Sciences, pp. 138-144. Springer, Heidelberg, 2009.

- [19] O.Alliance, OSGi Service Platform Core Specification, 2007, <http://www.osgi.org/>.
- [20] Saúl Navarro, Ramón Alcarria, Juan A. Botía, SilviaPlatas and Tomás Robles, CARDEA: Service platform for monitoring patients and medicines based on SIP-OSGi and RFID technologies in hospital environment. OpenHealthSpain, 2009.
- [21] M. Meints, D3.7 A Structured Collection on Information and Literature on Technological and Usability Aspects of Radio Frequency Identification (RFID).FIDIS deliverable, 2007.
- [21] T. Juan, A. Pearce, and L. Sterling, 'Roadmap: Extending the GAIA methodology for complex open systems.' In Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS 2002), Bologna, Italy, July 2002.
- [22] Iglesias, C. Definition of a Methodology for Multi-Agent Systems Development, PhD Dissertation, Universidad Politécnica de Madrid, Spain, 1999.
- [23] M. A. S. C. versus Gaia, «Comparison of Agent-Oriented Methodologies», First Blekinge Institute of Technology Student Work-shop on Agent Programming, pag. 21, 2001.
- [24] AUML, Agents UML, <http://www.auml.org/>.
- [25] The Road to the Unified Software Development Process Ivar Jacobson, Stefan Bylund, Cambridge University Press, 2000
- [26] F. Gallego Durán, F. Llorens Largo, y R. Rizo, «breve análisis de algunas metodologías de diseño SMA», Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, vol. 1, no. 1, pag. 52, 2004.
- [27] Lázaro Molina, J., & Ruiz Dimoff, P. (2006). Apuntes metodológicos de desarrollo orientado a agentes: Aplicación a una agencia de viajes.
- [28] N. Muñoz, C. Cobos, W. Rivera, J. López y M. Mendoza, «Uso de la metodología GAIA para modelar el comportamiento de personajes en un juego de estrategia en tiempo real, Use of GAIA for modeling the behavior of characters in a real time strategy game».
- [29] J. Odell, H.V.D. Parunak, y B. Bauer, «Extending UML for agents», Ann Arbor, vol. 1001, pag. 48-103, 2000.
- [30] C. A. Iglesias Fernández, «Definición de una Metodología para el Desarrollo de Sistemas Multi-Agente», 1998.
- [31] Huang, Wei and El-Darzi, Elia and Jin, Li (2007) Extending the gaia methodology for the design and development of agent-based software systems.
- [32] M. Wooldridge, N. R. Jennings, and D. Kinny. The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design. In Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. 2000.
- [33] Moraitis, P., Petraki, E., Spanoudakis, N.: "Engineering JADE Agents with the Gaia Methodology". In R. Kowalszyk, et al. (eds), "Agent Technologies, Infrastructures, Tools, and Applications for e-Services", LNAI 2592, Springer-Verlag, 2003, pp. 77-91
- [34] M. P. Pastrana David, J. Guzmán y D. Ovalle, «Análisis y Diseño de un Sistema Multi-Agente para Simular el Mercado de la energía Eléctrica en Colombia», Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas -Sede Medellín, 2003.
- [35] Bellifemine F., Rimessa G., Trucco T. & Caire G., 2005. JADE Programmer's Guide.
- [36] ZK Framework, <http://www.zkoss.org/>.