

Propuesta arquitectural para la interoperabilidad entre sistemas multi-agente y mundos virtuales 3D

Holman D. Bolívar^{*‡}, Rubén G. Crespo^{**}, Oscar Sanjuan^{***}

Fecha de recibido: 02/10/2013

Fecha de Aprobación: 05/11/2013

Resumen

El término Web 3D hace referencia a lenguajes de programación, protocolos, formatos de archivos y tecnologías utilizadas para la creación y presentación de universos tridimensionales interactivos a través de Internet. Por medio de interfaces tridimensionales se logra una aproximación a la realidad virtual, permitiendo la creación de escenarios de simulación, que facilitan la interacción de los seres humanos con ambientes de aprendizaje enriquecidos similares al mundo real. Sin embargo, un entorno gráfico llamativo en sí, no garantiza el aprendizaje efectivo, se necesita un seguimiento, evaluación y retroalimentación. Por lo tanto, se propone la integración de entornos tridimensionales con sistemas multi-agentes, que permitan personalizar el proceso de aprendizaje a las necesidades individuales de los estudiantes, organizar y distribuir contenidos de manera eficiente y apoyar reflexiones de los estudiantes sobre su aprendizaje. Diferentes estudios han realizado implementaciones específicas de agentes en mundos virtuales a través de lenguajes de marcas de hipertexto; sin embargo, los modelos propuestos no permiten implementaciones de propósito general. Nuestro modelo de arquitectura integra los comportamientos de los sistemas multi-agente y los mundos virtuales 3D. La validación se realizó a través de una aplicación que integra Java Development Framework Agent desarrollado por Telecom Italia Lab y OpenSimulator.

Palabras clave: *Agentes Inteligentes; Mundos Virtuales 3D; Aproximación arquitectural, Interoperabilidad.*

Abstract

The term Web3D makes reference to any programming language, protocol, file format or technology that can be used for the creation and presentation of

^{*} Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia, hdbolivar@ucatolica.edu.co.

^{**} Universidad Internacional de La Rioja, Escuela de Ingeniería, Logroño, España, {ruben.gonzalez@unir.es}

^{***} Universidad Carlos III Madrid, Facultad de Ingeniería, España, oscar.sanjuan@uc3m.es.

[‡] Se concede autorización para copiar gratuitamente parte o todo el material publicado en la *Revista Colombiana de Computación* siempre y cuando las copias no sean usadas para fines comerciales, y que se especifique que la copia se realiza con el consentimiento de la *Revista Colombiana de Computación*.

interactive three-dimensional universes through Internet. The three-dimensional interfaces are approaching to virtual reality, because allowing to create simulation scenarios in which man interacts to likeness of the real live, however, a rich graphical environment and natural interaction itself neither warrants effective learning, it need a monitoring, evaluation and feedback. Therefore, We propose the integration of three-dimensional environments with multi agents system, it is looking customize the learning process to the individual needs of students, organize and distribute content efficiently and support student reflection on their learning. Different studies have made specific implementations of agents through markup languages, however the proposed model, looks for general purpose implementations. Our architectural model integrates the behaviors of multi-agent systems and virtual 3D World. Validation was performed through an implementation that integrates Java Agent Development Framework developed by Telecom Italia Lab and OpenSimulator.

Keywords: *intelligent Agents; 3D Virtual Worlds;Architectural Approach; Interoperabilit.*

1. Introducción

La calidad en la educación influye en la conciencia social, en el desarrollo económico, en el desarrollo democrático y en la calidad de vida de las personas. Existe una relación entre el desarrollo intelectual, los materiales de curso, la evaluación y los maestros con la calidad educativa, por lo tanto, se debe estimular en los profesores el pensamiento y las prácticas innovadoras, buscando que los estudiantes aprendan a pensar por sí mismos, a ser más creativos, optimistas, sociables, serviciales a la comunidad, intelectualmente curiosos y reflexivos, tolerantes, con una perspectiva global, con capacidad para adaptarse y hacer los esfuerzos necesarios para mejorar sus condiciones de vida, lo cual se puede lograr si las instituciones de educación realizan actividades que incluyan interacciones introspectivas, con los demás compañeros de curso, con la comunidad y la naturaleza, por medio de ejercicios y actividades que permitan aplicar los conocimientos adquiridos y habilidades en el día a día y en situaciones reales [1].

La calidad de la educación está relacionada y puede ser evidenciada a través de la eficacia de los instrumentos o métodos de enseñanza y aprendizaje utilizados en un aula de clase o plataforma de e-learning, sin embargo en la especificación y medición de la eficacia se debe tener en cuenta la satisfacción por parte del estudiante hacia las prácticas del profesor o el recurso didáctico utilizado, debido a que la satisfacción deriva en los comportamientos que el aprendiz genera hacia el mediador y el recurso en general los cuales influyen directamente en la motivación,

la cual es necesaria e indispensable para lograr el objetivo de aprendizaje. La evaluación de la eficacia es un tema crítico, y se debe tener en cuenta que dicha evaluación no puede ser mediante una escala de un solo factor, como la satisfacción global, por lo tanto se ha establecido que deben existir criterios multidimensionales, donde se tenga en cuenta, la satisfacción del usuario, a partir de la respuesta efectiva, la intensidad de su interacción, el contenido y el tiempo de interacción o clase. La satisfacción de plataformas tecnológicas debe además tener en cuenta aspectos como: la interfaz de usuario, la comunidad de aprendizaje, la personalización y los resultados del aprendizaje[2].

El diálogo con un dispositivo digital se genera a través del acceso a un sinnúmero de aplicaciones y servicios, donde la interfaz de usuario establece una red cognitiva de interacciones a través de un conjunto de procesos, reglas y convenciones que permiten la comunicación entre el hombre y el dispositivo digital. La interfaz se presenta como una gramática de la interacción entre el hombre y la máquina [3]. Nuestro cerebro está adaptado a recordar y reconocer sistemas de navegación e interacción asociados a relaciones espaciales, por esta razón, se ha evolucionado en el desarrollo de interfaces para usuario: primero fueron las de línea de comando, luego, las Interfaces Gráficas de Usuario, constituidas por entidades abstractas de imágenes bidimensionales, y en la actualidad, se desarrolla e investiga en interfaces tridimensionales que proporcionan un completo entorno virtual que facilita servicios, interacción y comunicación [4].

Desde 1962, cuando Iván Sutherland escribió en el MIT el primer programa de computador capaz de dibujar una línea en una pantalla de rayos catódicos [5], el desarrollo de la computación y el software ha sido impulsado por investigaciones propias de la computación gráfica, tal es el caso de Sketchpad (A Man-Machine Graphical Communications System) [6] desarrollado por Alan Kay e Ivan Sutherland el cual fue el primer programa de dibujo asistido por computador. Desde entonces se han creado API's de desarrollo como Open GL creado por el Silicon Graphics y Direct X desarrollado por Microsoft que en la actualidad son las librerías de facto en la creación de aplicaciones gráficas [7]. El software utilizado en la producción de gráficos por computador tiene de manera general dos grupos, aquel de propósito específico que se diseña para generar gráficas o diagramas en algún área de aplicación sin preocuparse por los procedimientos gráficos necesarios para producir imágenes donde normalmente se cuenta con un área de trabajo y una serie de menús y submenús que permiten el desarrollo de una tarea gráfica específica. El otro grupo es el de propósito general que proporciona una biblioteca de funciones gráficas que se pueden utilizar en lenguajes de programación tales como C, C++ o Java, entre las

funciones básicas de una biblioteca gráfica se incluyen aquellas para especificar componentes de la imagen como líneas rectas, polígonos o esferas, establecer el color, seleccionar vistas de una escena y aplicar rotaciones o transformaciones; algunos ejemplos de paquetes de programación gráfica general son Gl, OpenGL, VRMLy Java 3D, un conjunto de funciones gráficas se denomina interfaz de programación de aplicaciones para gráficos por computador (CG API) [8].

A partir de la novela Snow Crash de Neal Stephenson publicada en 1992 aparece el término metaverso el cual se plantea como un mundo paralelo en el cual las personas pueden interactuar, trabajar y relacionarse a partir de la creación de avatares que no son más que cuerpos geométricos en tercera dimensión de aquello que quiere proyectar de si, el dueño del avatar, por dicha razón hay personas que se identifican con extraterrestres o animales. A partir de esta idea se han desarrollado plataformas web como Second Life, OpenSim, Multiverse, Wonderland y World of Warcraft[2], fuera de las redes sociales y los juegos masivos multijugador online (MMOG) existen proyectos como el de render en volumen de imágenes médicas elaborado por el Consorcio Web3D, que permite la visualización de imágenes médicas en volumen por medio de X3D a través de los navegadores CT, MRI y otros dispositivos de diagnóstico por imagen con salida estándar a partir de archivos DICOM. También proporciona recursos para el instrumento, el contenido y el desarrollo de aplicaciones para incorporar esta nueva funcionalidad de X3D dentro de su producto a través de la creación de un perfil MedX3D, con metadatos X3D y enlaces a la SNOMED CT y FMA generando ontologías anatómicas permitiendo la exportación a través de las bibliotecas de C++ y Visual Basic [9].

Uno de los proyectos que ha tenido gran acogida dentro de las aplicaciones de la tecnología 3D es el de educación inmersiva, liderado por Aaron Walsh del GridInstitute del Boston College University que plantea el uso de tecnologías gráficas como VRML y XJ3D para la producción de objetos virtuales de aprendizaje a través de juegos interactivos. Partiendo de la hipótesis: “los videojuegos logran capturar la atención de sus usuarios”, por lo tanto plantea la posibilidad de realizar lo mismo a partir de la creación de objetos virtuales interactivos e inmersivos, postulando el principio de que la educación inmersiva apoya el aprendizaje autodirigido [10]. La mayoría de ambientes 3D se caracterizan porque sus objetos son construidos por elementos geométricos de bajo nivel como mallas poligonales o superficies NURBS y los autores realizan la asociación semántica compartiendo la percepción de los visitantes hacia los objetos que componen el ambiente; infortunadamente aunque los usuarios identifican las relaciones y asociaciones semánticas de objetos 3D, no pueden deducir descripciones de alto nivel de información almacenada en 3D [11].

Las interfaces tridimensionales son un punto de acercamiento a la realidad virtual, permitiendo crear escenarios de simulación en los que el hombre visualiza e interactúa a semejanza del habitar y acción real, a través de personajes o avatares, y objetos o bienes virtuales, no solo se participa, sino que se trata de un espacio colaborativo de alto nivel, en el que se puede comprobar hipótesis y desarrollar la creatividad [12]. Tomando en cuenta lo anterior, los mundos virtuales se han convertido en una herramienta para la comunicación mejorada y el aprendizaje, donde las habilidades de comunicación síncrona en un entorno social explícito, optimizan la colaboración eficaz [13]. De acuerdo a Garrison et al. [14], para las comunidades de aprendizaje los ambientes inmersivos proveen: presencia social, correspondiente a la habilidad del alumnado de proyectarse social y emocionalmente, ya que son percibidos como personas reales por la proyección de los avatares 3D; presencia cognitiva, correspondiente a la posibilidad de los estudiantes de construir y probar su conocimiento, e interacción, como elemento básico de la enseñanza virtual para un aprendizaje efectivo, donde los docentes son orientadores del proceso.

El contar con un ambiente gráfico enriquecido y de interacción natural en sí mismo no garantiza ni asegura un aprendizaje efectivo; es necesario un seguimiento, evaluación y realimentación del proceso [19], para lo cual se propone la integración de los entornos tridimensionales con sistemas multiagentes, buscando personalizar el proceso de aprendizaje a las necesidades individuales de los estudiantes, organizar y distribuir los contenidos eficientemente, apoyar la reflexión de los estudiantes en su aprendizaje [16], guiar a los alumnos en resolución de problemas y facilitar la evaluación automática [17]. Implementar sistemas multi-agente (SMA) facilita el logro de objetivos, debido a la coordinación y cooperación entre agentes que poseen diversos conocimientos y capacidades. Los SMA, han demostrado ser muy apropiados para la ingeniería de sistemas abiertos, distribuidos y heterogéneos [18]. Las tareas, servicios o funcionalidad que debe ejecutar un agente para el logro de los objetivos, de acuerdo al estándar propuesto por la Intelligent Physical Agents Foundation (FIPA) [19], se implementa en los comportamientos asociados al agente. Cada comportamiento puede realizar una tarea simple aunque también se pueden crear comportamientos compuestos [20].

Para la implementación de agentes en mundos virtuales se han utilizado lenguajes de marcas como MPML3D [21], CML [22] y VHML [23], sin embargo dichos lenguajes son herramientas para el desarrollo de agentes de propósito específico y no de propósito general, dejando de lado la comunicación entre agentes, la implementación de los protocolos FIPA ACL y KQML [20], bases de conocimiento a través de

ontologías. Dificultando la integración con otros desarrollos de agentes, ya que no hay interactividad entre estos y no se especifica la estructuración de comportamientos propios de un SMA. La investigación desarrollada se orienta a proponer un modelo arquitectural para la integración de los comportamientos de un SMA y mundos virtuales 3D. Para su validación se ha realizado una implementación integrando el Java Agent Development Framework (JADE) [20] desarrollado por el Telecom Italia Lab (TILAB), debido a que cumple con todas las especificaciones propuestas por la FIPA y OpenSimulator que es un servidor de aplicaciones 3D que utiliza las mismas normas que se encuentran en SecondLife para comunicarse con sus usuarios, se caracteriza por ser software libre, con una estructura modular escrita en C# y entre las más prometedoras características de OpenSimulator está la facilidad con la cual las universidades pueden integrar los sistemas heredados con bases de datos OpenSimulator y la creación de contenidos que se adapten a las necesidades y metodologías de cada institución [24].

La estructura de este artículo es la siguiente: En la sección 1.1. se presentan trabajos relacionados con la implementación de mundos virtuales y agentes inteligentes en el aprendizaje, seguido por la sección 2 que describe la metodología utilizada durante el desarrollo e investigación, en la sección 3.1 se describe el modelo arquitectural propuesto para la integración de los comportamientos de un SMA y mundos virtuales 3D, seguido de la sección 3.2 donde se presenta la evaluación a la implementación realizada y finalmente se concluye y se presenta el trabajo futuro.

1.1. Trabajos relacionados

Diferentes estudios como el de Lorenzo et, al. [13], presentan análisis de relaciones entre instructores y aprendices sobre entornos inmersivos, evidenciando que este tipo de plataformas pueden ser utilizadas para la evaluación, colaboración de tareas entre compañeros y mejorar la comunicación con el tutor, incrementando los patrones de interacción dentro de un grupo de aprendizaje.

Actualmente se adelantan investigaciones orientadas a identificar los usos instruccionales de los mundos virtuales como las desarrolladas por la National Science Foundation (NSF), el New Media Consortium (NMC), EDUCAUS, American Educational Research Association (AERA), Association for Educational Communications and Technology (AECT) y la International Society for Technology in Education (ISTE) [25]. También se tiene evidencia del proyecto desarrollado por la Universidad Carlos III y la Universidad Pompeu

Fabra de España, bajo la premisa de que los mundos virtuales permiten la interacción de los estudiantes con avatares no controlados, con objetos o la posibilidad de viajar y navegar a otros mundos virtuales, propone una arquitectura con dos componentes, Open Wonderland, que es un motor de juego de herramientas para desplegar mundo virtual de colaboración en los que se evalúa a los alumnos, y newAPIS, un motor basado en QTI que intercambia información entre los estudiantes y el mundo virtual. NewAPIS gestiona los archivos XMLs y QTI, creando archivos XHTML correspondientes a una prueba o módulo de evaluación, el cual puede ser visualizado por los estudiantes a través de su navegador web. El motor va registrando todas las interacciones de los estudiantes en el momento de responder a alguna de las preguntas en archivos etiquetados como QTI. Wonderland al estar escrito en Java, permite la integración con herramientas de escritorio. Utiliza archivos XML para hacer la integración entre QTI y Wonderland, a los cuales les han dado el nombre de archivos WL-QTI, donde se especifican las preguntas y las acciones factibles de los estudiantes en el mundo virtual, la figura 1 presenta la estructura del archivo WL-QTI y los cuatro componentes que lo conforman [26].

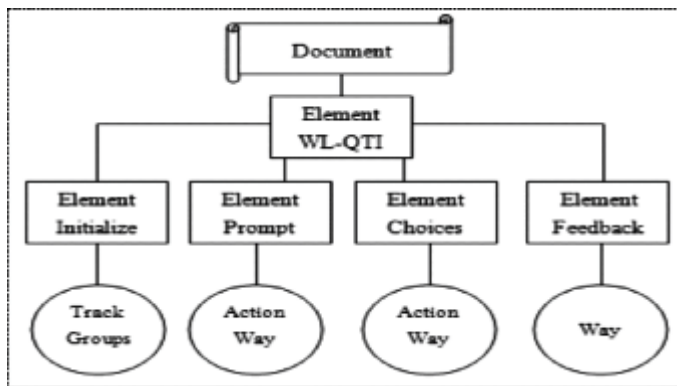


Fig. 1. Estructura del Archivo WL-QTI [26].

Entre los mundos virtuales se tiene por ejemplo: Second Life, que proporcionan herramientas para la construcción de objetos y facilita la experiencia de aprendizaje. Sin embargo, las herramientas de construcción de estos objetos se han convertido en una barrera para maestros principiantes. Por lo tanto, para hacer frente a este problema Girvan et al. [27], a través de los conceptos de diseño, implementación y análisis, creó una herramienta de tortugas programables en Second Life que llamo SLturtles. Para poner a prueba el concepto de multiusuario en entornos virtuales 3D como medio para enseñar, existen experiencias como la desarrollada por Okutsu et al.[28] donde a través de un prototipo de software llamado Aeroquest, realizó una

experiencia con 135 estudiantes universitarios, evidenciando el potencial de los mundos virtuales al obtener una calificación del examen dentro de un intervalo de confianza del 95%. Kim et al. [29] proporciona un modelo de investigación para la evaluación de los mundos virtuales, midiendo el nivel de identificación de los usuarios con las comunidades virtuales y avatares, concluyó que la comunicación mejora la eficacia y confianza, facilitando así el uso sostenido en importantes implicaciones teóricas y prácticas.

Una arquitectura compatible con los estándares abiertos en el desarrollo de sistemas multiagentes, escalable y con soporte a operaciones distribuidas, lo constituye el entorno inteligente distribuido para el aprendizaje activo, propuesto por Shang et al.[17] el cual proporciona un amplio conjunto de contenidos en línea, aumenta la interactividad entre el sistema de aprendizaje inteligente y los estudiantes, y personaliza el proceso de aprendizaje a las necesidades individuales de los estudiantes. El sistema también incorpora un enfoque para la organización del curso y entrega de contenido, que se desarrolla sobre la base de componentes inteligentes de instrucción, llamados *lecturelets*, los cuales están diseñados para una presentación personalizada e interactiva de los sujetos. Los agentes son autónomos, y se puede integrar fácilmente en una amplia variedad de cursos. El sistema se implementa utilizando una biblioteca digital [17]. Sarrafzadeh et al. [30], plantea que muchos sistemas de software mejorarían significativamente el rendimiento si se adaptasen al estado emocional del usuario, lo cual ha engendrado el campo de desarrollo de sistemas de tutoría afectivos (ATS): Los ATS son capaces de adaptarse al estado afectivo de los estudiantes. El sistema que propone utiliza una red de sistemas informáticos, dispositivos embebidos principalmente para detectar las emociones del estudiante y otras señales biológicas significativas y la emoción se muestra a través de un agente natural llamado *Eva*; este método utiliza los datos generados por un estudio de observación de los tutores humanos, presenta el estudio de las implicaciones de los hallazgos para la Interacción Hombre-Computadora en general y de e-learning en particular. Los agentes también se han implementado como tutores textuales inteligentes. En experimentos de este tipo los agentes son utilizados como chatbots, para hacer seguimiento instruccional y negociación como práctica pedagógica para apoyar la reflexión de los estudiantes hacia su aprendizaje [16].

Para la integración entre entornos virtuales 3D y Sistemas multi-agente, se han implementado varios lenguajes de marcas como MPML3D [21], CML[22] y VHML [23] entre otros; estos lenguajes son utilizados para implementar agentes en mundos virtuales en línea como *Second Life*. El

Proyecto Safira utiliza elementos de diseño de una arquitectura para la inclusión de la personalidad y emociones en la capacidad de respuesta de un agente de interfaz, la abstracción semántica y anotación de los conocimientos manipulados, y en la asignación de la comprensión semántica de los comportamientos. Character Markup Language (CML) es el lenguaje que se utiliza para constituir agentes como interfaz, proporcionando un mapa para la automatización de la información por medio de esquemas XML, se vincula la generación de diversos comportamientos visuales, ontologías para representar la animación, emociones y personalidad de los agentes [22].

VHML o Lenguaje de marcado Virtual Humanos es un conjunto de etiquetas y reglas que se utiliza para dar cabida a los diversos aspectos de la Interacción Persona-Ordenador con respecto a la animación facial, animación corporal, el diálogo administrador de interacción, representación emocional, además de información y los medios de comunicación Hyper Multi. Aunque de carácter general, la intención de este lenguaje es el de facilitar la interacción natural y realista de humanos virtuales con un usuario a través de una aplicación [31].

MPML 3D es un lenguaje de escritura basado en XML para el control de la conducta verbal y no verbal de los agentes en escenarios de interacción 3D, que se ha adaptado recientemente a Second life. MPML3D es el sucesor del original MPML, que se desarrolló en Ishizuka laboratorio de la Universidad de Tokio. En 2008, el lenguaje MPML3D fue revisado para admitir escenarios de interacción rica en agentes reactivos en Second Life y OpenSimulator. MPML3D está dividido en tres módulos diferentes: el servidor MPML3D, el servidor de los mundos virtuales y un cliente. Como entrada, el sistema requiere un Script MPML3D, que permite a los usuarios del mundo virtual interactuar con los agentes, impulsando secuencias de comandos. Con el fin de acoger un escenario MPML3D. Basado en Second life u OpenSimulator, el creador del contenido tiene que utilizar los servicios que son proporcionados por el servidor MPML3D.

La integración de sistemas multiagente con funciones pedagógicas en los mundos virtuales 3D podría proporcionar un entorno atractivo al aprendizaje inmersivo. Blair and Lin [32] exploran la viabilidad de integrar un mundo virtual en 3D con un sistema multiagente llamado QuizMAster, el cual condujo a la comprensión de los sistemas multiagente como entidades que pueden mejorar el aspecto educativo de un mundo en 3D, tales como Open Wonderland. El reto es encontrar un enfoque para la integración de sistemas multiagente con mundo en 3D. El beneficio de este enfoque es que los sistemas multiagente podrían ser incorporados en los mundos virtuales 3D para proporcionar

información o servicios del mundo real, tales como la recuperación de información, o proporcionar un aprendizaje adaptativo basado en estilos [32].

2. Metodología

Para el desarrollo del modelo de arquitectura se identificaron en primera instancia los atributos de calidad del sistema, a partir del estándar NC/ISO 9126 – 1, desarrollando un árbol de utilidad, integrando esta etapa con la metodología propuesta por Nikraz [18], para el desarrollo de sistemas multiagente, identificando la necesidad de deconstrucción de un sistema transductor, debido a que el mundo virtual es un entorno externo al sistema multiagente y es necesario desarrollar un agente intérprete entre lenguaje ACL propio de los agentes y una especificación de software que se pueda comunicar entre los componentes de un mundo virtual. A partir del estándar NC/ISO 9126 – 1 los atributos de calidad que se tuvieron en cuenta: el de Interoperabilidad, debido a que se buscaba interactuar con sistemas específicos; trazabilidad en relación al esfuerzo necesario para verificar la correctitud del procesamiento de datos en puntos requeridos e instalabilidad teniendo en cuenta el esfuerzo necesario para instalar el software en un entorno específico. A cada atributo se le especificó un conjunto de métricas, de acuerdo al estándar NC/ISO 9126 – 3, para validar la arquitectura en el momento de su implementación, la tabla 1 presenta las métricas asociadas a los atributos seleccionados.

ATRIBUTOS	NOMBRE DE LA MÉTRICA	MÉTODO DE APLICACIÓN
Interoperabilidad	Data exchangeability	Relación de formatos de datos de interfaz aplicados correctamente sobre el total de formatos de datos de interfaz.
	Ratio data format	Relación de correspondencia entre formatos de datos y sistemas de interacción
Trazabilidad	Operations control effort	Tiempo utilizado en el procesamiento de las actividades de control de operaciones.
	Ease of operation control	Tiempo de trabajo requerido en las operaciones de control
Capacidad de Instalación	Ease of Setup Re-try	Relación de número de operaciones de configuración repetidas sobre el número total de operaciones para poner en ejecución la implementación
	Installation flexibility	Número de operaciones en instalaciones personalizadas en función del número de operaciones de acuerdo con los requisitos de instalación

Tabla 1. Atributos y Métricas de la Arquitectura.

Adicionalmente a los atributos de calidad se especificaron los siguientes requerimientos funcionales:

- Asociar entidades del mundo virtual con agentes del MAS.
- Asociar interacciones del mundo virtual con comportamientos de un agente en el MAS.
- Permitir la comunicación y paso de mensajes entre entidades del mundo virtual.
- Asociar la comunicación de entidades en el mundo virtual a una ontología de propósito específico del MAS.
- Cumplir un objetivo evidenciable en el mundo virtual por la colaboración de diferentes agentes.

Luego de identificar los atributos de calidad, los requerimientos funcionales y las restricciones asociadas al contexto del modelo, se procedió a la especificación de un escenario que represente el estado del sistema en un momento determinado, la figura 2, presenta el diagrama de caso de uso en UML asociado al escenario base para la constitución de la arquitectura. A partir del escenario propuesto se desarrolló un modelo arquitectural general para la comunicación, teniendo en cuenta las entidades identificadas en el escenario base y las posibles relaciones existentes entre ellos. Finalmente, se realizó la implementación, desarrollando un prototipo de automóvil y un laberinto en OpenSimulator, el automóvil debía ingresar al laberinto y encontrar la salida, para lo cual se construyó un sistemamultiagente, utilizando la metodología propuesta por Nikraz [18] y la implementación del estándar FIPA con los tres componentes base: el Agent Management System (AMS) encargado del ciclo de vida de los agentes, de los recursos locales, los canales de comunicación y de proporcionar un servicio de páginas blancas para buscar los agentes por el nombre; el Directory Facilitator (DF) que presta un servicio de páginas amarillas ubicando a los agentes por su servicio; y el Agent Communication Channel (ACC) encargado de gestionar el paso de mensajes entre los diferentes agentes.

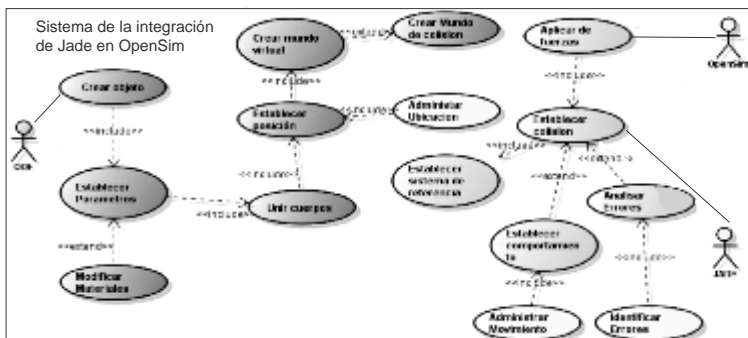


Fig. 2. Caso de Uso del Sistema de Integración SMA y Mundos Virtuales.

3. Resultados

3.1. Modelo Arquitectural Propuesto

En un mundo virtual interactúan objetos o entidades que se ven afectadas por principios de cinemática, como la gravedad y las tres leyes de Newton, adicionalmente se busca una arquitectura de propósito general, razón por la cual no se puede implementar el MAS dentro del Mundo Virtual. La Figura 3 presenta la arquitectura propuesta la cual está compuesta por:

3.1.1. Virtual World Server: Entornos con gráficos 3D, que permiten a millones de usuarios interactuar a través de su identidad virtual, donde los avatares son como íconos a través de un soporte lógico en un ciberespacio que se actúa como una metáfora del mundo real.

3.1.2. ScriptSL: Son Scripts desarrollados sobre un lenguaje de reconocimiento en el mundo virtual como Linden Scripting Language de Second Life. Una secuencia de comandos en ScriptSL, correspondiente a un conjunto de instrucciones que se pueden colocar dentro de cualquier objeto primitivo del mundo, pero no dentro de un avatar.

3.1.3. Object: Es una implementación del protocolo XML-RPC para realizar comunicación entre el mundo virtual y el exterior; permite enviar mensajes a un objeto dentro de una región.

3.1.4. Engine: Biblioteca para la simulación de la dinámica de un cuerpo rígido articulado. Por ejemplo, es bueno para la simulación de vehículos de tierra, y objetos que se mueven en entornos de realidad virtual.

3.1.5. Virtual Worlds Viewer: Aplicación que se ejecuta en el cliente que permite acceder al virtual World Server y visualizar contenido 3D.

3.1.6. MAS: Es el Multi Agent System que cumple el estándar FIPA para la integración con otros desarrollos basados en agentes, implementa entidades como agentes que de manera integrada buscan el cumplimiento de un objetivo, a través del desarrollo de tareas realizadas por la implementación de comportamientos.

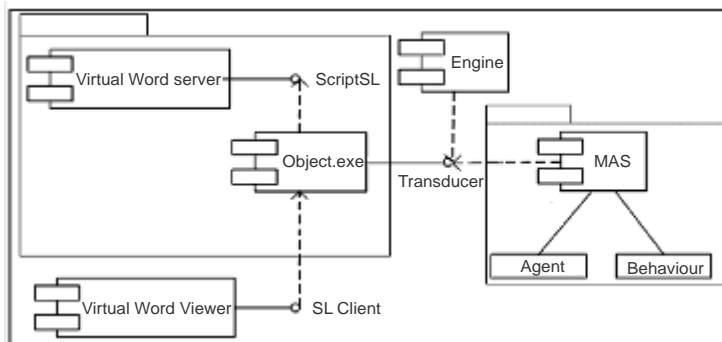


Fig. 3. Modelo Arquitectural Propuesto

3.2. Implementación de Prueba

Para la implementación se tuvo en cuenta:

- *Virtual WorldServer*: OpenSimulators.
- *ScriptSL*: OSSL OpenSimulator Scripting Language.
- *Object*: OpenSimulator.ini.
- *Engine*: Open Dynamics Engine.
- *Virtual Worlds Viewer*: Hippo OpenSimulator Viewer.
- *MAS*: JADE

Para validar la asociación entre las interacciones en el mundo virtual de un objeto y los comportamientos de agentes se desarrolló un objeto automóvil, el cual debería salir de un laberinto. La figura 4 presenta el escenario inicial de prueba.

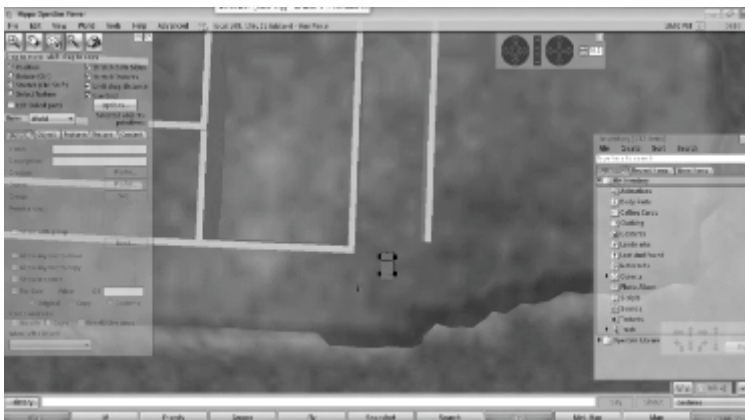


Fig. 4. Escenario Inicial de Prueba.

Luego de recorrer un espacio en el cual no encontró ningún obstáculo, se encuentra con la pared del laberinto; en ese momento el objeto tiene la capacidad de identificar una posible colisión y toma la decisión de girar hacia el lado derecho, izquierdo o atrás. Como no puede girar a la derecha porque reconoce que puede haber una colisión, debe girar a la izquierda ya que debe evaluar varias opciones antes de retroceder. La figura 5, presenta las asociaciones espaciales. Para el movimiento en OpenSimulator y reconocimiento de espacios, se implementaron las siguientes funciones de OSSL:

3.2.1. *LISetPos*, esta función permite darle una posición a el objeto(prim), en el proyecto se utiliza para darle movimiento al objeto.

3.2.2. *LIGetPos*, esta función permite conocer la posición dimensional del objeto, con esta función y SetPos se puede hacer que un objeto se mueva una distancia determinada por el usuario hacia adelante, atrás, derecha, izquierda, arriba y abajo, ya que se tiene la posición en que se encuentra y se le adiciona la distancia que se debe mover el objeto.

3.2.3. *LISetRot*, al igual que el SetPos, esta función permire rotar un objeto, indicándole los puntos hacia donde debe girar.

3.2.4. *LIGetRot*, obtiene el ángulo en que se encuentra el objeto y junto con SetRot se gira los grados que debe mover el objeto.

3.2.5. *LIVolumeDetect*, desencadena los eventos collision_start y collision_end cuando se interpenetran. Las colisiones se activarán al detectar una superposición de objetos en un radio especificado.

3.2.6. *Collision*, se puede detectar las colisiones que puedan existir con los prims.

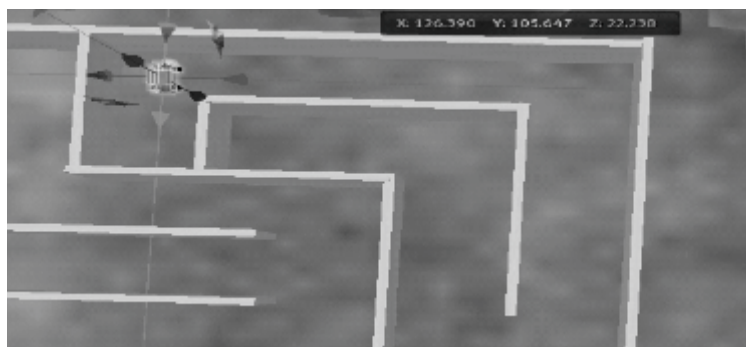


Fig. 5. Asociaciones Espaciales en el Mundo Virtual.

En cada momento que la función *Collision* detecta una posible colisión con un prims del entorno virtual, envía un mensaje utilizando el protocolo XML-RPC que es capturado en un objeto transductor el cual envía un mensaje ACL al Agent Management System para invocar a un agente encargado de llevar el control del recorrido del automovil o *AgenteObject* con otro agente encargado de llevar el control de la cinemática o *AgenteCE* y posicionamiento geométrico del automóvil dentro del entorno virtua o *AgenteLaberint*, la figura 6 presenta el diagrama de clases asociado al modelo multiagente implementado en JADE para la prueba del automóvil, de la interacción se genera una decisión correspondiente a una acción quees enviada por el transductor al entorno virtual.

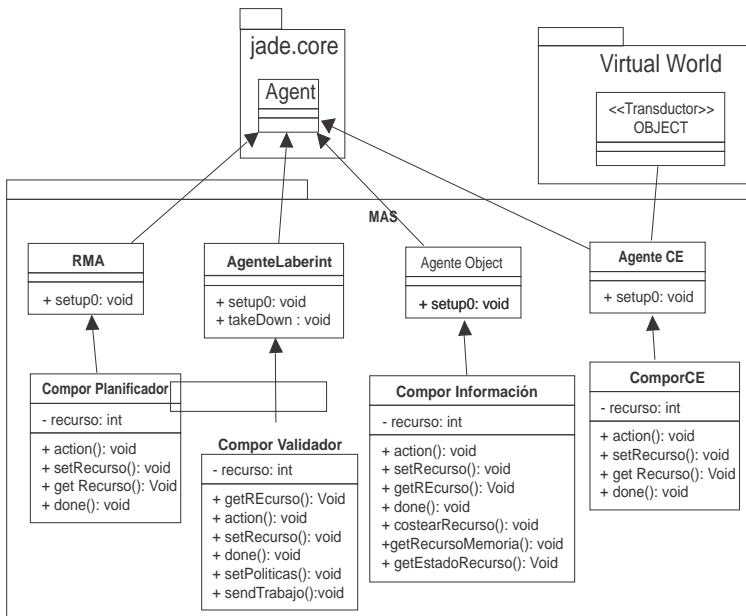


Fig. 6. Diagrama de Clases del Entorno MAS en JADE.

La interacción de mensajes de acuerdo con las performativas establecidas en el sistema multiagente, se pueden visualizar en la figura 6, donde se presenta el seguimiento de la comunicación generada por el agente Sniffer de JADE.

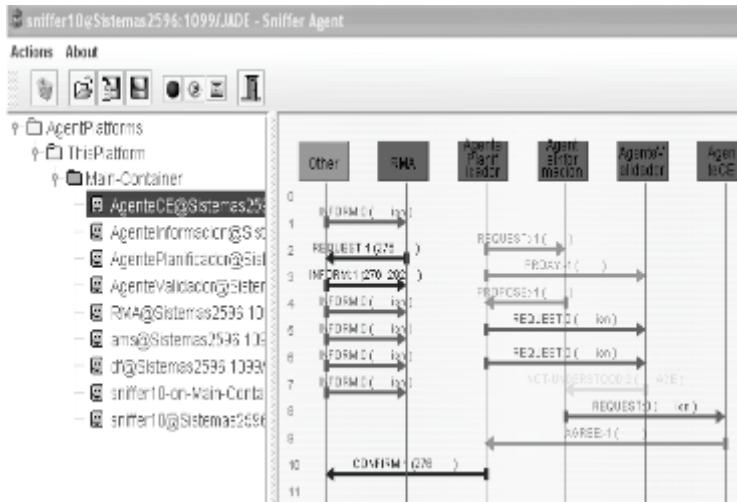


Fig. 7. Comunicación Entre Agentes Capturado Desde el Sniffer de JADE.

La figura 7, presenta los resultados porcentuales de las métricas evaluadas a partir de los atributos de interoperabilidad, trazabilidad e instalabilidad, donde se puede evidenciar un porcentaje sobre la media en el número de datos de interfaz que se han aplicado correctamente de acuerdo con las especificaciones y el número de datos intercambiados entre las dos plataformas.

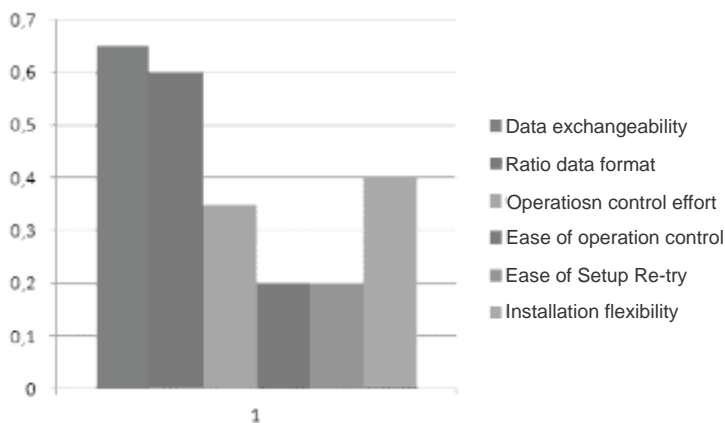


Fig. 8. Resultados porcentuales de las métricas evaluadas.

4. Conclusiones

En las pruebas realizadas se identificó un porcentaje aceptable en el nivel de interoperabilidad teniendo en cuenta que el número de datos de interfaz que se han aplicado correctamente de acuerdo con las especificaciones se encuentra en un rango superior a la media y el porcentaje de tiempo perdido en procesamiento de actividades de control es cercano a un 10%.

A través de la implementación se validó el enfoque funcional de la arquitectura y se evidenció la integración de las tecnologías mencionadas, lo cual permitirá desarrollar aplicaciones más complejas, asociándole responsabilidades de orden pedagógico, de seguimiento instruccional y de evaluación del aprendizaje.

Como trabajo futuro se busca validar la afectación de la usabilidad en un mundo virtual 3D que tiene interoperabilidad con un SMA, y de qué manera se puede optimizar la relación con el usuario buscando la personalización de entornos inmersivos de aprendizaje y la construcción de tutores inteligentes amigables y autónomos.

Referencias

- [1] Chen, C., Tezeng, G., “Creating the aspired intelligent assessment systems for teaching materials”, *Proceedings of Expert Systems with Applications*, volumen 38, Issue 10, septiembre 2011, pág., 12168–12179, ISSN: 0957-4174
- [2] Yi-Shun Wang, *Assessment of learner satisfaction with asynchronous electronic learning systems*, *Information & Management*, volumen 41, 2003, pág., 75–86
- [3] C. Glez-Morcillo, D. Vallejo, J. Albusac, L. Jimenez, J. Castro-Sanchez. *A New Approach to Grid Computing for Distributed Rendering*, *proceeding In P2P, Parallel, Grid, Cloud And Internet Computing*, October 2011, pp. 9-16.
- [4] T. Alpcan, C. Bauckhage, E. Kotsovinos, *Towards 3D Internet: Why, What And How?*, *Proceedings Of The Cyberworlds*, 2007.

Cw`07.International Conference On, Hannover, October, 2007, IEEE, pp.95-99.

- [5] Zapatero, Daniel, “Aplicaciones didácticas de la realidad virtual al museo” Proceedings of Editorial Académica Española, junio, 2012, España, 376, p. ISSN: 978-3844339666
- [6] Sutherland, Ivan, “Sketch pad a man-machine graphical communication system”, en 64 Proceedings of the SHARE design automation workshop, mayo 1964, pág., 6329 – 6346.
- [7] Wilson, J., D’cruz, M., Cobb., S., Eastgate, R., “Virtual Reality for Industrial Applications. Oprtunities and Limitations”, Proceedings of Nottingham University Press. Nottingham, 166 págs.
- [8] Hearn, Donald, Baker, Pauline, “Computer Graphics with OpenGL”, publicado por Pearson Education, Indiana University. 895 p.
- [9] John N., Aratow M., Couch J., Evestedt D., Hudson A., Polys N., Puk R., Ray A., Victor K., Wang Q., MedX3D: Standards Enabled Desktop Medical 3D, Studies in Health Technology and Informatics, Volume 132: Medicine Meets Virtual Reality 16, 2012, p. 189 – 194
- [10] Messinger, P., Stroulia, E., Lyons, K., Bone, M., Niu, R., Smirnov, K., Perelgut, S., “Virtual worlds: past, present, and future: New directions Proceedings of social computing”, in Decision Support Systems, volumen 47, Issue 3, June 2009, pág., 204–228, ISSN: 0167-9236
- [11] Bolivar H. Gonzalez R., Sanjuan O., Ontology of a scene based on java 3D architecture, International Journal Of Interactive Multimedia And Artificial Intelligence, v.1 fasc.2, 2009, p.14 – 19
- [12] P. Hoberman, D. Krum, E. Suma, M. Bolas, Immersive Training Games for Smartphone-Based Head Mounted Displays, Appears In Virtual Reality Workshop, March 2012, pp. 151-152.
- [13] C. Lorenzo, S. Sánchez, M. Sicilia, Studying The Effectiveness Of Multi-User Immersive Environments For Collaborative Evaluations Task, Computer & Education, Volume 59, Issue 4, December 2012, pp. 1361–1376.

- [14] R. Garrison, T. Anderson, W. Archer, *Critical Inquiry in a Text-Based Environment: Computer Conferencing in Higher Education*, *The Internet and Higher Education*, 2000, Volume 2, Issues 2-3, pp. 87-105.
- [15] C. McLoughlin, *Broadening assessment strategies with information technology*, in *Learning and Teaching with Technology*, 2003, chapter 13
- [16] A. Kerly, P. Hall, S. Bull, *Bringing chatbots into education: Towards natural language negotiation of open learner models*, *Knowledge-Based Systems*, Volume 20, Issue 2, March 2007, Pages 177-185.
- [17] Yi Shang, Hongchi Shi, and Su-Shing Chen, *An intelligent distributed environment for active learning*. *Journal on Educational Resources in Computing (JERIC)*. 2001, Volume 1, Issue 2, Article 4
- [18] M. Nikraz, B. Caire, G. Bahri, "A methodology for the analysis and design of multi-agent systems using JADE". *Proceedings of International Journal of Computer Systems Science and Engineering*. 2006, pp. 40.
- [19] FIPA. "FIPA Agent Management Specification". *Foundation for Intelligent Physical Agents*. 2004.
- [20] F. Bellifemine, G. Caire, D. Greenwood. "Developing Multi-Agent Systems with JADE". *England. Editorial John Wilye & Sons Ltd*. 2007. pp. 115.
- [21] S. Ullrich, H. Prendinger, M. Ishizuka, "MPML3D: Agent Authoring Language for Virtual Worlds", *Advances In Computer Entertainment Technology*, 2008, Tokio, Japón, 2008, p. 21.
- [22] Y. Arafa, A. Mamdani, "Scripting Embodied Agents Behaviour with CML: Character Markup Language, IIS", *Proceedings of the 8th International Conference on Intelligent User Interfaces*, *Imperial College Londres*, 2003, pages 313-316.
- [23] M. Carrereto, D. Oyarzum, I. Aizpurua, A. Ortiz, "Animación facial y Corporal de Avatares 3D a Partir de la edición e Interpretación de Lenguaje de Marcas", *Pergamon Press, España*, 2005, p. 78.

- [24] R. Gonzalez-Crespo, S. Rios-Aguilar, R. Ferro-Escobar, N. Torres, "Dynamic, ecological, accessible and 3D Virtual Worlds-based Libraries using OpenSimulator and Sloodle along with mobil location and NFC for checking in", *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, V. 1, N. 7, 2012, p. 62-69.
- [25] B. Choi and Y. Baek, Exploring factors of media characteristic influencing flow in learning through virtual worlds, *Computers & Education*, Volume 57, Issue 4, December 2011, Pages 2382-2394.
- [26] Diego Morillo Arroyo, Carlos Delgado Kloos, Maria Blanca Ibañez Espiga, David Pérez Calle, Patricia Santos Rodriguez, Davinia Hernández-Leo, ASSESSMENT IN 3D VIRTUAL WORLDS: QTI IN WONDERLAND, Congreso Iberoamericano de Informática Educativa, 2010
- [27] C. Girvan, B. Tangney, T. Savage, "SLurtles: Supporting constructionist learning in Second Life", in *Computers & Education*, Volume 61, February 2013, Pages 115-132.
- [28] M. Okutsu, D. Delaurentis, S. Brophy, J. Lambert, "Teaching an aerospace engineering design course via virtual worlds: A comparative assessment of learning outcomes", *Computers & Education*, Volume 60, Issue 1, January 2013, Pages 288-298.
- [29] C. Kim, S. Lee, M. Kang, "I became an attractive person in the virtual world: Users' identification with virtual communities and avatars", *Computers in Human Behavior*, Volume 28, Issue 5, September 2012, Pages 1663-1669.
- [30] A. Sarrafzadeh, S. Alexander, F. Dadgostar, C. Fan, A. Bigdeli, "How do you know that I don't understand?" A look at the future of intelligent tutoring systems, *Computers in Human Behavior*, Volume 24, Issue 4, July 2008, Pages 1342-1363.
- [31] M. Klusch, E. Andre, T. Rist, "Interactive Information Agents and Interfaces", In Robert W. Proctor and Kim-Phuong L. Vu, *Handbook Of Human Factors in Web Design*, p. 229.
- [32] J. Blair, L. Fuhua, "An Approach for Integrating 3D Virtual Worlds with Multiagent Systems", appears in: *Advanced Information*

Networking and Applications (WAINA), 2011 IEEE Workshops of International Conference on, 2011, Sch. of Comput. & Inf. Syst., Athabasca Univ., Canada, p. 580–585