

Multi-Agent Systems for the Management of Resources and Activities in a Smart Classroom

A. Gomez, L. Chamba and J. Aguilar

Abstract— The aim of this research is to develop a prototype of a multi-agent systems (MAS), which manages the resources and activities in a smart classroom (SaCI). We developed three specific objectives. First, we designed the architecture of the MAS that manages the resources and activities in a virtual learning environment (VLE), for which we used the related works on MAS in a VLE. Second, we implement the architecture of the MAS, the prototype proposed has been called GREAC (“Gestión de Recursos y Actividades”), which considers the learning style (LS) of the student to manage the resources and activities in an adaptive way, and uses the methodology Prometheus, Moodle 3.6 (VLE), and the framework Jade, for the development of the prototype of the MAS. Third, we evaluated the prototype GREAC in a SaCI in an academic context. In the evaluation participated 54 students from the “Universidad Nacional de Loja”, of the “Carrera de Ingeniería en Sistemas”. As a result of the evaluation by the students, we obtained a level of satisfaction 92.6 %. Finally, this work concludes that the implementation of a MAS in a VLE allows the dynamic management of resources and activities, taking into account the student’s LS, allowing an adaptive and personalized management.

Index Terms—artificial intelligence, cooperative systems, electronic learning, learning management systems, intelligent agents, ambient intelligence, computer aided instruction.

I. INTRODUCCIÓN

La continua evolución de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), ha causado un gran impacto en diversos ámbitos. En la educación no ha sido la excepción, puesto que al vincularse con el uso de las TIC se ha generado una serie de cambios significativos en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Como herramienta para la gestión del aprendizaje, un entorno virtual de aprendizaje (EVA) permite guiar el proceso de enseñanza de los alumnos. En general, es la más utilizada por sus características predominantes como: reusabilidad, recursos compartidos e interoperabilidad [1]. Originalmente, un EVA fue diseñado para soportar la educación virtual y/o apoyar actividades en la educación a distancia; actualmente, es de apoyo en la educación presencial, educación continua, entre otros. Un EVA permite la gestión de recursos y

actividades de aprendizaje (por ejemplo, foros, wikis, talleres, archivos, URL, páginas, tareas, entre otros), que son gestionados por el profesor, y ofrecidos al alumnado. Un problema común al usar un EVA, es que los alumnos reciben recursos para cumplir actividades que no consideran sus características individuales. También, existen problemas con la falta de planificación en el uso de metodologías y herramientas que faciliten los procesos de enseñanza-aprendizaje, es decir, las evaluaciones, los recursos, y las actividades son diseñadas sin seguir una metodología que oriente dicho proceso. De hecho, muchas aplicaciones educativas para un EVA han sido desarrolladas sin considerar aspectos pedagógicos imprescindibles para el éxito de tales entornos [2].

En la Industria 4.0, la inteligencia artificial aplicada a la educación ofrece un entorno de aprendizaje personalizado y adaptativo, ya que la Web, al ser más inteligente y predictiva, permitirá experimentar con tecnologías de voz, sistemas de comunicación máquina a máquina y huellas digitales del usuario (localización, estado anímico, biorritmos, entre otros), para lo cual se necesitará diseñar robustas arquitecturas de ambientes inteligentes (AmI) [3], [4], [5].

Por otro lado, un Salón de Clases Inteligente (SaCI) en el contexto de los AmI, ofrece grandes ventajas a la hora de personalizar y adaptar el aprendizaje, por medio de la combinación de software y/o dispositivos de hardware (por ejemplo, pizarras inteligentes, EVA, sistemas tutoriales inteligentes, robots, objetos de aprendizaje), ya que, por medio de un SaCI, se detectará información del entorno (perfil de los estudiantes, curso, entre otros), y de acuerdo a ello, de forma autónoma adecua el ambiente de aprendizaje. Para ese proceso de adecuación, los dispositivos de SaCI (hardware y software) tienen capacidades de procesamiento, para razonar a partir de los datos, información y conocimiento existente, con el fin de mejorar el proceso educativo [6].

En el diseño conceptual de un SaCI [7], se considera trabajar con los diversos estilos de aprendizaje del alumno, y mediante la combinación de un EVA y un sistema multiagente (SMA),

A. Gomez. Carrera de Ingeniería en Sistemas, Facultad de Energía, Universidad Nacional de Loja (UNL), Loja, Ecuador (e-mail: acgomezj@unl.edu.ec).

L. Chamba. Grupo de Investigación GITIC, Carrera de Ingeniería en Sistemas/Computación, Facultad de Energía, Universidad Nacional de Loja (UNL), Loja, Ecuador (e-mail: lachamba@unl.edu.ec).

J. Aguilar. CEMISID, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela and GIDITIC, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia (e-mail: aguilar@ula.ve).

desarrollar un entorno virtual adaptativo, que ayude a potenciar el rendimiento del alumnado, y sirva de apoyo al profesor. En específico, en esta investigación se plantea la pregunta: *¿Cómo integrar un EVA y un SMA en la gestión de recursos y actividades de aprendizaje en un SaCI?*

Para abordar la pregunta de investigación, se proponen tres objetivos: (1) diseñar la arquitectura de un SMA que gestione los recursos y actividades en un EVA, (2) implementar la arquitectura en un SaCI y, (3) evaluar la arquitectura del SMA propuesto. En ese sentido, el artículo se organiza de la siguiente manera: en la Sección II se presenta el marco teórico de este trabajo, el cual está vinculado a la inteligencia artificial en educación, los sistemas multiagente en ambientes inteligentes y los estilos de aprendizaje. En la Sección III se describen los trabajos relacionados con este estudio. La Sección IV describe la metodología utilizada en el trabajo y la Sección V el diseño del prototipo GREAC desde el punto de vista de la Ingeniería de Software orientada a agentes. La Sección VI presenta la metodología de experimentación. Finalmente, la Sección VII presenta las conclusiones y trabajos futuros.

II. MARCO REFERENCIAL

A. Inteligencia Artificial en la Educación

Inteligencia artificial (IA) es el término asociado a los algoritmos que se plasman en programas informáticos que buscan imitar el modo de funcionamiento del cerebro humano [8]. Los retos actuales de la sociedad de información y conocimiento, demandan a las instituciones educativas un severo cambio dentro de la formación del alumnado. Los formatos y herramientas basadas en IA prometen una sustancial mejora dentro de los diversos niveles educativos. La interactividad en las herramientas digitales y las comunidades virtuales tienen una esencia medular, que impactan al sistema educativo [9]. Partiendo de allí, en la educación la IA ha comenzado a producir nuevas soluciones para el proceso de enseñanza-aprendizaje, que ahora se están aplicando en diferentes contextos. La IA permite construir infraestructuras avanzadas y ecosistemas de innovadores. La IA permite transformar la educación mediante la creación de sistemas de tutoría que permiten personalizar el aprendizaje [10]. El uso de la IA en la educación varía significativamente, tomando en cuenta los enfoques hacia dónde va dirigido. Puede servir de ayuda al profesor (en la preparación de la planificación), y a su vez, puede ser orientado hacia el alumno (para ayudarlo en su aprendizaje). El impacto de la IA puede ser en dos aspectos, el aspecto técnico y el aspecto pedagógico. Dentro del aspecto técnico, hablamos de software que facilite y personalice actividades; y dentro del aspecto pedagógico, hablamos de herramientas que apoyen el proceso de enseñanza-aprendizaje (facilitando las actividades, tanto del alumno como del profesor). Para lograr esto, la IA se apoya en los agentes inteligentes, los cuales pueden actuar de manera autónoma para realizar las diversas actividades [11].

B. Sistemas Multiagente y SaCI

La IA busca desarrollar sistemas que piensen y actúen

racionalmente, de esta manera se apoya en el concepto de agentes inteligentes (AI), los cuales realizan actividades de manera autónoma, además, pueden percibir su entorno y actuar en él [9]. Un AI es aquel que opera dentro de un entorno, basándose en sus sensores y actuadores; los AI actúan de forma independiente, y tienen tareas u objetivos que los hacen actuar de manera autónoma [12]. Al momento que se utiliza un AI, se puede hablar de una enseñanza inteligente, los AI pueden estar distribuidos y subdivididos en partes más pequeñas, funcionando como entidades, semi o completamente autónomas, que se comunican entre sí [13], apoyando en los procesos de formación y en las labores académicas, no solo como tutores inteligentes, sino como parte del grupo de estudio [14]. Un AI puede proporcionar recursos mediante sistemas computarizados, además, son perceptivos al actuar en un medio alrededor de su entorno, a través de información o sensores que lo ayudan a desenvolverse en el mundo real [15].

Se conoce como SMA a un conjunto de AI autónomos, generalmente heterogéneos, y potencialmente independientes, que trabajan en común resolviendo un problema [16]. Los SMA surgen como una alternativa de apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje [17], interviniendo en diversas tareas, por ejemplo, búsquedas intuitivas y eficientes. Los SMA actúan de manera automática y personalizada, otorgando recursos y actividades que se adapten a las preferencias o necesidades de un usuario [18]. Los SMA se vinculan con los sistemas distribuidos (estándar FIPA, middleware Jade, metodología de diseño de agentes como Prometheus o MASINA) [19], [20], [21], [55] debido a que aprovechan la distribución natural del dominio (espacial, temporal, funcional) con los fines de: mejorar el rendimiento y la robustez de los sistemas, facilitar la reusabilidad y mantenimiento [22].

Uno de los intereses principales de un SMA en la educación es el adecuar dinámicamente los contenidos didácticos para que el alumno se sienta motivado a aprender [23]. Un SMA ayuda tanto a los alumnos (en las diversas tareas formativas como instructivas), como al profesor (en tareas de planificación de actividades, o en la gestión de recursos dentro de la temática a impartir) [24]. Por otro lado, utilizando el paradigma del SMA se han diseñados los SaCI, que son centrados en los alumnos, que apoya sus procesos de aprendizaje, con software y dispositivos de hardware que facilitan el aprendizaje colaborativo y la autoformación [25].

Un SMA en un ámbito educativo permite salir de la cotidianidad del sistema de aprendizaje tradicional, a un entorno innovador, en donde existe un campus que toma en cuenta el perfil del alumno, como son sus intereses, sentimientos, y los temas que debe estudiar, para ir adecuando el proceso de aprendizaje [3], [26].

C. Estilos de Aprendizaje

Los estilos de aprendizaje (EA) son aquellos rasgos cognitivos, afectivos y fisiológicos que sirven como indicadores relativamente estables, de cómo los alumnos perciben las interacciones y responden a los diversos ambientes de aprendizaje. Los EA en alumnos universitarios constituyen características muy relevantes que deben considerarse cuando

se elaboran y ejecutan estrategias didácticas, ya que describen las dinámicas de comunicación inter e intrapersonal y de aprendizaje, más adecuada en cada alumno. Un alumno puede poseer uno o más EA, se reconoce la flexibilidad y las posibilidades de poder cambiar o reajustar el estilo para el logro de un aprendizaje más significativo, por lo que es importante un seguimiento del progreso que se ha obtenido luego de aplicar una estrategia o metodología didáctica [58].

En particular, en este trabajo se usa el modelo VARK, el cual fue propuesto por Neil Fleming y Colleen Mills, y consiste en la determinación del EA de los alumnos desde el punto de vista sensorial. VARK son las siglas en inglés formado por las letras iniciales de cuatro modalidades sensoriales de representación de la información: a) Visual (visual): preferencia por maneras gráficas y simbólicas de representar la información, b) Auditivo (aural): preferencia por escuchar la información, c) Lectoescritura (read-write): preferencia por información impresa en forma de palabras, d) Kinestésico (kinesthetic): preferencia perceptual relacionada con el uso de la experiencia y la práctica, ya sea real o simulada [12]. Basado en ellas, se establece la forma sensorial más adecuada para percibir la información de los alumnos.

III. TRABAJOS RELACIONADOS

En la literatura, existe una variedad de trabajos alrededor del objeto de estudio. En esta sección se describe brevemente, los trabajos más estrechamente vinculados a nuestra propuesta.

En [27] se identifica la necesidad de mejorar la presentación y visualización de recursos educativos teniendo en cuenta las preferencias y necesidades de los alumnos. Para ello, se desarrolló una interfaz adaptativa personalizada en un SMA, con el fin de recomendar objetos de aprendizaje (OA) desde repositorios.

En [28] se ha creado un sistema recomendador para el EVA de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), con ello, se persigue una mejor adaptabilidad de los sistemas de gestión de aprendizaje, además, adaptarse a las necesidades que tiene el usuario (alumno). Este sistema recomendador está basado en conocimiento, y teniendo un enfoque el cual es dar soporte al alumno en sus actividades de aprendizaje, ayuda a elegir los recursos adecuados para resolver sus actividades en un determinado curso.

En [29] se ha diseñado un prototipo de un sistema recomendador híbrido (basado en contexto y filtrado colaborativo) para las evaluaciones a distancia que deben rendir los alumnos. El objetivo principal ha sido recomendar OA al momento de rendir una evaluación. El prototipo permitió apoyar al alumno en aquellos contenidos donde necesita mejorar el conocimiento adquirido.

En [30] se desarrolló un sistema de recomendación basado en la semántica de los autores, cruza información heterogénea sobre los antecedentes de los alumnos y trabajadores, así como, los puestos de trabajo, con un catálogo de cursos en línea, para identificar los recursos de aprendizaje más apropiados. Se mencionan los experimentos, los cuales han mostrado un buen acuerdo entre las recomendaciones humanas y automáticas, lo que confirma la aplicabilidad de la tecnología semántica

emergente a la generación de servicios centrados en el usuario (alumno), las cuales pueden adaptarse a las necesidades de aprendizaje de las personas.

En [31] se analizó SAPA, que consiste en un sistema recomendador, el cual sirvió de apoyo para dos asignaturas en específico, dentro de la educación abierta y a distancia en la UTPL. El sistema determina por medio de un cuestionario, el estilo de aprendizaje, y a partir de allí, la posible ruta de e-Aprendizaje personalizada, que deberá seguir cada alumno a lo largo de un semestre.

En [32] se analizó sobre la búsqueda de material e información educativa, y enfatiza que esta actividad no es una tarea sencilla. Concluyen que existe una gran necesidad de materiales de aprendizaje, de búsqueda especializada en línea, y de herramientas de aprendizaje personalizado. Usan un agente de recomendación de filtrado colaborativo educativo, con un buscador de estilo de aprendizaje integrado. Dicho agente produce dos tipos de recomendaciones: sugerencias y accesos directos a materiales y herramientas de aprendizaje, lo que ayuda al alumno a navegar mejor a través de los recursos educativos.

En [33] se describe un SMA, que incorpora la computación ubicua y los servicios de awareness, cuya finalidad es la recomendación personalizada de recursos educativos para dispositivos móviles. A la vez, busca proveer información útil y personalizada a los alumnos sobre la planificación de sus cursos virtuales, búsqueda y recuperación de OA, recomendación de asistentes especializados, entre otros. El SMA se basa en AI, los cuales usan mecanismos que permiten búsqueda y recomendación de información, para adaptar el resultado a las preferencias del alumno.

En [34] se abordó los servicios awareness dentro de los EVA ubicuos, ya que brindan alertas inmediatas al alumno a través del dispositivo móvil. El mismo detecta tareas importantes o eventos significativos, para alertar al alumno. El fin de ese trabajo es la implementación de servicios awareness de planificación instruccional y recomendación de recursos educativos desde repositorios locales y remotos, teniendo en cuenta las preferencias, falencias, y necesidades de los alumnos.

En [35] se describe un sistema recomendador que se basa en un entorno social (redes sociales), en donde se simula el entorno social en el que una persona realiza una solicitud de recomendación, y lo prueban en un proceso de recomendación sobre recetas culinarias. El entorno le muestra una lista con los resultados que mejor se adaptan a su perfil, y la relación con los amigos que le presentan dichas recomendaciones. El uso de dicho sistema se puede extrapolar al ámbito académico.

En [36] se describe un SMA en la gestión de los repositorios y federaciones de OA. Realizan una propuesta conceptual y una herramienta que involucra diferentes dimensiones y visiones, para facilitar las tareas distribuidas y autónomas.

En [37] se presenta una arquitectura de un SMA que está orientado a la enseñanza de idioma, con la finalidad de proveer inteligencia y adaptabilidad, basándose en las necesidades que tienen los alumnos y sus desenvolvimientos en un EVA. Este SMA se apoya con recursos que responden a las necesidades específicas de enseñanza de idiomas.

En [38] se describe un SMA que se encarga del análisis del comportamiento de los usuarios (alumnos) de un sistema e-learning, que es capaz de extraer y analizar información sobre cómo utilizan los usuarios el sistema. Todo esto en base a recursos y actividades que proporciona Moodle. Una de las funciones de este SMA es clasificar a los usuarios tomando en cuenta su comportamiento dentro del sistema, y con ello, extraer información acerca de cómo interactúan y participan los alumnos.

En la Tabla I se realiza una comparación de los doce trabajos relacionados, basado en seis características: (C1): si se basan en una arquitectura que sigue el paradigma de SMA, (C2): si realizan una gestión de recursos de aprendizaje, (C3): si usan los EAs de los estudiantes de forma automática, (C4): si tienen un sistema de recomendación de recursos, (C5): si se realiza su implementación en EVA y (C6): si usan un middleware como soporte.

TABLA I
COMPARATIVA ENTRE LOS TRABAJOS RELACIONADOS

#	Trabajo	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	[27]	X	X		X		
2	[28]		X		X		
3	[29]		X		X		
4	[30]		X		X		
5	[31]		X	X	X	X	
6	[32]	X	X		X		
7	[33]	X	X		X	X	X
8	[34]				X	X	X
9	[35]		X	X	X		
10	[36]	X	X		X		X
11	[37]	X	X		X	X	
12	[38]	X	X		X	X	

Como se evidencia, son muchos los trabajos en donde predominan las características C2 (gestión de recursos de aprendizaje) y C4 (sistema de recomendación de recursos). Ahora bien, muy pocos trabajos automatizan el proceso de identificación de los EAs de los alumnos. Por otro lado, existen algunos resultados recientes sobre el descubrimiento de EAs en plataformas virtuales personalizadas [56], [57]. Tampoco hay muchos trabajos que usan middleware, mientras que el uso de SMA y su implementación sobre un EVA son más común. Este trabajo trata de cubrir esos 6 criterios.

IV. METODOLOGÍA

La investigación se ejecutó en tres fases, en la primera fase se desarrollaron tres actividades: (a) definición de la funcionalidad del SMA, (b) diseño de la arquitectura base del SMA desde el punto de vista de la Ingeniería de Conocimiento usando la metodología de agentes Prometheus [39], y (c) diseño de los agentes que interactúan en el SMA. En la segunda fase se implementó el SMA en un SaCI, para ello, se desarrollaron las actividades: (a) identificación del ambiente para el funcionamiento (middleware Jade) [40], (b) elección e implementación del cuestionario de EA (se utilizó el modelo VARK) [12] en un EVA (Moodle 3.6), (c) clasificación de los recursos/actividades en el EVA, y (d) programación/desarrollo del SMA (Java, MySql y Moodle 3.6). En la tercera fase se

evaluó el prototipo del SMA en un contexto académico universitario [41], específicamente, en la Carrera de Ingeniería en Sistemas de la Universidad Nacional de Loja, por medio de dos métodos: experimentación y encuestas.

V. DISEÑO DEL PROTOTIPO

A. Diseño de la Arquitectura del SMA

Para el desarrollo del prototipo GREAC (Gestión de Recursos y Actividades) se consideraron cada una de las etapas de la metodología de diseño de agentes inteligentes Prometheus, las cuales son: especificación, diseño, implementación y pruebas. En particular, GREAC consta de cuatro agentes: (1) usuario, (2) interfaz, (3) repositorio y (4) controlador (ver Fig.1).

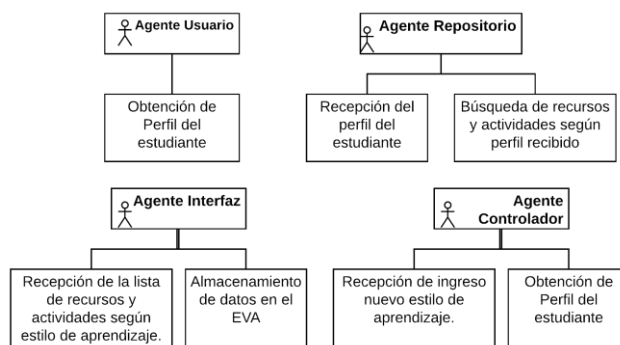


Fig. 1. Descripción de la funcionalidad de los cuatro agentes inteligentes del SMA en el SaCI (fases de especificación).

Los agentes son basados en metas (modelo cognitivo del humano), tal que realizan sus acciones teniendo en cuenta el objetivo a cumplir, en este caso, la gestión de los recursos y actividades basándose en el estilo de aprendizaje del alumno.

En la Fig. 2 (diagrama de secuencia) se describe la funcionalidad del SMA. Primeramente, el *agente usuario*, se encarga de solicitar el perfil del alumno a la base de datos (BD) del EVA, que identifica y envía el perfil del alumno al *agente usuario*. Luego, el *agente usuario* se comunica con el *agente repositorio*, el cual buscará los recursos y actividades de aprendizaje de acuerdo con el perfil del alumno; para ello, se comunica con la BD del EVA, solicitando los recursos y actividades. Una vez obtenido lo solicitado, el *agente repositorio* compara y empareja para cada alumno el recurso o actividad que mejor se adapte de acuerdo con su perfil, y esa información es enviada al *agente interfaz*, que se encarga de almacenar la información en la BD del EVA, y a la vez activa al *agente controlador*. Finalmente, el *agente controlador* se encarga de analizar en la BD si el alumno (actor) ingresó o actualizó su estilo de aprendizaje, para enviarle la información al *agente repositorio*, y que éste muestre los recursos y actividades de acuerdo con el nuevo perfil del alumno.

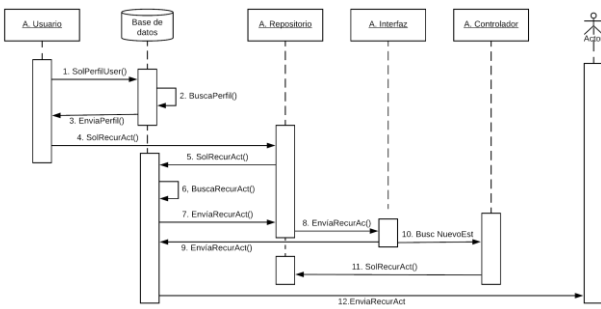


Fig. 2. Diagrama de secuencia de la interacción de los cuatro agentes del SMA en el SaCI (fase de diseño).

Para el diseño formal de la arquitectura del SMA de acuerdo con la funcionalidad (ver Fig. 1) y diagrama de secuencia (Fig. 2), se utilizó la herramienta Prometheus Design Tool [42], que tiene como objetivo describir la funcionalidad del SMA con los actores y otros sistemas relacionados (EVA). En la Fig. 3 se definen las acciones, los roles, base de datos, mensajes y percepciones, para los cuatro agentes del SMA.

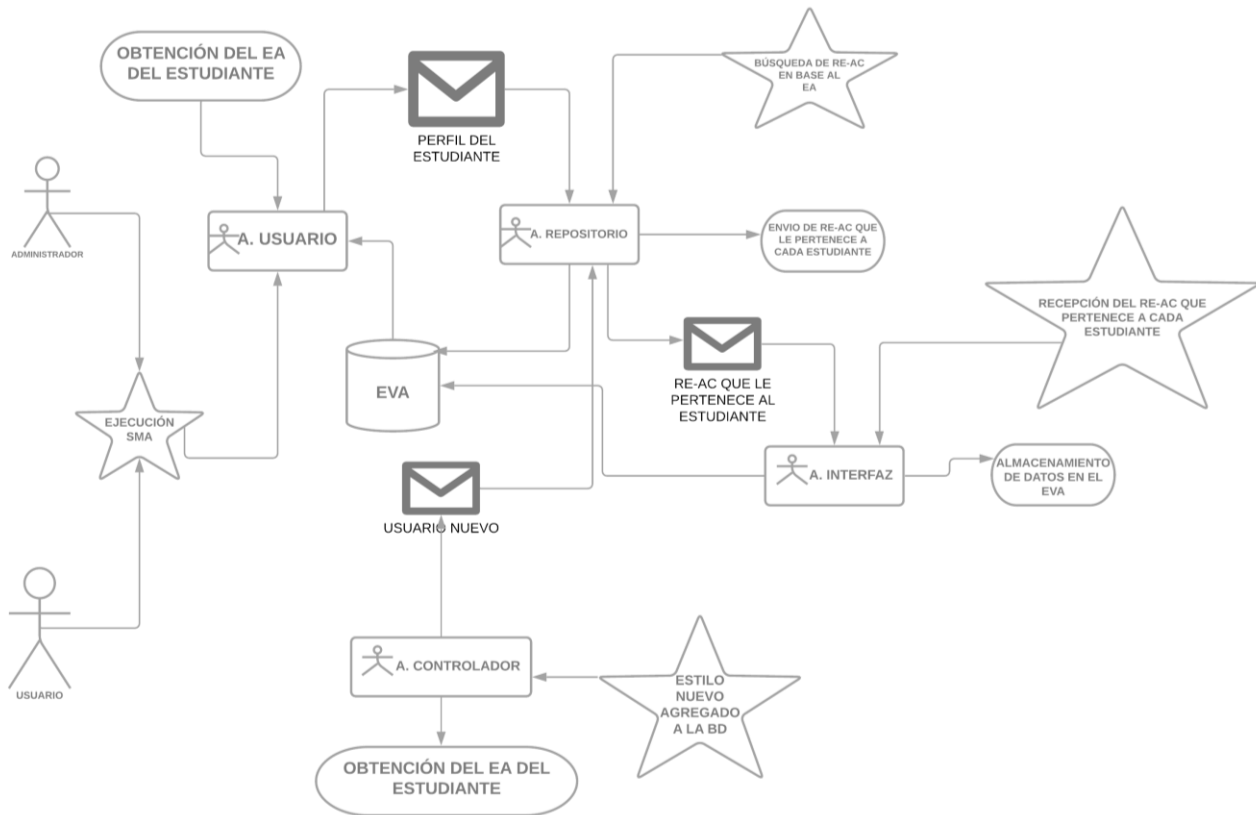


Fig. 3. Arquitectura base del SMA en el SaCI diseñada con Prometheus Design Tool (fase de diseño).

B. Implementación del SMA

Para implementar el SMA se necesitó de la BD del EVA (Moodle 3.6), que almacena la información de: alumnos, profesores, cursos, recursos y actividades, estilo de aprendizaje (cuestionario VARK) de cada alumno (Fig. 4).

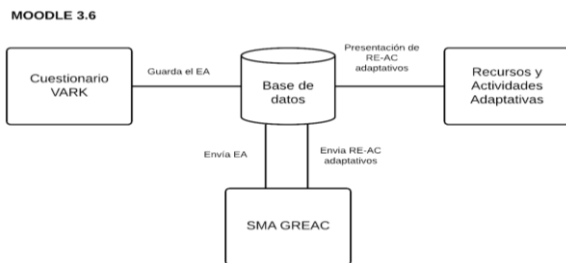


Fig. 4. Vínculo de la arquitectura del SMA y el EVA en el SaCI (fase de implementación)

Para la gestión de los recursos y actividades del EVA, se clasificó según el estilo de aprendizaje de cada alumno, considerando lo propuesto en [43], en donde se sugiere pedagógicamente como se deben usar en el EVA de acuerdo con lo identificado por el cuestionario VARK.

En la Fig. 5 se visualiza la interacción entre las clases del middleware Jade y la BD del EVA (Moodle 3.6), los archivos del núcleo del EVA que fueron modificados para la presentación de los recursos y actividades, además, del almacenamiento de la información obtenida mediante el cuestionario VARK, que se usó en las clases creadas en Jade. Para más detalles de la implementación ver [44] o <https://youtu.be/sTpXDNM01hU>, y/o acceder al repositorio del proyecto: <https://github.com/lachamba/SMA-GREAC>.

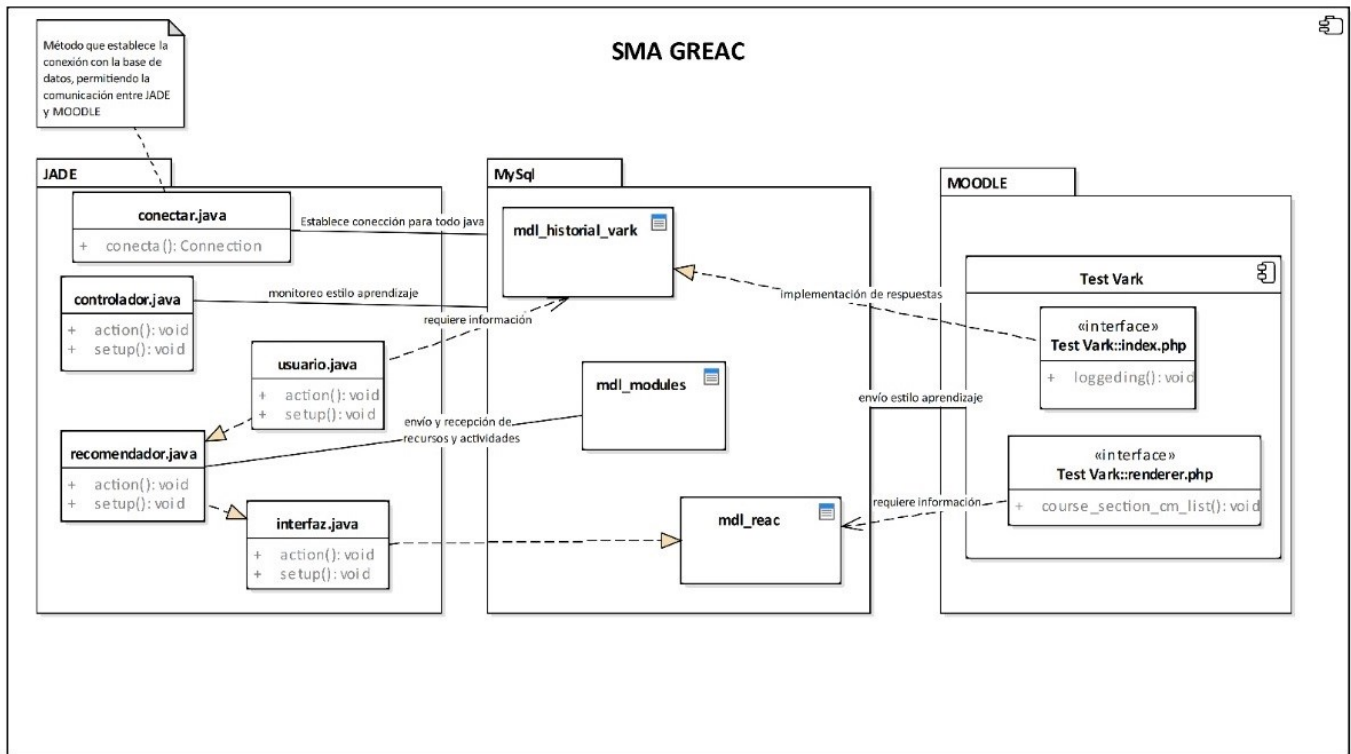


Fig. 5. Arquitectura de interacción de Jade, MySQL y Moodle 3.6 (EVA) para el prototipo del SMA (fase de implementación).

VI. EXPERIMENTACIÓN

A. Evaluación del Prototipo del SMA en un SaCI

Para evaluar el prototipo del SMA se realizó un experimento y una encuesta, para realizar una validación académica en un contexto educativo [41]. Se usó el prototipo GREAC en un curso gestionado por un SaCI, que considera los EAs del alumno, identificados por el cuestionario VARK. La validación se desarrolló durante la semana del 27 al 31 de mayo del 2019, en la Universidad Nacional de Loja, en la Carrera de Ingeniería en Sistemas, con 54 alumnos de cuarto y séptimo ciclo (previa firma de consentimiento informado), que cursaron las asignaturas de Metodología de la Investigación y Proyectos Informáticos I, que fueron matriculados en el curso virtual: “*Habilidades de Escritura Científica en Ingeniería Informática 2.0*”, que fue implementando bajo la metodología del diseño instruccional ADDIE [45], [46].

El experimento evaluó el uso del prototipo GREAC en un curso gestionado por un SaCI, en donde los objetivos experimentales consistieron en: 1) obtener del estilo de aprendizaje del alumno, 2) gestionar los recursos y actividades en base al estilo de aprendizaje del alumno, y, 3) medir el grado de efectividad, eficiencia y satisfacción del alumno en relación con el uso de GREAC, mediante el método de la encuesta (entrega de recursos y definición de actividades). Para más detalles del experimento, ver [44].

Durante el proceso de la evaluación del SMA GREAC, se monitoreó en la consola los agentes inteligentes implementados en Jade: *usuario* y *repositorio*, que tiene relación con los objetos experimentales uno y dos, respectivamente. Además, se

usó el Sniffer de la consola de Jade para el control de las actuales o nuevas peticiones en el SMA.

Finalmente, en relación con el tercer objetivo experimental, se usó el método de la encuesta por medio de un cuestionario de seis preguntas, que permitió medir el grado de efectividad al obtener el perfil, la eficiencia de recomendación, y la satisfacción del alumno en relación con el uso del SMA GREAC. En la Fig. 6 se observan los resultados obtenidos, para más detalles de la utilización del método de encuesta ver [44].



Fig. 6. Resultados en porcentajes de las preguntas vinculadas al nivel de efectividad, eficiencia y satisfacción del alumnado.

B. Resultados y Discusión

En los trabajos [47], [48] se usó un SMA con Moodle 2.4, pero no utilizan estilos de aprendizaje del alumno, ni utilizan un diseño instruccional para armar el curso a impartir. Además, en los trabajos [43], [12] se realizó la gestión de contenidos basados en competencias utilizando el estilo de aprendizaje del alumno, pero no lo complementan con el uso de IA, como en esta investigación.

Considerando lo propuesto en [43], se realiza la implementación del cuestionario VARK después de iniciar la sesión en el EVA, debido a la importancia de obtener el EA para planificar los temas que le corresponden a cada alumno antes de iniciar un curso en SaCI. A un 90.7% de los alumnos se les presentó el cuestionario sin ningún inconveniente técnico (ver Fig. 6), y de esta manera se obtuvo el EA para gestionar el recurso y actividad respectivo. Por otro lado, a un 74.1% se les determinó su EA sin ningún problema (ver Fig. 6), luego de interactuar en el EVA. Esto permite seguir los principios establecidos en [43], [45], [49] que recomiendan el uso de diseños instruccionales (métodos, herramientas, etc.) que consideren las necesidades del alumno.

A su vez, a un 79.6% de los alumnos no se les dificultó el resolver las lecciones presentadas en cada tópico del curso (ver Fig. 6), o a un 50% las tareas asignadas les parecieron fáciles (ver Fig. 6), y de esta manera se obtuvieron resultados positivos. Esto corrobora lo señalado en [50], [43], [33], [12] que comentan acerca de la necesidad de integrar los sistemas inteligentes en un EVA, ya que aportan a una enseñanza personalizada. En particular, el sistema GREAC gestiona el proceso de aprendizaje en base al perfil de aprendizaje del alumno. Con dicha gestión se obtuvo un resultado positivo, pues al evaluar el SMA, el 92.6% de los alumnos encontró que las actividades presentadas eran de su agrado (ver Fig. 6), y además, el 90.7% de los alumnos les gustaría utilizar el SMA GREAC como parte de un EVA (ver Fig. 6). Así, el SMA realizó una buena gestión en el SaCI, tal y como se describe en [25]

Como se comentó antes, en la Tabla I se realiza una comparación de los trabajos relacionados (sección II), y el prototipo SMA GREAC es el único trabajo diseñado considerando las seis características allí indicadas.

VII. CONCLUSIONES

El principal aporte de la investigación fue diseñar un Sistema de “Gestión de Recursos y Actividades” (llamado GREAC) para EVAs, que considera el EA del alumno para adaptarse, usando el paradigma de SMA para el desarrollo del prototipo. Otros aportes de la investigación son que el prototipo GREAC se desarrolló utilizando la metodología de agentes Prometheus en conjunto con el middleware Jade, y que la implementación se realizó en el LMS Moodle 3.6 (objetivo 1 y 2). Además, se realizó la validación académica para medir el grado de efectividad, eficiencia y satisfacción del alumno en relación con el uso de GREAC, utilizando un método de experimentación y encuesta, comprobando que el uso de nuestro SMA en conjunto con un EVA en un SaCI, apoya al proceso de enseñanza-aprendizaje, debido a que existe un nivel alto de satisfacción,

ya que el 92.6% de los usuarios están de acuerdo de que en un EVA, se utilice un SMA que identifique su EA (objetivo 3).

Clásicamente, un SaCI es un enfoque centrado en los estudiantes, que apoya su proceso de aprendizaje independientemente del área de conocimiento. Para ello, un SaCI explota sus diferentes tipos de componentes, tanto de hardware (pizarras inteligentes, proyectores, cámaras, entre otros), como de software (sistemas tutoriales inteligentes, sistemas de aprendizaje colaborativo apoyado por computador, entornos virtuales de aprendizaje, entre otros) [6], para proveer un entorno adecuado de aprendizaje. En este primer trabajo se exploró GREAC en un curso donde se debía desarrollar habilidades de escritura. Próximos experimentos deberán explorar otros entornos de formación, como el desarrollar habilidades de programación, matemáticas, entre otras. En principio, en estos otros entornos, mientras se puedan virtualizar las experiencias a desarrollar (por ejemplo, la programación con entornos como los cuadernos jupyter) pareciesen propensos para el uso de herramientas como GREAC.

Como trabajos futuros, se plantea implementar al prototipo GREAC como un servicio Web, que pueda ser integrado en cualquier EVA independientemente de su plataforma [51]. También, puede ser implementado en un smart-campus, que considere la gestión de recursos y actividades de manera adaptativa y de inclusión [52]. Otros trabajos futuros deberán insertar GREAC en ciclos autónomos de analítica de datos para entornos como SaCI [53], [54] para explotar sus bondades en el mejoramiento de las capacidades autoorganizativas de SaCI. Finalmente, otros trabajos deberán evaluar el uso de GREAC en plataformas de educación virtual personalizada [56], [57], algo fundamental en el contexto de la transformación digital.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de las actividades académicas y de investigación del Grupo de Investigación GITIC, agradecemos al profesorado, autoridades y alumnado de la Carrera de Ingeniería en Sistemas/Computación de la Universidad Nacional de Loja (UNL).

REFERENCIAS

- [1] T. Moreno Olivos, *Evaluación del aprendizaje y para el aprendizaje: reinventar la evaluación en el aula*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa, 2016.
- [2] J. de la F. Arias, J. M. Martínez Vicente, F. J. Peralta Sánchez, and A. B. García Berbén, “Percepción del proceso de enseñanza-aprendizaje y rendimiento académico en diferentes contextos instruccionales de la Educación superior,” *Psicothema*, vol. 22, no. 4, pp. 806–812, 2010.
- [3] P. M. Domínguez Osuna, M. A. Oliveros Ruiz, and M. A. Coronado Ortega, “Casos y retos de la educación 4.0,” *Innovación Educativa*, vol. 19, no. 1665-2673, pp. 1–24, 2019.
- [4] L. J. Aguilar, *Industria 4-0: la cuarta revolución industrial*, 1a. ed. Bogotá: Alfaomega, 2017.
- [5] M. Sánchez, J. Aguilar, and E. Exposito, “Integración SOA-MAS en Ambientes Inteligentes,” *DYNA*, vol. 85, no. 206, pp. 268–282, 2018.
- [6] L. Chamba and J. Aguilar, “Design of an augmented reality component from the theory of agents for smart classrooms,” *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 8, pp. 3826–3837, 2016.
- [7] J. Aguilar, P. Valdiviezo, J. Cordero, and M. Sánchez, “Conceptual design of a smart classroom based on multiagent systems,” in *International Conference on Artificial Intelligence*, 2015, pp. 471–477.

- [8] B. Gross, "La inteligencia artificial y su aplicación en la enseñanza," *Comunicación, Lenguaje y Educación*, vol. 4, no. 13, pp. 73–80, Jan. 1992.
- [9] Y. Ocaña-Fernández, L. A. Valenzuela-Fernández, and L. L. Garro-Aburto, "Inteligencia artificial y sus implicaciones en la educación superior," *Propósitos y Representaciones*, vol. 7, pp. 536–568, 2019.
- [10] F. Pedró, M. Subosa, A. Rivas, and P. Valverde, *Artificial intelligence in education: challenges and opportunities for sustainable development*. Paris: UNESCO, 2019.
- [11] L. Sheremetov, G. Núñez, and A. Guzmán, "Tecnologías de inteligencia artificial y de agentes computacionales en la educación: el proyecto EVA," *Revista Academia*, vol. 23, pp. 45–53, 1999.
- [12] L. N. Medina Velandia and L. A. Plazas-Gómez, "Agentes inteligentes y modelo VARK, proponen estrategias de aprendizaje según la manera en que asimila un individuo," *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 13, pp. 11–19, 2018.
- [13] C. S. González, "Sistemas inteligentes en la educación: una revisión de las líneas de investigación y aplicaciones actuales," *RELIEVE. Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa*, vol. 10, no. 1, pp. 3–22, 2004.
- [14] D. A. O. Carranza, J. A. J. Builes, and R. M. Viccari, "Sistemas de Enseñanza/Aprendizaje basados en Agentes Inteligentes Pedagógicos," *Revista Avances en Sistemas e Informática*, vol. 2, no. 2, pp. 17–26, 2005.
- [15] C. I. Peña, J. L. Marzo, J. L. De la Rosa, and R. Fabregat, "Un sistema de tutoría inteligente adaptativo considerando estilos de aprendizaje," *Revista UIS Ingenierías*, vol. 1, no. 2, pp. 17–29, 2002.
- [16] M. F. C. Piñeres, J. Hernández, and J. A. J. Builes, "Diseño de un sistema de recomendación en repositorios de objetos de aprendizaje basado en la percepción del usuario: Caso Rodas," *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 21, no. 1, pp. 51–72, 2011.
- [17] Z. Cataldi, P. Calvo, F. A. Salgueiro, and F. J. Lage, "Diseño de Sistemas Tutores Inteligentes con tecnología de agentes: Los agentes Docentes en el módulo tutor," *Revista Eletrónica de Sistemas de Informação*, vol. 6, no. 1, pp. 1–9, 2007.
- [18] A. Casali, C. Deco, and C. Bender, "Sistemas de información inteligentes en educación: generación, búsqueda y ensamble de objetos de aprendizaje," in *XII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 2010, pp. 710–714.
- [19] G. Mendez and A. de Antonio, "Using intelligent agents to support collaborative virtual environments for training," *WSEAS Transactions on Computers*, vol. 4, no. 10, pp. 1373–1380, 2005.
- [20] R. Cunha, "Development of a Graphical Tool to integrate the Prometheus AEOLus methodology and Jason Platform," *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, vol. 6, no. 4, pp. 41–54, 2017.
- [21] J. Aguilar, I. Bessembel, M. Cerrada, F. Hidrobo, and F. Narciso, "Una metodología para el Modelado de Sistemas de Ingeniería Orientado a Agentes," *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, vol. 12, no. 38, pp. 39–60, 2008.
- [22] R. A. G. Rivera and L. F. W. Silva, "Hacia la integración de un sistema de información geográfico y una simulación basada en agentes," *Tecnura*, vol. 17, pp. 141–154, 2013.
- [23] J. A. O. Carrillo, "E-Learning inteligente y adaptativo, un paso más hacia la humanización y la inclusión educativa," *Revista científica electrónica de Educación y Comunicación en la Sociedad del Conocimiento*, vol. 14, no. 2, pp. 1–5, 2015.
- [24] L. A. P. Guevara, J. M. R. Vera, and L. E. M. Villegas, "Modelo de un sistema multiagente para proveer ayudas adaptativas en ambientes virtuales de aprendizaje," *Respuestas*, vol. 18, no. 2, pp. 102–111, 2013.
- [25] M. Sánchez, J. Aguilar, J. Cordero, and P. Valdiviezo, "Basic features of a reflective middleware for intelligent learning environment in the cloud (IECL)," in *Asia-Pacific Conference on Computer Aided System Engineering*, 2015, pp. 1–6.
- [26] A. M. Rodríguez García, "Análisis de competencias digitales adquiridas en el grado de educación primaria y su adecuación para el desempeño de una labor docente de calidad en Andalucía," tesis doctoral, Univ. Granada, 2019.
- [27] O. M. Salazar-Ospina, P. A. Rodríguez-Marín, D. A. Ovalle-Carranza, N. D. Duque-Méndez, O. M. Salazar-Ospina, P. A. Rodríguez-Marín, D. A. Ovalle-Carranza, and N. D. Duque-Méndez, "Personalized adaptive interfaces for supporting recommendation from learning object repositories," *Tecnura*, vol. 21, no. 53, pp. 107–118, 2017.
- [28] F. E. Berrú Ramírez, "Agente recomendador para dar soporte al estudiante en el desarrollo de actividades de aprendizaje," trabajo de fin de titulación, Univ. Tec. Part. Loja, 2014.
- [29] C. E. Rojas Pérez, "Definición de un prototipo de un sistema recomendador para las evaluaciones a distancia, en un sistema e-learning," trabajo de fin de titulación, Univ. Tec. Part. Loja, 2014.
- [30] P. Montuschi, F. Lamberti, V. Gatteschi, and C. Demartini, "A semantic recommender system for adaptive learning," *IT Professional*, vol. 17, no. 5, pp. 50–58, 2015.
- [31] B. V. Jaramillo Galárraga, "Propuesta de Sistema de Apoyo al Aprendizaje (SAPA) aplicado a las materias de Inteligencia Artificial y Arquitectura de Computadores que se dictan en la Titulación de Ingeniería en Informática, en la modalidad de estudios a distancia de la Universidad Técnica Particular de Loja," trabajo de fin de titulación, Univ. Tec. Part. Loja, 2014.
- [32] V. Gascó Ortiz, "Agente recomendador en Jason," trabajo fin de grado, Univ. Pol. Valencia, 2014.
- [33] O. M. Salazar Ospina, "Modelo de Sistema Multi-Agente ubicuo, adaptativo y sensible al contexto para ofrecer recomendaciones personalizadas de recursos educativos basado en ontologías," trabajo de fin de maestría, Univ. Nac. Colombia, 2014.
- [34] O. M. Salazar, D. A. Ovalle, and N. D. Duque, "Sistema Multi-Agente para Recomendación de Recursos Educativos utilizando Servicios de Awareness y Dispositivos Móviles," in *IX Conferencia Latinoamericana de Objetos y Tecnologías de Aprendizaje*, 2014, pp. 73–82.
- [35] V. Tabares Morales, J. C. Cortes Reyes, and N. D. Duque Méndez, "Sistema multi-agente para la gestión de objetos de aprendizaje en FROAC," *Novum*, no. 5, pp. 36–48, 2015.
- [36] P. A. Rodríguez M, G. Isaza, and N. D. Duque, "Búsqueda personalizada en Repositorios de Objetos de Aprendizaje a partir del perfil del estudiante," *Revista Avances Investigación en Ingeniería*, vol. 9, no. 1, pp. 73–83, 2012.
- [37] L. Machuca, P. Rodríguez, "Arquitectura Multiagente para un Sistema e-learning centrado en la enseñanza de idiomas," *Nuevas Ideas en Informática Educativa*, vol. 5, pp. 83–91, 2009.
- [38] R. Jalil Ángulo, E. Morales Martínez, and T. Copa Fernández, "Sistema multi-agente para el análisis del comportamiento de los usuarios de un sistema e-learning," *Revista Ventana Científica*, vol. 5, no. 9, pp. 52–60, 2015.
- [39] M. L. Roloff, M. R. Stemmer, J. F. Hübner, R. Schmitt, T. Pfeifer, and G. Hüttemann, "A multi-agent system for the production control of printed circuit boards using JaCaMo and Prometheus AEOLus," in *12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 2014, pp. 236–241.
- [40] F. Bellifemine, F. Bergenti, G. Caire, and A. Poggi, "Jade — A Java Agent Development Framework," in *Multi-Agent Programming. Multiagent Systems, Artificial Societies, and Simulated Organizations (International Book Series)*, R. H. Bordini, M. Dastani, J. Dix, and A. El Fallah Seghrouchni, Eds. Boston, MA: Springer US, 2005, pp. 125–147.
- [41] M. G. Bocco, J. A. C. Lemus, and M. G. P. Velthuis, *Métodos de investigación en ingeniería del software*. Madrid: Ra-Ma, 2014.
- [42] J. Thangarajah, L. Padgham, and M. Winikoff, "Prometheus Design Tool," in *Proceedings of the Fourth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 2005, pp. 127–128.
- [43] J. García Cortés, "Sistema de Planificación inteligente para la generación de los contenidos personalizados en el entorno virtual de aprendizaje Moodle," trabajo fin de grado, Univ. Pol. Valencia, 2014.
- [44] D. V. Niquinga Vargas, "Estudio de la importancia de aplicar nuevas tecnologías educativas web 2.0 en la plataforma Moodle para medir el rendimiento académico de los estudiantes, aplicación práctica de un curso virtual en el Colegio Instituto Tecnológico "Benito Juárez"," trabajo de fin de titulación, Univ. FF.AA ESPE, 2015.
- [45] C. Aimañana, D. Pástor, G. Arcos-Medina, B. Vaca, and A. Oñate, "Instructional Design Methodological Proposal for the Training of Online Content Tutors," in *Ibero-American Symposium on Computer Programming jointly held with the International Congress on Technology Education and Knowledge Management, KnE Engineering*, 2018, pp. 204–220.
- [46] A. Gómez Jara, "Sistema multiagente para la gestión de recursos y actividades en un entorno virtual de aprendizaje," trabajo de fin de titulación, Univ. Nac. Loja, 2019.
- [47] R. Jalil Angulo, "Simulación de uso del Sistema SMACUS en la UAJMS," *Ciencia Sur*, vol. 2, no. 3, pp. 26–34, 2016.
- [48] S. B. J. Silva, V. P. Machado, and F. N. C. Araújo, "Sistema Tutor Inteligente baseado em Agentes na plataforma MOODLE para Apoio as Atividades Pedagógicas da Universidade Aberta do Piauí," in *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, 2014, pp. 592–600.

- [49] L. M. Espinal Fuentes, G. Garza Díaz, M. de J. Beltrán Hernández, P. del C. Marcué Jiménez, and V. Salinas Urbina, "Curso en línea basado en modalidad instruccional ADDIE y Prototipización rápida," *Revista de Investigación Educativa del Tecnológico de Monterrey*, vol. 9, no. 18, pp. 2–10, 2019.
- [50] S. A. Cardona Torres, J. B. Vélez Ramos, and S. Jaramillo Valbuena, "Adaptive virtual learning environment for assessment management," *Espacios*, vol. 39, no. 20, pp. 1–16, 2018.
- [51] M.-I. Dascalu, C.-N. Bodea, A. Moldoveanu, A. Mohora, M. Lytras, and P. O. de Pablos, "A recommender agent based on learning styles for better virtual collaborative learning experiences," *Computers in Human Behavior*, vol. 45, pp. 243–253, 2015.
- [52] J. A. Niño Vega, R. A. Morán Borbor, and F. H. Fernández Morales, "Educación inclusiva: Un nuevo reto para la labor docente en el siglo XXI," *Revista Infometric@-Serie Ciencias Sociales y Humanas*, vol. 1, no. 2, pp. 74–94, 2018.
- [53] J. Aguilar, M. Sánchez, J. Cordero, P. Valdiviezo-Díaz, L. Barba-Guamán, and L. Chamba-Eras, "Learning analytics tasks as services in smart classrooms," *Universal Access in the Information Society*, vol. 17, no. 4, pp. 693–709, 2018.
- [54] J. Aguilar, J. Cordero, and O. Buendía, "Specification of the autonomic cycles of learning analytic tasks for a smart classroom," *Journal of Educational Computing Research*, vol. 56, no. 6, pp. 866–891, 2018.
- [55] J. Aguilar, C. Cerrada, F. Hidrobo. A Methodology to Specify Multiagent Systems". *Lecture Notes in Computer Science*, vol 4496, pp. 92-101, 2007.
- [56] L. González-Palacio, J. M. García-Giraldo, J. Cuatindioy-Imbachi, M. A. Luna-Del Risco, D. Arango-Medina, and D. Torres-Bedoya, "Educación virtual personalizada a estilos de aprendizaje y ABP: Una aproximación basada en redes neuronales," in *CICIC 2020 - Decima Conferencia Iberoamericana de Complejidad, Informatica y Cibernetica, Memorias*, 2020, pp. 203–208.
- [57] D. Arango-Medina, "Plataformas virtuales que reconocen estilos de aprendizaje y permiten el despliegue de metodología Aprendizaje Basado en Problemas -ABPV," in *Proceedings of CISTI 2020 - 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*, 2020.
- [58] P. Arevalo-Marin, "Minería de datos educativa para identificar la relación entre cociente intelectual, estilos de aprendizaje, inteligencia emocional e inteligencias múltiples de estudiantes de ingeniería," *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, no. E17, pp. 48–63, 2019.



Aguilár Jose graduado en Ingeniería de Sistemas en 1987 en la Universidad de Los Andes (ULA), M. Sc. En Ciencias de la Computación en 1991 (Université Paul Sabatier-Francia), Doctorado en Ciencia de la Computación en 1995 (Université Rene Descartes- Francia). Postdoctorado en Ciencias de Computación en la Universidad de Houston en 2000, en el

Laboratoire d'Automatique et Analyses de Systèmes-CNRS, Toulouse-France en 2011, y actualmente realizando otra estancia postdoctoral en la Universidad de Alcalá, España. Profesor Titular de la ULA y contratado en la Universidad EAFIT, Colombia. Ha publicado más de 600 artículos científicos en revistas científicas, libros y actas de congresos internacionales.



Gómez, Adriana es Ingeniera en Sistemas en el 2019 por la Universidad Nacional de Loja (UNL). Sus intereses en investigación se centran en eLearning e inteligencia artificial aplicada a la educación.



Chamba Luis es Ingeniero en Sistemas Informáticos y Computación en el 2006 por la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), Máster en Ingeniería Computacional y Sistemas Inteligentes en el 2011 por la Universidad del País Vasco-España, Magíster en Educación a Distancia en el 2016 por la Universidad Nacional de Loja (UNL), PhD en Ingeniería

Informática en el 2017 por la Universidad del País Vasco-España. Es profesor titular de la UNL. Es líder del Grupo de Investigación en Tecnologías de la Información y Computación (GITIC), miembro del Grupo de Investigación GaLan de la UPV/EHU, participante de la Red Académica SINERGIA, de la Red Loja Investiga y de la Red Tepuy.