



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Modelo de aprendizaje colaborativo basado en ontologías, agentes inteligentes y servicios de awareness

Collaborative learning model based on ontologies, intelligent agents and awareness services

Santiago Álvarez Lebrum

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión

Medellín, Colombia

2019

Modelo de aprendizaje colaborativo basado en ontologías, agentes inteligentes y servicios de awareness

Collaborative learning model based on ontologies, intelligent agents and awareness services

Santiago Álvarez Lebrum

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Sistemas

Director:

Ph.D. Demetrio Arturo Ovalle Carranza

Codirector:

Ph.D. (c) Oscar Mauricio Salazar Ospina

Línea de Investigación:

Inteligencia Artificial

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial – GIDIA

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión.

Medellín, Colombia

2019

Dedicado a aquellas personas que siempre creen en mí, a todos los que permanecen a mi lado y me motivan diariamente a ser una mejor persona, a los que dejan semilla en mi ser con su ejemplo e impulsan mi crecimiento académico y profesional.

Agradecimientos

Por medio de estas líneas quiero en primera instancia agradecer a Dios por haberme permitido participar de tan valioso proceso de investigación, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas. Agradezco a mis padres, a mi hermano y muy especialmente a mi pareja por motivarme, apoyarme y entenderme incondicionalmente en este proceso que requiere de tanta paciencia y perseverancia. A mis amigos por acompañarme siempre con una voz de aliento para continuar y no rendirme en el camino. Gracias infinitas a la Universidad Nacional de Colombia por brindarme los conocimientos y valores necesarios para lograr mis metas académicas.

Un inmenso y especial agradecimiento a mi profesor y director de tesis Demetrio Arturo Ovalle Carranza, a mi amigo y codirector Oscar Mauricio Salazar Ospina; con su experiencia, conocimiento, paciencia, ejemplo y motivación me orientaron increíblemente en mi proceso investigativo.

Finalmente, quiero agradecer de forma general a todas las personas que se han cruzado en mi camino y han iluminado mi vida para lograr mis objetivos.

Resumen

Durante los últimos años, se ha evidenciado un crecimiento en la ejecución de las actividades colaborativas en las aulas de clase, esto debido a la intención que tienen los profesores en potenciar la interacción entre estudiantes, y diversificar los procesos de adquisición y generación de conocimiento, aprovechando las ventajas de los entornos de aprendizaje colaborativo. Sin embargo, no existe un mecanismo efectivo que permita integrar una detección y diagnóstico temprano de fallas de aprendizaje, con un modelo que integre, evalúe y motive a interactuar a los estudiantes en diferentes etapas del proceso para así mejorar el aprendizaje. El objetivo de esta tesis de maestría, es proponer y validar un modelo basado en la integración de diferentes técnicas de la Inteligencia Artificial, como ontologías, agentes inteligentes de software y servicios de Awareness. Lo anterior, con el fin de solventar problemáticas que aún persisten en el aprendizaje colaborativo. La metodología empleada incluye una representación de conocimientos basada en un modelo ontológico, el cual permite generar inferencias para la recomendación más acertada de recursos educativos a partir de las fallas cognitivas detectadas en cada estudiante durante el desarrollo de una actividad colaborativa. Por otra parte, el modelo incorpora agentes inteligentes con el fin de brindar características de adaptabilidad, distribución de tareas y proactividad en los procesos de recomendación de recursos educativos. Adicionalmente, se incluyen servicios de Awareness con el objetivo de sensibilizar en tiempo real y crear consciencia en los estudiantes sobre el desempeño propio y de su equipo de trabajo. La validación del modelo fue realizada a través de la implementación de un juego serio colaborativo aplicado a un caso de estudio. Así mismo, se realizó la evaluación del desempeño a través de métricas aplicadas al prototipo implementado. Los resultados obtenidos evidencian los beneficios de integrar las tecnologías previamente mencionadas para optimizar los procesos de aprendizaje colaborativo.

Palabras clave: detección de fallas cognitivas, aprendizaje colaborativo soportado por computador, agentes inteligentes, ontologías, juegos serios, servicios de awareness.

Abstract

During the last few years, there has been a growth in execution of collaborative activities within classrooms. The last, due to the teachers' intention to enhance interaction between students, and to diversify the processes of knowledge acquisition and knowledge generation in order to take advantage of collaborative learning environments. However, there is no effective mechanism to integrate early detection and diagnosis of learning failures, with a model which evaluates and motivates students to interact at different stages of the process flow in order to improve learning. The objective of this master's thesis is to propose and validate a model based on the integration of different Artificial Intelligence techniques, such as ontologies, intelligent software agents and Awareness Services. The above, in order to solve problems that still persist in collaborative learning. The methodology used includes a representation of knowledge based on an ontological model, which allows to generate inferences for the most accurate recommendation of educational resources from the cognitive failures detected in each student during the development of a collaborative activity. On the other hand, the model incorporates intelligent agents in order to provide adaptability characteristics, tasks distribution and proactivity in the educational resources recommendation. Additionally, Awareness services are included with the aim of raise awareness in real time and to create awareness among students about their own performance and their work team. The model validation was carried out through the implementation of a serious collaborative game applied into real environment. Likewise, the performance evaluation was carried out through metrics applied to the implemented prototype. The obtained results show the benefits to integrate the previously mentioned technologies in order to optimize collaborative learning processes.

Keywords: detection of cognitive failures, computer-supported collaborative learning, intelligent agents, ontologies, serious games, awareness services

Contenido

	Pág.
Agradecimientos	VII
Resumen	IX
Abstract.....	XI
Lista de figuras.....	XVI
Lista de tablas	XIX
Lista de abreviaturas.....	XX
Introducción	1
1. Presentación de la tesis.....	3
1.1 Problemática.....	3
1.2 Hipótesis.....	4
1.3 Pregunta de investigación.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Alcance.....	6
1.6 Metodología utilizada	7
1.7 Cumplimiento de los objetivos	9
1.8 Principales contribuciones logradas.....	10
1.9 Difusión de resultados	11
1.9.1 Artículos en revistas.....	11
1.9.2 Ponencias en eventos nacionales e internacionales	12
1.9.3 Participación en proyectos de investigación	15
1.10 Organización del documento	15
2. Marco teórico.....	17
2.1 E-learning	17
2.2 Aprendizaje colaborativo.....	17
2.3 Aprendizaje colaborativo apoyado por computador	18
2.4 Objetivos educacionales, fortalezas y fallas (debilidades) cognitivas	19
2.5 Perfiles de equipo	19
2.6 Recursos educativos y Objetos de Aprendizaje	20
2.7 Ontologías y Web Semántica para la representación del conocimiento	20

2.8	Sistemas multi-agente	21
2.9	Sistemas de recomendación	22
2.10	Contexto, sensibilidad y servicios de awareness	22
2.11	Juegos serios	23
2.12	Conclusiones del capítulo.....	25
3.	Estado del arte	27
3.1	Comparación de trabajos relacionados	46
3.2	Conclusiones del capítulo.....	48
4.	Modelo propuesto.....	49
4.1	Esquema para el desarrollo de actividades colaborativas	49
4.2	Modelo de juego serio colaborativo	53
4.2.1	Descripción general	53
4.2.2	Reglas y definición de conceptos asociados al juego.....	56
4.2.3	Modelo de reconocimiento al buen desempeño.....	59
4.3	Modelo de servicios de awareness.....	60
4.4	Modelo de representación ontológica del dominio asociado a las actividades del entorno colaborativo.....	61
4.4.1	Fase de especificación	62
4.4.2	Fase de conceptualización	62
4.4.3	Fase de formalización e implementación	70
4.5	Modelo multi-agente colaborativo	70
4.5.1	Fase de especificación del sistema.....	72
4.5.2	Fase de diseño de la arquitectura.....	77
4.5.3	Fase de diseño detallado	79
4.6	Conclusiones del capítulo.....	80
5.	Implementación y validación del prototipo.....	81
5.1	Desarrollo del aplicativo Web	82
5.1.1	Especificación de requerimientos funcionales del prototipo como historias de usuario.....	83
5.1.2	Diseño y construcción del modelo de datos del prototipo.....	86
5.1.3	Diseño gráfico de pantallas y construcción del prototipo	87
5.2	Integración de los servicios de awareness	94
5.3	Desarrollo e integración de la plataforma multi-agente	97
5.4	Integración de la ontología en el aplicativo	99
5.5	Validación del prototipo implementado	100
5.5.1	Validación general del modelo y prototipo implementados.....	101
5.5.2	Efectividad en la detección de fallas y asignación de recursos educativos recomendados para cada estudiante	103
5.5.3	Nivel de adaptación de la evaluación final acumulativa generada para cada estudiante	105
5.5.4	Validación de los servicios de awareness	107
5.5.5	Validación de conocimientos obtenidos haciendo uso del juego en comparación con el uso de una metodología tradicional de aprendizaje.....	111
5.6	Conclusiones del capítulo.....	112
6.	Conclusiones y trabajo futuro	115
6.1	Conclusiones y aportes de la investigación	115
6.2	Trabajo futuro.....	117

A. Anexo: Caso de estudio para el desarrollo del proceso de validación	119
Referencias bibliográficas	129

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Nivel de reto vs. habilidad. Tomada de [31].	24
Figura 3-1: Descripción del QAS propuesto. Tomado de [34].	28
Figura 3-2: Arquitectura del sistema SMAASA propuesto. Tomado de [35].	30
Figura 3-3: Diagrama de comunicación entre el profesor y los estudiantes a través de Edutab box. Tomado de [36].	32
Figura 3-4: Principales elementos y capturas de pantalla del prototipo del juego. Tomado de [37].	33
Figura 3-5: Arquitectura del juego serio colaborativo soportado por agentes inteligentes de software. Tomado de [41].	35
Figura 3-6: Arquitectura funcional de TANGO:H. Tomado de [42].	37
Figura 3-7: Modelo propuesto de criterios e instrucciones para llevar una discusión correcta en un entorno de aprendizaje colaborativo. Tomado de [45].	39
Figura 3-8: Interfaz de evaluación por pares de 3D MCLS presentada al profesor. Tomado de [46].	40
Figura 3-9: Diagrama de flujo del juego. Tomado de [32].	42
Figura 3-10: Modelo de arquitectura del sistema EOLO. Tomado de [48].	43
Figura 3-11: Solución propuesta por los estudiantes en Concordia. Tomado de [49].	45
Figura 4-1: Diagrama de flujo propuesto para el desarrollo de actividades colaborativas. Extendido y adaptado del método de aprendizaje JigSaw [50].	50
Figura 4-2: Diagrama del proceso del modelo de juego serio colaborativo.	54
Figura 4-3: Tareas correspondientes a la fase de conceptualización de Methontology. Tomado y adaptado de [19].	63
Figura 4-4: Taxonomía de conceptos de la ontología.	65
Figura 4-5: Diagrama de relaciones binarias de la ontología.	65
Figura 4-6: Ontología generada con la herramienta Protégé.	70
Figura 4-7: Modelo del SMA colaborativo propuesto que integra el SMA con los componentes ontológicos, la base de datos y el sistema externo de OAs.	71
Figura 4-8: Artefactos proporcionados por PDT.	72
Figura 4-9: Fases, artefactos y relaciones en el proceso de diseño de arquitectura del SMA. Fase de especificación del sistema. Tomado de [60].	72
Figura 4-10: Vista general del diagrama de análisis del SMA para la ejecución de actividades colaborativas.	74
Figura 4-11: Vista del diagrama jerárquico de objetivos del SMA para la ejecución de actividades colaborativas.	75

Figura 4-12: Vista general del diagrama de escenarios del SMA. 76

Figura 4-13: Vista general de roles del SMA. Detalle de rol para la presentación de servicios de awareness. 76

Figura 4-14: Fases, artefactos y relaciones en el proceso de diseño de arquitectura del SMA. Fase de diseño de la arquitectura. Tomado de [60]. 77

Figura 4-15: Diagrama de resumen de acoplamiento de datos. 78

Figura 4-16: Fases, artefactos y relaciones en el proceso de diseño de arquitectura del SMA. Fase de diseño detallado. Tomado de [60]. 80

Figura 5-1: Logo aplicativo COLEGA. 81

Figura 5-2: Modelo entidad-relación del aplicativo COLEGA. 86

Figura 5-3: Interfaz de inicio de nueva partida de COLEGA. 87

Figura 5-4: Interfaz de preparación de inicio de COLEGA. 88

Figura 5-5: Interfaz principal de COLEGA. 89

Figura 5-6: Interfaz intermedia de acierto luego de contestar pregunta. 89

Figura 5-7: Interfaz intermedia de fallo luego de contestar pregunta. 90

Figura 5-8: Interfaz final de ronda de preguntas con presentación de resultados y estadísticas de COLEGA. 91

Figura 5-9: Interfaz de inicio de sesión de COLEGA. 91

Figura 5-10: Interfaz “Mis notas” que presenta el resumen de notas y recursos recomendados para el estudiante. 92

Figura 5-11: Interfaz “Presentar evaluación” que muestra las preguntas generadas para la presentación de evaluación final acumulativa de un estudiante. 93

Figura 5-12: Interfaz del profesor para gestión de preguntas. 94

Figura 5-13: Servicio de awareness “Visualización de rondas y turnos” integrado. 94

Figura 5-14: Servicio de awareness “Tabla de posiciones equipos” 95

Figura 5-15: Servicio de awareness “Alarmas y notificaciones” integrado. 95

Figura 5-16: Servicio de awareness “Tabla de insignias” integrado. 96

Figura 5-17: Servicio de awareness “Estadísticas de ejecución” integrado. 96

Figura 5-18: Servicio de awareness “Visualización de rondas y turnos” integrado. 97

Figura 5-19: Interfaz gráfica de JADE para la plataforma COLEGA-SMA. 98

Figura 5-20: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con la validación general del modelo y prototipo implementados. 103

Figura 5-21: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con la efectividad en la detección de fallas y asignación de recursos educativos recomendados para cada estudiante. 105

Figura 5-22: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con la efectividad en la detección de fallas y asignación de recursos educativos recomendados para cada estudiante. 107

Figura 5-23: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con la validación de los servicios de awareness (a). 109

Figura 5-24: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con la validación de los servicios de awareness (b). 110

Figura 5-25: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con la validación de los servicios de awareness (c). 111

Figura 5-26: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con el nivel de adquisición de conocimientos de los estudiantes en comparación con las metodologías tradicionales de aprendizaje. 112

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Detalle de las etapas del proyecto.....	7
Tabla 2-1: Tabla comparativa de características asociadas a grupos y equipos de trabajo. Tomada y adaptada de [6].	18
Tabla 3-1: Tabla comparativa de trabajos relacionados.	47
Tabla 4-1: Descripción de las actividades involucradas en las etapas del diagrama de flujo propuesto de actividades colaborativas.	51
Tabla 4-2: Descripción de las etapas del proceso correspondientes al modelo de juego serio colaborativo.	55
Tabla 4-3: Glosario de términos de la ontología propuesta.	64
Tabla 4-4: Diccionario de conceptos.	66
Tabla 4-5: Descripción de relaciones binarias.	67
Tabla 4-6: Descripción de atributos de instancia en detalle.....	67
Tabla 4-7: Reglas SPARQL para la realimentación y detección de fallas cognitivas. .	68
Tabla 5-1: Características técnicas necesarias para el desarrollo del SMA.....	98
Tabla 5-2: Características técnicas necesarias para realizar la integración de la ontología desarrollada.	100
Tabla 5-3: Resultados de la encuesta de percepción asociados con la validación general del modelo y prototipo implementados.....	102
Tabla 5-4: Resultados de la encuesta de percepción asociados con la efectividad en la detección de fallas y asignación de recursos educativos que son recomendados para cada estudiante.....	104
Tabla 5-5: Resultados de la encuesta de percepción asociados con el nivel de adaptación de la evaluación final acumulativa generada para cada estudiante.	106
Tabla 5-6: Resultados de la encuesta de percepción asociados con la validación de los servicios de awareness.	108
Tabla 5-7: Resultados de la encuesta de percepción asociados con el nivel de aprendizaje alcanzado al utilizar esta metodología.....	111

Lista de abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>AC</i>	Aprendizaje Colaborativo
<i>API</i>	Application Programming Interface
<i>BD</i>	Base de Datos
<i>CL</i>	Collaborative Learning
<i>CSCCL</i>	Computer Supported Collaborative Learning
<i>IA</i>	Inteligencia Artificial
<i>IAD</i>	Inteligencia Artificial Distribuida
<i>OA</i>	Objeto de Aprendizaje
<i>SMA</i>	Sistema Multi-Agente

Introducción

La presente investigación se encuentra fundamentada en el reflejo de la necesidad de plantear nuevos modelos de aprendizaje colaborativo apoyado en herramientas TIC (especialmente e-learning) que se adapten y se orienten más a las necesidades, gustos y entorno de los estudiantes (perfil y contexto). Los métodos tradicionales de enseñanza conocidos, los cuales cuentan con clases únicamente magistrales han venido desapareciendo, y con ello se ha dado paso a una nueva era en la que no solo se quiere transmitir conocimiento (de profesor a alumno), sino que también es una gran opción que se genere a partir de debates y discusiones entre los mismos estudiantes (alumnos). Es por lo anterior, que para abordar las necesidades originadas por la misma evolución de las metodologías clásicas de enseñanza-aprendizaje, se decidió aprovechar las tecnologías y enfoques novedosos tales como Modelos de Aprendizaje Colaborativo, Sistemas provenientes de la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD), Sistemas de Recomendación, Servicios de Awareness, Modelos Ontológicos, Juegos Serios, entre otros. Adicionalmente, y en vista de que actualmente no existen herramientas computacionales que integren dichos enfoques, se busca combinarlos con el fin de crear modelos computarizados más robustos que optimicen los procesos de aprendizaje colaborativo.

1. Presentación de la tesis

Este capítulo hace una presentación general de la tesis a partir de la identificación de problemática, la generación de preguntas de investigación, el planteamiento de objetivos de investigación, la metodología propuesta para su alcance, las principales contribuciones y los logros alcanzados.

1.1 Problemática

Por medio de análisis teóricos y revisiones que buscaban realizar una exploración de diversos estudios relacionados con el área de investigación, se ha podido observar la importancia de la existencia de nuevas técnicas que potencien u optimicen los procesos de enseñanza y aprendizaje al interior de las aulas de clase. Asimismo, se ha visto que en las últimas décadas se ha puesto en tela de juicio las técnicas tradicionales de enseñanza, especialmente, por no ser motivadoras ni personalizadas de acuerdo a las necesidades reales de cada estudiante.

En ese sentido, durante los últimos años el trabajo en equipo, especialmente el asociado al aprendizaje colaborativo apoyado por computador, ha sido impulsado por los profesores con el objetivo de ampliar y diversificar los procesos de adquisición y generación de nuevos conocimientos, aprovechando así las ventajas brindadas por los entornos de aprendizaje colaborativo. De esta manera, también se busca que los procesos de aprendizaje sean colaborativos y se trabaje por un objetivo en común que permita generar discusiones y debates al interior de cada equipo, a la vez que se aumentan las capacidades de interacción y se genera conocimiento a partir de un aprendizaje dinámico, colaborativo y social [1].

Aunque esta forma de trabajo posee grandes ventajas, es común encontrar dificultades cuando el profesor quiere identificar y medir el avance, desempeño y aprendizaje individual

y de equipo, ya que comúnmente no todos tienen el mismo compromiso durante el desarrollo de la actividad, los mismos conocimientos, trabajan de igual manera, o lo hacen con la misma intensidad. Por otro lado, se hace difícil para el profesor saber cuáles estudiantes alcanzaron los objetivos de aprendizaje por completo y adecuadamente, y medir el porcentaje de conocimientos adquiridos por los estudiantes o el equipo como tal se convierte en una tarea aún más compleja. Finalmente, es habitual encontrar que en ciertos equipos de trabajo no existe una interdependencia positiva entre sus integrantes, lo cual es un elemento importante que permite avanzar de forma más ágil y coherente en el desarrollo de las actividades de trabajo y aprendizaje.

Dichas problemáticas, sumadas a que no existe una especificación formal de los conceptos inmersos en los entornos de aprendizaje colaborativo, hacen que las actividades realizadas bajo este método desconozcan información relevante sobre los equipos de trabajo presentes en una actividad de clase, tales como el detalle del contexto en que se desenvuelven los estudiantes, la comunicación interna y las debilidades cognitivas de cada individuo que se reflejan en el desempeño del equipo.

1.2 Hipótesis

Para el correcto desarrollo y direccionamiento de la investigación, es de suma importancia realizar un planteamiento de una hipótesis que se encuentre íntimamente ligada con la problemática identificada. En consecuencia, la hipótesis planteada se presenta a continuación:

Es posible diseñar un modelo de Aprendizaje Colaborativo sensible al contexto y enmarcado la integración de diferentes técnicas de inteligencia artificial para potenciar las bondades de los entornos de aprendizaje colaborativo a la vez que realice una detección y diagnóstico temprano de fallas de aprendizaje.

1.3 Pregunta de investigación

A partir de la problemática identificada, la hipótesis planteada y una revisión preliminar del estado del arte, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Es viable integrar diferentes técnicas de inteligencia artificial en un modelo de Aprendizaje Colaborativo sensible al contexto, que realice diagnóstico temprano de fallas de aprendizaje y que potencie las bondades de los entornos de aprendizaje colaborativo?

1.4 Objetivos

A partir de la problemática identificada y de las preguntas generadas que se asocian con el contexto del aprendizaje colaborativo, se plantea un objetivo general el cual se descompone en objetivos específicos con el fin de garantizar el cumplimiento del propósito de esta investigación.

1.4.1 Objetivo general

Diseñar, desarrollar y evaluar un modelo de Sistema Multi-Agente (SMA) basado en Ontologías que permita potenciar el aprendizaje colaborativo mediante la sensibilización del contexto con Servicios de Awareness y recomendación de recursos educativos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los elementos de ontologías, servicios de awareness, perfiles de equipo, sensibilidad al contexto y sistemas de recomendación que se requieren para definir el modelo de aprendizaje colaborativo.
- Identificar los diferentes enfoques existentes para la representación del conocimiento a partir de ontologías y proponer un modelo que integre los elementos de e-learning colaborativo caracterizados previamente.
- Diseñar el modelo de SMA de aprendizaje colaborativo sensible al contexto basado en Servicios de Awareness y recomendación de recursos educativos.
- Implementar un prototipo funcional basado en el modelo de e-learning colaborativo propuesto.
- Evaluar a través de métricas el desempeño del prototipo implementado que permita validar el modelo propuesto, utilizando casos de estudio.

1.5 Alcance

Los resultados directos verificables obtenidos de la consecución de los objetivos planteados para esta investigación, son los siguientes:

- Modelo ontológico de e-learning colaborativo que permita la especificación formal de los conceptos inmersos en los entornos de aprendizaje colaborativo.
- Modelo de SMA de e-learning colaborativo, sensible al contexto basado en servicios de awareness para la recomendación de recursos educativos, el seguimiento y medición de las actividades colaborativas realizadas.
- Prototipo funcional de SMA basado en el modelo de e-learning colaborativo propuesto.
- Evaluación del desempeño del prototipo basado en métricas aplicadas a un caso de estudio.

Es importante resaltar que esta investigación no pretende realizar las siguientes actividades:

- No se proponen algoritmos de conformación de equipos de trabajo colaborativo.
- La tarea de planificación de actividades del equipo no está contemplada como un alcance de esta propuesta.
- No se desarrolla ni se incluye un sistema estructurado de recomendación, por el contrario, para los temas asociados a recomendación de recursos de aprendizaje se hará una simulación de recursos obtenidos de otras fuentes, pero almacenados en una base de datos local.
- Las evaluaciones del seguimiento y medición del desempeño en las actividades de equipo son básicas y por lo tanto no comprenden todos los ítems caracterizados en un sistema de *e-assessment*.

1.6 Metodología utilizada

Con el fin de lograr el cumplimiento de los objetivos específicos previamente planteados, se consideraron 5 etapas a desarrollar dentro del proyecto. Cada etapa se encuentra constituida por una serie de actividades, las cuales estarán encaminadas en la proposición de un modelo que servirá de base para la construcción de un prototipo que finalmente será evaluado a través de métricas en un caso de estudio. El cumplimiento de los objetivos estará garantizado gracias a que en el desarrollo de las etapas se hará uso de diferentes técnicas pertenecientes a la Inteligencia Artificial Distribuida, Sistemas Multi-Agente sensibles al contexto, Sistemas de Recomendación y Ontologías. A continuación, se presenta en la Tabla 1-1 el detalle de cada etapa, sus actividades y el objetivo al que se asocian.

Tabla 1-1: Detalle de las etapas del proyecto.

ETAPA A DESARROLLAR	OBJETIVO QUE SE ALCANZA	DETALLE DE ACTIVIDADES A EJECUTAR
<p>Etapa 1: Estructuración del marco teórico y estado del arte en el ámbito de las ontologías, los sistemas de recomendación sensibles al contexto aplicados a entornos de aprendizaje colaborativo y servicios de awareness relacionados con e-learning.</p>	<p>Caracterizar los elementos de ontologías, servicios de awareness, perfiles de equipo, sensibilidad al contexto y sistemas de recomendación que se requieren para definir el modelo de aprendizaje colaborativo.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisión bibliográfica sobre sistemas computarizados aplicados a entornos de aprendizaje colaborativo. 2. Revisión bibliográfica sobre servicios de awareness, perfiles de equipo, sensibilidad al contexto y sistemas de recomendación. 3. Revisión bibliográfica sobre SMA considerando metodologías de desarrollo, tipologías, herramientas de desarrollo y características de los agentes. 4. Revisión bibliográfica sobre ontologías aplicadas a entornos de aprendizaje colaborativo.
<p>Etapa 2: Diseño y desarrollo de una ontología que permita representar los elementos del dominio.</p>	<p>Identificar los diferentes enfoques existentes de la representación del conocimiento a partir de ontologías y proponer un modelo que integre los elementos de e-learning colaborativo</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisión bibliográfica sobre metodologías existentes para el desarrollo de ontologías que consideren los elementos caracterizados previamente. 2. Determinar el conocimiento que se desea representar a través de la ontología.

ETAPA A DESARROLLAR	OBJETIVO QUE SE ALCANZA	DETALLE DE ACTIVIDADES A EJECUTAR
	caracterizados previamente.	<ol style="list-style-type: none"> 3. Seleccionar una metodología de desarrollo para la construcción de la ontología. 4. Implementar la ontología propuesta a través del modelo, utilizando tecnologías actuales. 5. Evaluar la ontología a través de casos de estudio.
Etapa 3: Diseño del modelo propuesto de aprendizaje colaborativo.	Diseñar el modelo de SMA de aprendizaje colaborativo, sensible al contexto basado en Servicios de Awareness y recomendación de recursos educativos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer los componentes conceptuales fundamentales para el planteamiento del modelo. 2. Caracterizar los elementos del modelo relacionados con el SMA, como las tipologías, características, comportamientos y servicios de los agentes a partir de la metodología de desarrollo seleccionada. 3. Definir los mecanismos e interfaces tanto para la recopilación de la información necesaria como para la publicación de los servicios del modelo. 4. Definir la arquitectura óptima para la integración del modelo de SMA. 5. Caracterizar e integrar con el modelo los elementos necesarios para el manejo de perfiles de usuario individuales y de equipo que permitan la recomendación y la adaptación de la información.
Etapa 4: Desarrollo e implementación del modelo propuesto de aprendizaje colaborativo.	Implementar un prototipo funcional basado en el modelo de e-learning colaborativo propuesto.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Caracterizar las tecnologías y herramientas más apropiadas para la implementación del modelo. 2. Implementar un prototipo a partir del modelo propuesto de acuerdo a las directrices establecidas a través de la metodología. 3. Desplegar los servicios y evaluarlos en las plataformas a las que se orientaron.
Etapa 5: Evaluación del prototipo funcional	Evaluar a través de métricas el desempeño del prototipo implementado que	<ol style="list-style-type: none"> 1. Caracterizar las métricas apropiadas para la evaluación del prototipo. 2. Establecer los casos de estudio necesarios para la evaluación.

ETAPA A DESARROLLAR	OBJETIVO QUE SE ALCANZA	DETALLE DE ACTIVIDADES A EJECUTAR
	<p>permita validar el modelo propuesto, utilizando casos de estudio.</p>	<p>3. Recopilar la información necesaria para la evaluación. 4. Realizar la evaluación del prototipo funcional. 5. Analizar y concluir el comportamiento del prototipo a partir de las pruebas realizadas. 6. Elaborar documentación técnica del proyecto y artículos científicos.</p>

1.7 Cumplimiento de los objetivos

En esta sección, se describe de forma general la manera en la cual fueron abordados los objetivos específicos planteados previamente, lo anterior, en aras de lograr el cumplimiento satisfactorio de cada uno de ellos. En este sentido, al cumplir a cabalidad los objetivos específicos, se asegura el cumplimiento de objetivo general:

- **Objetivo 1 - *Caracterizar los elementos de ontologías, servicios de awareness, perfiles de equipo, sensibilidad al contexto y sistemas de recomendación que se requieren para definir el modelo de aprendizaje colaborativo:*** se realizó una etapa de revisión bibliográfica la cual permitió identificar y recopilar los conceptos y temáticas asociadas a la investigación. De la misma forma, en dicha revisión se logró obtener un listado de trabajos relacionados con los conceptos asociados a este objetivo en el marco de los entornos de aprendizaje colaborativo. En consecuencia, el cumplimiento del objetivo está garantizado a partir de los capítulos 2 (marco teórico) y 3 (estado del arte).
- **Objetivo 2 - *Identificar los diferentes enfoques existentes de la representación del conocimiento a partir de ontologías y proponer un modelo que integre los elementos de e-learning colaborativo caracterizados previamente:*** para dar cumplimiento a este objetivo se realizó una revisión bibliográfica detallada de las metodologías existentes para el desarrollo de ontologías de dominio específico que permitieran la representación del conocimiento en el capítulo 2 (marco teórico). Por otra parte, se delimitó el conocimiento asociado a las actividades de aprendizaje colaborativo y se representó en la ontología. Además, se seleccionó una metodología,

se construyó la ontología y se evaluó con un caso de estudio en los capítulos 4 (modelo propuesto) y 5 (implementación y validación del prototipo).

- **Objetivo 3 - *Diseñar el modelo de SMA de aprendizaje colaborativo sensible al contexto basado en Servicios de Awareness y recomendación de recursos educativos:*** para dar cumplimiento a este objetivo, en el capítulo 4 se definió y presento la estructura y el proceso de construcción de todo el modelo propuesto, tanto del SMA de aprendizaje colaborativo, como de cada uno de los demás componentes asociados al modelo (esquema de para el desarrollo de actividades colaborativas, ontología y servicios de awareness).
- **Objetivo 4 - *Implementar un prototipo funcional basado en el modelo de e-learning colaborativo propuesto:*** en esta etapa se definieron y se seleccionaron las herramientas más adecuadas para la implementación del modelo propuesto. Posteriormente se desarrolló un prototipo funcional a partir de dicho modelo, desarrollando algunos de los componentes más relevantes presentados en el capítulo 4 (modelo propuesto). Finalmente, en el capítulo 5 (implementación y validación del prototipo) se presenta el prototipo funcional desarrollado y se exhiben las características técnicas de su implementación.
- **Objetivo 5 - *Evaluar a través de métricas el desempeño del prototipo implementado que permita validar el modelo propuesto, utilizando casos de estudio:*** para garantizar el cumplimiento de este objetivo, se procedió a aplicar una evaluación de desempeño a partir de métricas al prototipo implementado. Dicha evaluación se realizó apoyada en un caso de estudio real el cual permitió extraer datos e información de la ejecución, satisfacción y viabilidad del prototipo y modelo propuestos.

1.8 Principales contribuciones logradas

El enfoque principal de esta investigación, estuvo relacionado con la optimización de los procesos de aprendizaje colaborativo, más específicamente en definir un modelo que permitiera obtener un mayor provecho de la utilización de los entornos colaborativos en las aulas de clase. De esta manera, se propuso un flujo de ejecución de actividades

colaborativas, el cual estuvo acompañado de un modelo de representación del conocimiento inmerso en dichos entornos, un modelo de agentes inteligentes para brindar al modelo características de distribución, autonomía y proactividad, y un conjunto de servicios de Awareness para sensibilizar a los estudiantes y al profesor durante la ejecución del modelo. Finalmente, dicho modelo fue implementado en un SMA sensible al contexto que logró recomendar recursos educativos basado en el diagnóstico de fallas realizado durante la ejecución de las actividades colaborativas con el modelo.

En consecuencia, el modelo propuesto logró abordar y mitigar las problemáticas identificadas, mejorando y optimizando la ejecución de actividades colaborativas a la vez que motivaba el aprendizaje de los estudiantes y les generaba necesidad de interactuar con su equipo.

En resumen, la presente investigación logró contribuir a nivel conceptual con un modelo de aprendizaje colaborativo que integró ontologías, agentes inteligentes y servicios de awareness para ofrecer un flujo y una forma de llevar a cabo actividades colaborativas. Además, aunque no estaba planteado de manera inicial, se logró diseñar un modelo de juego serio colaborativo que permitió dinamizar la actividad relacionada con el curso, a la vez que motivó a los estudiantes a participar en una competencia sana para ser los ganadores del juego mientras obtenían, generaban y compartían conocimientos. A nivel de aplicación se logró contribuir con un prototipo del juego serio que fue implementado, validado y evaluado a través de métricas de ejecución en un caso de estudio real.

1.9 Difusión de resultados

Con el objetivo de recibir aportes y comentarios por parte de la comunidad investigativa, y de difundir el conocimiento y avances paulatinos logrados durante el desarrollo de la presente investigación, fueron presentados diversos artículos en revistas indexadas y ponencias referentes a las temáticas que aborda la presente tesis. Dichos trabajos son presentados a continuación.

1.9.1 Artículos en revistas

- **Detalle de revista:** Revista Información tecnológica, volumen 29, número 5, pp. 289-298.

- **Título:** Modelo basado en Agentes para la Detección de Fallas Cognitivas en Entornos de Aprendizaje Colaborativo.
- **Autores:** Santiago Álvarez, Oscar Salazar y Demetrio Ovalle.
- **Localidad:** Centro de Información Tecnológica (CIT), La Serena, Chile.
- **Fecha:** octubre, 2018.
- **Detalle de revista:** Revista Vínculos, volumen 13, número 1, pp. 45-55.
 - **Título:** hacia un modelo ontológico de aprendizaje colaborativo basado en agentes.
 - **Autores:** Santiago Álvarez, Oscar Salazar y Demetrio Ovalle.
 - **Localidad:** Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Bogotá, Colombia.
 - **Fecha:** marzo, 2016.

1.9.2 Ponencias en eventos nacionales e internacionales

- **Nombre evento:** LACLO 2019: XIV Conferencia Latinoamericana de Objetos de Aprendizaje.
 - **Título:** Servicios de awareness para apoyar juegos serios en entornos de aprendizaje colaborativo.
 - **Autores:** Santiago Álvarez, Oscar Salazar y Demetrio Ovalle.
 - **Fecha:** octubre, 2019.
 - **Localidad:** San José del Cabo, México.
- **Nombre evento:** CAIP'2019: 14º Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos.
 - **Título:** Modelo de juego serio colaborativo basado en agentes inteligentes para apoyar procesos virtuales de aprendizaje.

-
- **Autores:** Santiago Álvarez, Oscar Salazar y Demetrio Ovalle.
 - **Fecha:** octubre, 2019.
 - **Localidad:** Lima, Perú.
 - **Nombre evento:** CAIP'2017: 13º Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos.
 - **Título:** Modelo basado en Agentes para la Detección de Fallas Cognitivas en Entornos de Aprendizaje Colaborativo.
 - **Autores:** Santiago Álvarez, Oscar Salazar y Demetrio Ovalle.
 - **Fecha:** septiembre, 2017.
 - **Localidad:** Ciudad de México, México.
 - **Nombre evento:** PAAMS 2017: 15th International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems. Workshop on Multiagent System Based Learning Environments – MASLE 2017.
 - **Título:** Multi-agent Model for Failure Assessment and Diagnosis in Teaching-Learning Processes.
 - **Autores:** Oscar Salazar, Santiago Álvarez y Demetrio Ovalle.
 - **Fecha:** junio, 2017.
 - **Localidad:** Sevilla, España.
 - **Memorias del congreso:** PAAMS 2017: Highlights of Practical Applications of Cyber-Physical Multi-Agent Systems pp. 398-408.
 - **Nombre evento:** MIS4TEL 2017: MIS4TEL'17: 7th International Conference in Methodologies and intelligent Systems for Technology Enhanced Learning.
 - **Título:** EOLo: A Serious Mobile Game to Support Learning Processes.

- **Autores:** Oscar Salazar, Santiago Álvarez y Demetrio Ovalle.
- **Fecha:** junio, 2017.
- **Localidad:** Porto, Portugal.
- **Memorias del congreso:** MIS4TEL 2017: Methodologies and Intelligent Systems for Technology Enhanced Learning pp. 118-125.
- **Nombre evento:** CAVA 2016: VIII International Conference of Adaptive and Accessible Virtual Learning Environment.
 - **Título:** Hacia un Modelo de Aprendizaje Colaborativo Soportado por Ontologías, Agentes Inteligentes y Servicios de Awareness.
 - **Autores:** Santiago Álvarez, Oscar Salazar y Demetrio Ovalle.
 - **Fecha:** septiembre, 2016.
 - **Localidad:** Cartagena, Colombia.
- **Nombre evento:** PAAMS 2016: 14th International Conference on Practical Applications of Agents and Multiagent Systems. Workshop on Multiagent System Based Learning Environments – MASLE 2016.
 - **Título:** A Proposal to Integrate Context-Awareness Services to Enhance CSCL Environments Based on Intelligent Agents.
 - **Autores:** Santiago Álvarez, Oscar Salazar y Demetrio Ovalle.
 - **Fecha:** mayo, 2016.
 - **Localidad:** Sevilla, España.
 - **Memorias del congreso:** PAAMS 2016: Highlights of Practical Applications of Scalable Multi-Agent Systems. The PAAMS Collection pp. 407-418.

1.9.3 Participación en proyectos de investigación

- **Nombre proyecto:** RAIM: Implementación de un Framework apoyado en tecnologías móviles y de realidad aumentada para entornos educativos ubicuos, adaptativos, accesibles e interactivos para todos.
 - **Periodo de vinculación:** septiembre de 2016 a febrero de 2017.
 - **Entidad:** Dirección de Investigación de Sede - DIMA, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

1.10 Organización del documento

El presente documento se encuentra organizado tal como se detalla a continuación; en primer lugar, el capítulo 2 presenta y describe los conceptos principales que se encuentran implicados con la problemática y desarrollo de esta investigación. En el capítulo 3 se encuentra la revisión del estado del arte, en la cual se describen y se comparan los trabajos relacionados con las áreas y temáticas abordadas en la investigación. Posteriormente, se presenta en el capítulo 4 el modelo propuesto. La implementación y evaluación que permite validar el prototipo se presenta en el capítulo 5, mientras que en el capítulo 6 se presentan las conclusiones, aportes de la investigación a la comunidad investigativa y el trabajo futuro.

2.Marco teórico

Este capítulo se encuentra enfocado en brindar las principales definiciones correspondientes a las temáticas, conceptos, y áreas de trabajo relacionadas con esta investigación, en aras de dar a conocer en detalle las bases sobre las cuales se construye el modelo de aprendizaje colaborativo.

2.1 E-learning

El concepto de e-learning ha sido definido como “una forma de aprendizaje en la cual todo el material de enseñanza y aprendizaje del curso se encuentra provisto en repositorios en línea, donde la interacción del curso, la comunicación y el curso como tal son mediados por la tecnología” [2]. En otras palabras, es definido como el proceso de proporcionar cursos en línea a través de Internet para que las personas puedan estudiar y aprender desde cualquier lugar y dispositivo informático, utilizando medios electrónicos, información, diferentes tecnologías y plataformas [3]. Las plataformas de e-learning permiten que los estudiantes puedan acceder a material de aprendizaje a través de diferentes dispositivos como computadores portátiles, teléfonos inteligentes y tabletas [4].

2.2 Aprendizaje colaborativo

El aprendizaje colaborativo se define como una técnica de aprendizaje en la cual el principal objetivo es potenciar el aprendizaje individual [5]. Bajo este concepto, es común encontrar los conceptos de “grupo” y “equipo”. Por lo anterior, es muy importante destacar que cuando se habla de un grupo de trabajo no necesariamente se refiere a un conjunto de personas trabajando de forma organizada y en busca de un mismo objetivo. En ese sentido, la Tabla 2-1 presenta algunas de las principales características que existen para la definición de grupo y equipo de trabajo.

Tabla 2-1: Tabla comparativa de características asociadas a grupos y equipos de trabajo. Tomada y adaptada de [6].

GRUPO	EQUIPO
Liderazgo fuerte e individualizado.	Liderazgo compartido.
Responsabilidad individual	Responsabilidad individual y colectiva para alcanzar tanto los objetivos individuales como los del equipo
Enmarca su acción dentro del objetivo global de la organización.	Dentro del marco del objetivo global de la organización, se autoasignan propósitos y metas específicas
Sus resultados son vistos como suma del esfuerzo individual.	Sus resultados se toman y evalúan como producto de un esfuerzo conjunto de sus miembros
El trabajo colectivo se considera como algo inevitable o, incluso, un mal necesario.	El trabajo colectivo se observa como una oportunidad y se disfruta
Los conflictos se resuelven por imposición o evasión.	Los conflictos se resuelven por medio de confrontación productiva.
Se encuentra centrado principalmente en la tarea.	Se centra en la tarea y en el soporte socio - emocional de sus miembros.
No reconoce diferencias de valores, juicios e incompetencias entre sus miembros.	Se reconocen e incorporan las diferencias como una adquisición o capital del equipo.

En conclusión, el trabajo colaborativo debe estar enfocado a equipos de trabajo, donde cada uno de sus miembros sea pieza fundamental para lograr los objetivos.

2.3 Aprendizaje colaborativo apoyado por computador

El aprendizaje colaborativo apoyado por computador o CSCL (por sus siglas en inglés para Computer Supported Collaborative Learning), se define como un campo de investigación dirigido a la "construcción del conocimiento o la resolución de problemas a través del acoplamiento mutuo de dos o más estudiantes en un esfuerzo coordinado a través de herramientas computacionales, internet y comunicaciones electrónicas para sus interacciones" [7]. Al considerar las tres metáforas del aprendizaje, es decir, "el aprendizaje como adquisición", "el aprendizaje como participación" y "el aprendizaje como creación de conocimiento" [8], el aprendizaje colaborativo o CL (por sus siglas en inglés para Collaborative Learning) es uno de los principales enfoques para obtener la creación de conocimiento [9]. Este, además puede influir positivamente en el proceso de aprendizaje

de los estudiantes. Cabe destacar que el CL incluye también el aprendizaje basado en problemas, aprendizaje basado en casos, trabajo en equipo, debates, reflexión y otras formas en las que los estudiantes participan activamente en el proceso de aprendizaje mediante la resolución de tareas en equipo [10]. Por otro lado, como afirma Herrera et al. [11] “el trabajo en equipo es una habilidad fundamental que todos los ingenieros deben tener en su carrera profesional”.

2.4 Objetivos educativos, fortalezas y fallas (debilidades) cognitivas

Los objetivos educativos pueden ser definidos como la expresión de lo que el alumno será capaz de realizar, como resultado del proceso de enseñanza-aprendizaje. En general un objetivo de aprendizaje es la descripción del desempeño que se desea que los estudiantes puedan exhibir antes de considerarlos competentes en un área. Una de las razones para el planteamiento de objetivos es la necesidad de evidenciar que el aprendizaje realmente está ocurriendo o ha ocurrido. De esta manera, el cumplimiento de los objetivos permite observar si la enseñanza está siendo efectiva [12].

A partir de lo anterior, surge para esta investigación el concepto de fallas (debilidades) y fortalezas cognitivas, conceptos englobados como características cognitivas, que bien pueden corresponder a fortalezas o fallas. Dichas características se encuentran estrechamente relacionadas con el cumplimiento de objetivos educativos. Es entonces como el concepto de característica cognitiva (fortaleza o debilidad), nace de la necesidad de detectar cuales objetivos son o no cumplidos, para posteriormente tomar acciones dentro del sistema. En conclusión, las fortalezas o fallas cognitivas son definidas como objetivos que se cumplen o no durante la ejecución de una actividad en un entorno de aprendizaje colaborativo.

2.5 Perfiles de equipo

El concepto de perfiles de equipo se define para esta investigación, y se encuentra estrechamente ligado con las fortalezas y debilidades cognitivas previamente especificadas. Básicamente, el perfil de un equipo está enfocado en brindar una descripción general y estructurada de las características de un equipo de trabajo en el

marco de una actividad colaborativa, donde la descripción del equipo se encuentra dada por el porcentaje de cumplimiento de cada uno de los objetivos al interior del equipo.

2.6 Recursos educativos y Objetos de Aprendizaje

Según la IEEE [13], los Objetos de Aprendizaje (OAs) pueden considerarse como entidades digitales con características de diseño instruccional, que pueden ser usados, reutilizados o referenciados durante el aprendizaje soportado en computador; con el objetivo de generar conocimientos, habilidades, actitudes y competencias en función de las necesidades del alumno. Además, los OAs pueden ser definidos como entidades autodescritas a partir de metadatos estructurados y bien definidos, cuyo principal objetivo es permitir su almacenamiento, recuperación y reutilización por tantos usuarios como sea posible [14].

Es importante destacar que un recurso educativo hace referencia a cualquier elemento (estructurado o no estructurado) que pueda ser utilizado para apoyar el proceso de aprendizaje. De esta manera, un recurso educativo puede corresponder en esta investigación a un OA, un tutor, un documento en línea o incluso un blog de discusión en la Web.

2.7 Ontologías y Web Semántica para la representación del conocimiento

La Web semántica, según Berners-Lee y Hendler [15], “es una extensión de la Web actual en donde la información tiene un significado bien definido, es más entendible por los computadores y en donde las personas pueden trabajar cooperativa y colaborativamente”. En ese sentido, surge de la necesidad de representar formal y semánticamente el conocimiento utilizado en un dominio de aplicación, con el fin de realizar inferencias entre los conceptos involucrados [16], así como de permitir su disponibilidad, accesibilidad y reutilización en Internet a través de sistemas de recuperación y buscadores de información en la Web.

En consecuencia, aparecen las ontologías como el principal medio que permiten representar el conocimiento de la Web de manera formal, estructurada y legible por los

computadores. Específicamente, una ontología corresponde a “una jerarquía de conceptos con atributos y relaciones, la cual define una terminología consensuada para definir redes semánticas de unidades de información interrelacionadas. Ésta, define un vocabulario común para compartir información dentro de un dominio concreto, estando formado dicho vocabulario por clases o conceptos, propiedades o atributos de las clases y relaciones entre clases” [17].

El proceso de desarrollo de una ontología se asemeja al realizado con aplicaciones de software, y así considera las siguientes reglas al momento de abordar su desarrollo: “no existe una manera única y correcta de modelar un dominio, el desarrollo ontológico es un proceso iterativo y los conceptos de la ontología deberán reflejar lo más fielmente posible a los objetos y relaciones del dominio” [18]. De acuerdo a lo anterior, existen numerosas metodologías para el desarrollo de ontologías las cuales brindan un conjunto de herramientas que permiten representar el conocimiento iterativamente y contar con una documentación amplia a través de la cual se pueda migrar, reutilizar o extender la ontología. Una de las metodologías más reconocidas y utilizadas es Methontology [19], la cual comprende un proceso de desarrollo iterativo y permite el desarrollo de ontologías a nivel de conocimiento.

2.8 Sistemas multi-agente

Los agentes inteligentes corresponden a entidades computacionales autónomas y con capacidad para ejecutar tareas y lograr sus metas con un mínimo de supervisión humana o incluso ninguna. Para Caicedo y Weiss [20] son características que deberían poseer los agentes para trabajar efectivamente: a) reactividad: responden inmediatamente a los cambios percibidos en su entorno; b) distribución de tareas: cada agente tiene funcionalidades bien definidas e identifica los problemas a resolver; c) proactividad: los agentes toman iniciativa para la solución de problemas; d) cooperación y coordinación: realizan tareas por medio de intercambio de mensajes con otros agentes a través de un lenguaje común; e) autonomía: los agentes no requieren de la intervención directa de los seres humanos para operar; f) deliberación: cada agente tiene la capacidad de realizar procesos de razonamiento interno los cuales le permitan tomar decisiones; g) movilidad: pueden moverse de un nodo a otro a través de la red; h) adaptación: a partir de los cambios en el entorno cambian su comportamiento y mejoran de esta forma su desempeño, y

finalmente i) paralelismo: el sistema puede mejorar su desempeño a través de la ejecución de tareas realizadas en paralelo por los agentes. De esta forma, los sistemas multi-agente (SMA) se conforman a partir de un conjunto de agentes inteligentes que trabajan conjuntamente e interactúan coordinadamente en un entorno computacional para resolver problemas específicos y de alta complejidad. Según Ovalle et al. [21] este tipo de sistemas ofrecen una gran facilidad de adquisición y procesamiento de información que puede encontrarse altamente distribuida. De esta manera, este paradigma ofrece nuevas maneras para analizar, diseñar e implementar sistemas de software complejos [22].

2.9 Sistemas de recomendación

Los sistemas de recomendación, corresponden a herramientas informáticas que tienen como objetivo principal brindar a sus usuarios resultados de búsqueda adaptados a sus necesidades a partir de las predicciones de las preferencias del usuario, para entregar los ítems que más pueden acercarse a lo que el usuario se encuentra esperando [23]. En este sentido, “los sistemas de recomendación son los aliados de la personalización de sistemas computacionales, principalmente en la web, por su capacidad de identificar preferencias y sugerir ítems relevantes para cada usuario; para ello se necesita de perfiles que almacenen la información y las preferencias de cada usuario” [24] [25].

Es importante destacar que existen muchos tipos y técnicas para la construcción de sistemas de recomendación, sin embargo, todos necesitan una gran cantidad de información sobre los usuarios a quienes se va a entregar recomendaciones, así como recursos de aprendizaje para poder realizar recomendaciones de calidad [26].

2.10 Contexto, sensibilidad y servicios de awareness

Con el objetivo de explicar los conceptos relacionados con esta sección, es necesario referirse de manera inicial a las definiciones del contexto, su consciencia y sensibilidad de un sistema sobre este. Tal como se menciona en [27], el contexto es un grupo de información que se puede usar para definir características de una entidad, donde esa entidad puede ser un usuario, un lugar, o cualquier otro elemento relacionado con el usuario y la aplicación; en términos generales, el entorno. En este sentido, surge la necesidad de definir la consciencia y sensibilidad sobre el contexto, la cual según [28]

corresponde a la habilidad de los sistemas para utilizar la información del contexto con el objetivo de brindar un mejor servicio al usuario. Por otra parte, es importante resaltar que la consciencia del contexto es esencial en los entornos de aprendizaje [29].

El concepto de servicios de Awareness, se usa en entornos de aprendizaje, sobretodo, con el fin de proporcionar a un aprendiz la consciencia del contexto durante el desarrollo de una actividad de aprendizaje. Es allí donde surgen los servicios de Awareness, que básicamente permiten conectar el contexto con un sistema informático a partir de la recopilación de datos, brindando características de sensibilidad y consciencia del contexto al sistema. De esta manera, dicho aprendiz, quien bien puede ser considerado como un estudiante, se sensibiliza no solo del desempeño de su trabajo individual, sino que al mismo tiempo crea consciencia del apoyo que debe brindar al desempeño de su equipo de trabajo (en caso de estar inmerso en un entorno de aprendizaje colaborativo). Ahora bien, en los entornos colaborativos, es frecuente que los estudiantes no puedan ver, escuchar, o ni siquiera llegar a percibir cada una de las acciones de su compañero de trabajo. En este tipo de entornos, estas habilidades de consciencia de trabajo en equipo son bastante limitadas.

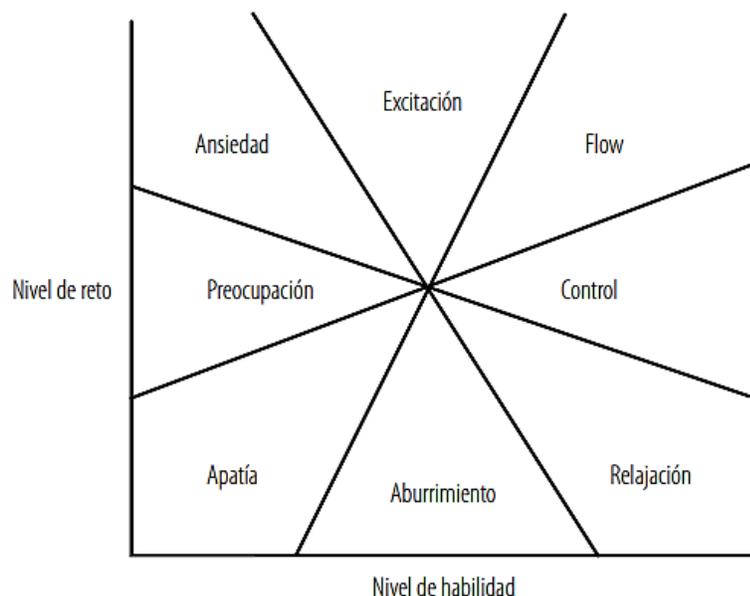
En este sentido, la consciencia del contexto y la sensibilidad sobre el mismo, se ha convertido en uno de los temas principales en el diseño de sistemas informáticos de aprendizaje con el fin de reducir la necesidad de los esfuerzos meta-cognitivos para colaborar en entornos informáticos distribuidos [30].

2.11 Juegos serios

Un juego serio puede ser definido como un sistema e-learning (con carácter educativo) que pretende motivar y entretener a los estudiantes, y a su vez tiene como objetivo principal lograrlo mientras alcanza objetivos de aprendizaje relacionados con la resolución de problemas, aprendizaje sobre un tema específico o desarrollo de habilidades, siempre focalizado en mejorar el aprendizaje. En este sentido, los juegos serios son diseñados y desarrollados con fines educativos, así por ejemplo podrían ser simuladores o juegos que crean consciencia en los usuarios sobre una temática específica. Estos juegos sitúan a los jugadores o estudiantes dentro de un contexto particular de ejecución o micro mundo para que desarrollen un conocimiento específico o habilidad.

De esta manera, un juego serio puede ser utilizado en la solución de problemas reales inmerso en un entorno de aprendizaje preparado para que simule la vida real. Aunque pueden ser lúdicos y entretenidos, este no es su objetivo primordial. Así, muchos juegos serios que han sido contruidos buscan lograr cambios sociales, desarrollar habilidades, salud emocional, e incluso crear consciencia en los jugadores sobre problemáticas globales, conflictos y proponer soluciones. En conclusión, se puede afirmar que la incorporación de un juego serio en una situación de aprendizaje distinta de aquella en la que fue concebido sería incongruente o prácticamente imposible.

Figura 2-1: Nivel de reto vs. habilidad. Tomada de [31].



Sin embargo, el diseño y desarrollo de un juego serio debe tener en cuenta diversos aspectos relacionados con la motivación continua que debe experimentar el jugador aprendiz para mantenerlo inmerso en el juego, y de esta forma apoyar el logro de los objetivos de aprendizaje propuestos. Las características tales como relajación, flujo en el aprendizaje (flow), control del juego, excitación, ansiedad, preocupación, apatía, aburrimiento, etc., deben ser manejadas correctamente mediante el tipo de retos propuesto y la habilidad que adquieren los jugadores.

A partir de la Figura 2-1 presentada en [31], es posible inferir que un nivel bajo de habilidad por parte del jugador puede provocar apatía, preocupación o ansiedad dependiendo de la

complejidad del reto propuesto. En este caso se debe entrenar al jugador para que adquiera habilidades antes de enfrentarlo a algún reto del juego. Por otro lado, un nivel de habilidad intermedio puede producir aburrimiento si el reto es de baja complejidad, o podría producir excitación en el caso que el reto tenga alta complejidad. Finalmente, un nivel de habilidad alto puede producir relajación, buen control del juego o flujo normal, para retos de baja, media o alta complejidad respectivamente.

Actualmente, se están desarrollando juegos serios en diferentes niveles de educación tanto en las escuelas primarias y secundarias, como en las universidades de todo el mundo. Según Babu et al. [32], el uso de juegos serios también involucra a compañías privadas las cuales trabajan en varios campos y profesiones tales como el aeroespacial (simuladores de vuelo), salud (simulación de operaciones quirúrgicas, emergencias), finanzas (capacitación y problemas financieros), comercio (simulación de empresas ficticias) y turismo (capacitación en hotelería). Además, es importante destacar que los juegos serios no solo se han utilizado para procesos de aprendizaje individuales, sino también para entornos de aprendizaje colaborativo los cuales ya han evidenciado resultados satisfactorios [33].

2.12 Conclusiones del capítulo

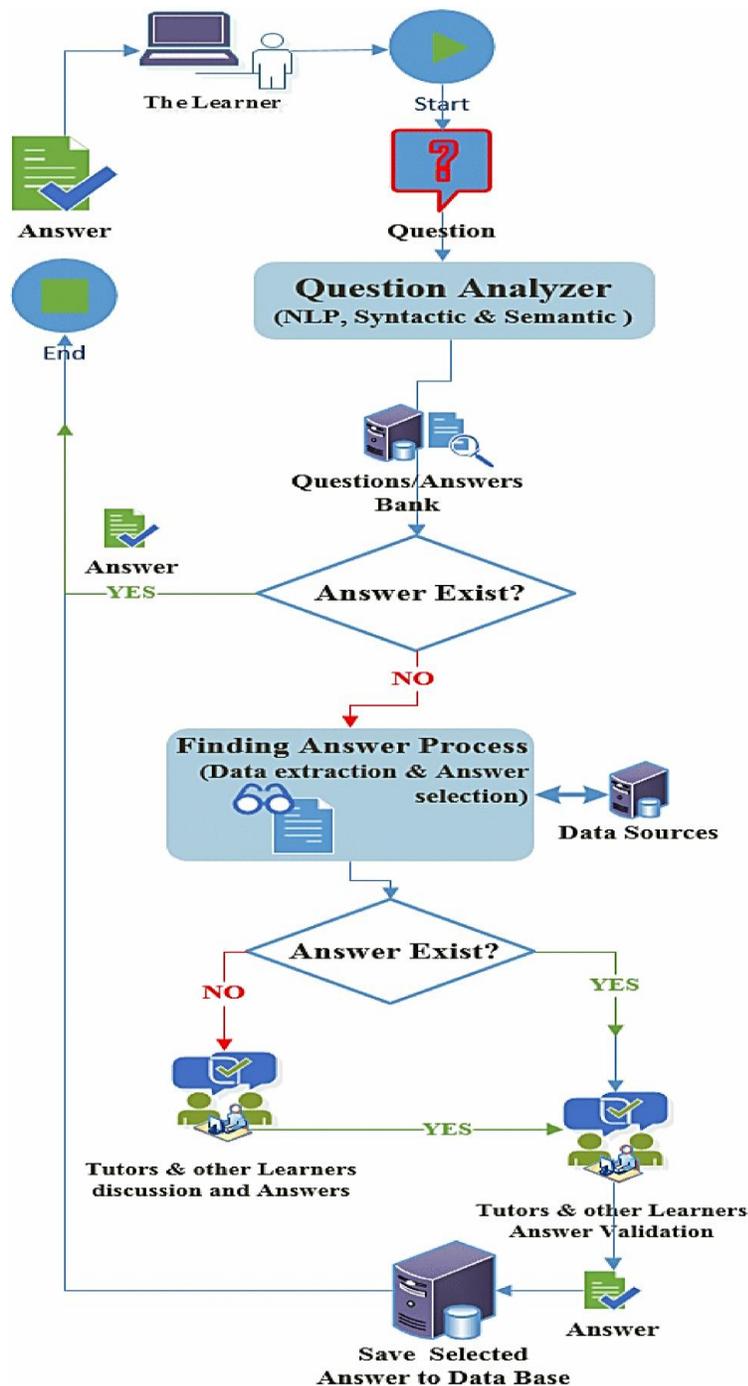
A partir de lo presentado en este capítulo se logró brindar las definiciones de las temáticas, conceptos, y áreas de trabajo vinculados con esta investigación. De esta manera se otorga claridad y conocimiento al lector para continuar con el siguiente capítulo, en el cual se presentan los trabajos relacionados más relevantes que contienen las temáticas y conceptos afines con la investigación presentada en esta tesis.

3.Estado del arte

Este capítulo presenta los trabajos de investigación relacionados con temáticas afines a la presente tesis. Adicionalmente, se exhiben las características propias de cada investigación, para finalmente mostrar una comparación de trabajos que contraste las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

- En 2018, Samadi et al. [34] proponen un sistema de preguntas y respuestas QAS (por sus siglas en inglés para Question Answering System) el cual posee un enfoque con agentes sintácticos y semánticos para responder preguntas en plataformas de aprendizaje en línea (e-learning). Dicha propuesta se basa en mejorar los enfoques existentes a partir de la generación de una arquitectura compuesta por tres capas: (1) capa de usuario, (2) capa de búsqueda de respuestas y (3) capa de base de datos. Primero, la capa de usuario recibe la pregunta (vocal o de texto) y la envía a la capa de búsqueda de respuestas, donde diferentes agentes analizan la pregunta y buscan la mejor respuesta de todos los recursos disponibles (banco de preguntas y respuestas, cursos BD, Internet) y la comunican con el profesor u otros alumnos si es necesario. En detalle, el QAS propuesto i) recibe la pregunta del alumno y la lleva a la fase de análisis, donde se realiza un análisis sintáctico y semántico sobre la pregunta para definir su naturaleza, tipo y otras propiedades, utilizando el procesamiento del lenguaje natural, se intenta analizar la pregunta y presentarla en forma de ontologías pedagógicas, posteriormente, ii) el sistema verifica si la pregunta ya ha sido respondida (de la base de datos de Preguntas / Respuestas), si hay una respuesta, la envían al alumno, de lo contrario iii) se inicia un proceso de búsqueda de respuestas, donde diferentes agentes trabajan juntos en varias fuentes y bases de datos para encontrar la mejor respuesta. Si la respuesta no se puede encontrar automáticamente, otros tutores y alumnos contribuyen a responder la pregunta. La Figura 3-1 presenta la descripción del QAS propuesto.

Figura 3-1: Descripción del QAS propuesto. Tomado de [34].



Fortalezas:

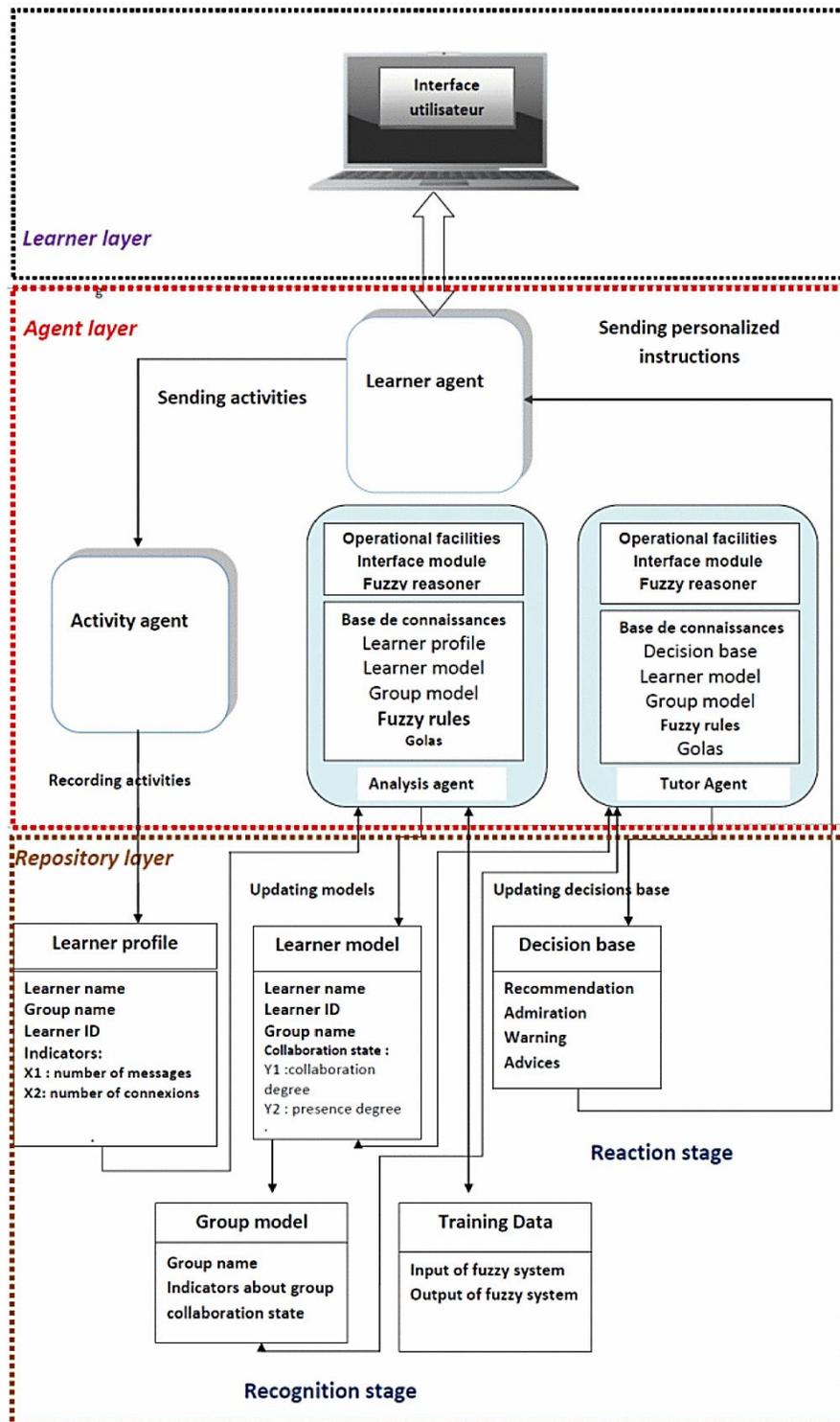
- El enfoque sintáctico y semántico utilizado permite el uso de diferentes estrategias y la reducción de errores introducidos por métodos individuales.

- Con la inclusión y la cooperación entre los agentes buscan alcanzar las mejores soluciones en cada paso del procesamiento a la vez que dotan de adaptabilidad, interactividad, distribución, colaboración, personalización, seguridad e inteligencia al modelo.

Limitaciones:

- El sistema únicamente se enfoca en buscar respuestas de preguntas, lo cual no genera en gran medida interacción entre los estudiantes.
- El sistema no recomienda recursos educativos basado en las dudas frecuentes de los alumnos, solo recomienda o entrega una respuesta a una pregunta generada.
- En 2018, Matazi et al. [35] proponen el sistema multi-agente SMAASA el cual integra lógica difusa para la automatización del apoyo de los alumnos en una plataforma de aprendizaje colaborativo en línea (Collaborative e-learning Platform). La idea principal de los autores es aprovechar los datos de interacción entre los alumnos durante el proceso de aprendizaje para mejorar el nivel de colaboración. Posteriormente, dichos datos son analizados y almacenados como indicadores en el perfil del alumno, y basado en estos indicadores, el sistema evalúa el estado de la colaboración de los alumnos y envía recomendaciones automáticas para mejorar la colaboración. Teniendo en cuenta la naturaleza imprecisa de la información que es manipulada (datos de actividades del alumno), la automatización del proceso de evaluación del comportamiento colaborativo del alumno, llevó a los autores a dotar a los agentes del sistema de características difusas, ya que la lógica difusa es una solución adecuada para manejar imprecisiones e incertidumbres. El sistema calcula los indicadores: número de mensajes, número de discusiones, número de conexiones realizadas y, por lo tanto, evalúa el grado de colaboración, el grado de presencia y el nivel de participación de cada alumno en su grupo, asignando una puntuación entre 0 y 20. El experimento realizado para probar el sistema mostró que los alumnos reaccionaron positivamente a las recomendaciones enviadas, lo que influye en la evolución efectiva en el nivel de participación de los alumnos. La Figura 3-2 presenta el modelo de la arquitectura del SMA para apoyar a los estudiantes en una plataforma de aprendizaje colaborativo en línea.

Figura 3-2: Arquitectura del sistema SMAASA propuesto. Tomado de [35].



Fortalezas:

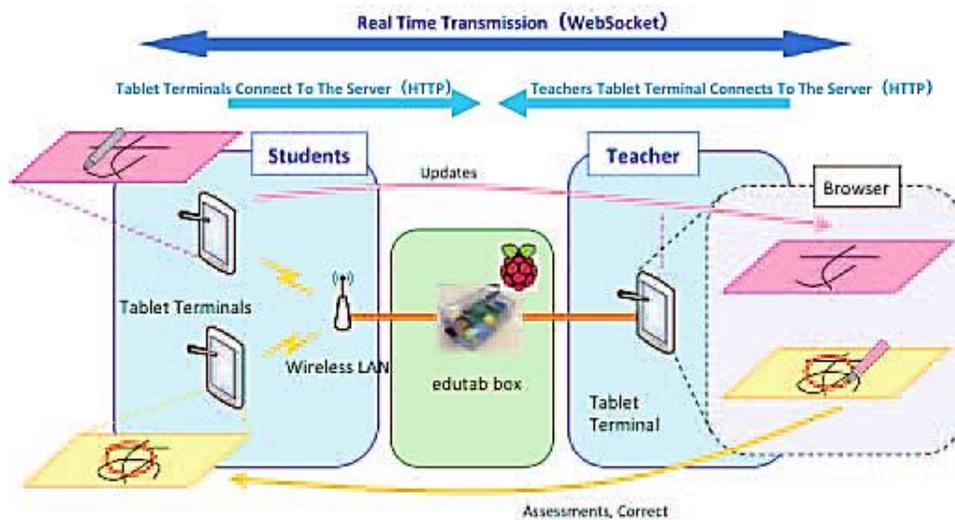
- El sistema se enfoca en mejorar el comportamiento colaborativo de los estudiantes al interior de una actividad de aprendizaje colaborativo en línea incluyendo lógica difusa para manejar la incertidumbre.
- Los niveles de interacción y colaboración de los estudiantes son brindados a través de puntajes lo que permite tomar acciones y generar recomendaciones ajustadas a cada perfil de interacción asociado al usuario.
- El sistema construido es escalable y capaz de asimilar otros indicadores más interesantes asociados a la evaluación del nivel de participación de los alumnos en una actividad colaborativa en línea.

Limitaciones:

- El sistema no caracteriza ni detecta los motivos por los cuales se genera la poca motivación a interactuar. Esto podría ser útil para mejorar la toma de decisiones.
- El sistema omite causas importantes que pueden generar desmotivación y poca interacción en el equipo por parte de los estudiantes, dejando también de lado el contexto sobre el cual se desempeña la actividad.
- En 2016, Mizukoshi et al. [36] proponen una herramienta de aprendizaje colaborativo soportado por computador para cursos escolares de niveles inferiores. El estudio se centra en validar la usabilidad de la herramienta y en aclarar la contribución que esta tiene en el proceso de enseñanza a partir del despliegue de las funcionalidades. El objetivo de la aplicación es que los estudiantes por medio de dispositivos móviles —en este caso tablets— puedan interactuar entre ellos y llevar a cabo una serie de actividades que se despliegan en el tablero. Algunas de las actividades son: realizar pantallazos, seleccionar asignaturas favoritas y sustentarlo, tomar fotos de elementos pertenecientes a la clase, realizar cuestionarios, etc. La herramienta se apoya en un modelo colaborativo, que permite la difusión de resultados por parte de los estudiantes, lo que fomenta la discusión argumentativa. La Figura 3-3 muestra como los estudiantes al escribir una letra en su tablero, ésta se muestra en el tablero del profesor a través

del sistema Edutab, y cuando el profesor escribe un círculo en el navegador, se muestra en la pizarra del cada uno de los alumnos.

Figura 3-3: Diagrama de comunicación entre el profesor y los estudiantes a través de Edutab box. Tomado de [36].



Fortalezas:

- Se propone un sistema móvil que apoya el aprendizaje colaborativo y puede crear una red inalámbrica autónoma sin usar un punto de acceso de red inalámbrica externo, permitiendo conectarse a Internet a través de tablets.
- El sistema permite compartir información entre estudiantes y profesor de manera muy sencilla a través de la visualización de las diferentes pantallas de las tablets desde una sola.

Limitaciones:

- La investigación no considera aspectos de detección de fallas, ni presenta una estructura de conocimiento explícita que permita describir mejor el modelo utilizado.

- El sistema no involucra elementos de recomendación para mejorar el proceso de aprendizaje.
 - El sistema no se enfoca en motivar a los alumnos a utilizar la herramienta propuesta, lo que puede generar aburrimiento en los estudiantes.
- En 2018, R.W.X. Ee et al. [37] parten de la idea de que un juego móvil que permitiera a los jugadores aprender sobre las hierbas medicinales podría mejorar su conocimiento sobre las mismas. Por lo tanto, desarrollaron Herbopolis, un juego móvil sobre medicamentos a base de hierbas y se obtuvieron datos de usabilidad y efectividad sobre el juego a partir de un grupo piloto de jugadores. El objetivo del jugador en el juego era administrar la ciudad, expandir la línea de productos y maximizar los ingresos del comercio de hierbas. El guion gráfico se concibió con siete elementos principales del juego: mapa principal, granja, almacén, fábrica, empresa, tienda y sede internacional (ver Figura 3-4).

Figura 3-4: Principales elementos y capturas de pantalla del prototipo del juego. Tomado de [37].



Los resultados respaldan el hecho de que los jugadores se sienten motivados para aprender sobre información relacionada con las hierbas jugando Herbopolis.

Fortalezas:

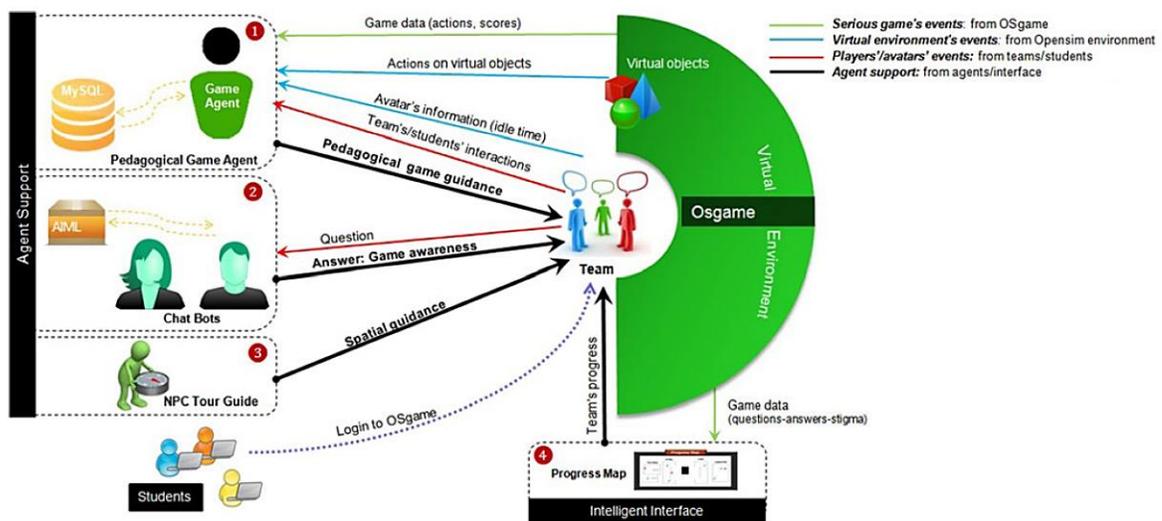
- Se propone un juego serio que se encuentra orientado al aprendizaje y brinda servicios de awareness con una interfaz agradable para motivar al usuario a través de la generación de consciencia.
- El sistema incluye evaluaciones para validar la obtención de conocimientos a medida que se avanza en la ejecución del juego.

Limitaciones:

- El sistema se encuentra muy enfocado en contar con unos excelentes gráficos, sin embargo, el prototipo no involucra retos que generen motivación a continuar con el juego.
- El juego propuesto no cuenta recompensas que motiven a los usuarios a continuar aprendiendo mientras son recompensados por su rendimiento.
- En 2016, Terzidou et al. [37] proponen la implementación de características de Inteligencia Artificial sobre un juego serio para un entorno colaborativo aplicado a la educación terciaria el cual se conoce como OSgame. La investigación se encuentra basada en un trabajo previo realizado con agentes pedagógicos los cuales son considerados como una técnica de aprendizaje colaborativo [38] [39] [40]. El objetivo del estudio es determinar si el uso de herramientas de Inteligencia Artificial aplicado al desarrollo de juegos serios colaborativos es eficaz sobretodo en términos de lograr un mejor desempeño del equipo. Lo anterior se puede lograr si se mejoran las interacciones colaborativas de los estudiantes a través de mecanismos de motivación ofrecidos por el ambiente de aprendizaje. El juego está basado en un entorno virtual en 3D donde los estudiantes pueden interactuar y trabajar en equipo para ser campeones de una partida, la cual cuenta con un tiempo, y consiste en una exploración de un entorno donde los estudiantes tratan de descubrir objetos virtuales que contienen

preguntas de selección múltiple. Las características de Inteligencia Artificial propuestas para apoyar el juego serio son las siguientes: un agente de juego pedagógico, personajes que no juegan y funcionan como guías para el juego virtual, robots de chat y una interfaz de juego llamada "Mapa de Progreso". El juego colaborativo cuenta con realimentación individual al estudiante, con seguimiento a la actividad y motiva a los estudiantes en el uso de la herramienta. La Figura 3-5 muestra la arquitectura del juego propuesta.

Figura 3-5: Arquitectura del juego serio colaborativo soportado por agentes inteligentes de software. Tomado de [41].



Fortalezas:

- El juego serio colaborativo cuenta con realimentación individual al estudiante.
- El sistema cuenta con seguimiento a la actividad y motiva a los estudiantes en el uso de la herramienta a través de la generación de awareness.

Limitaciones:

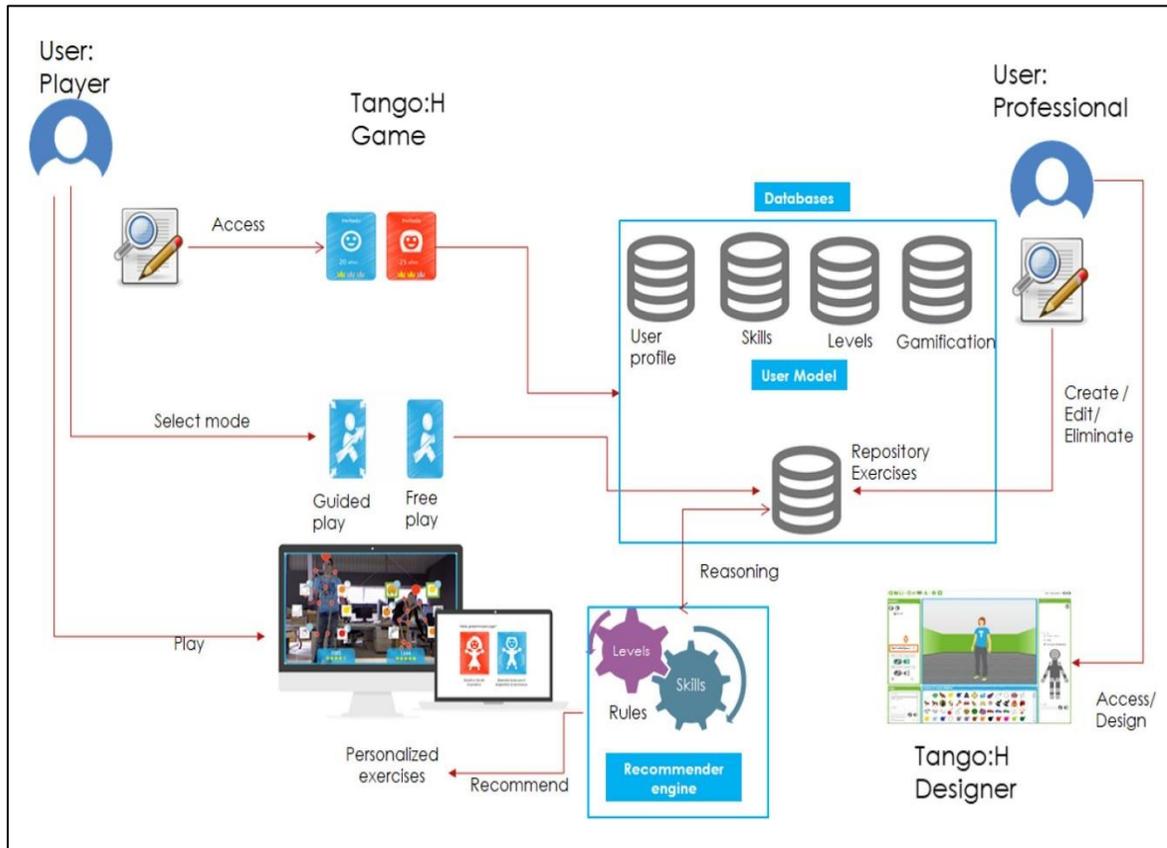
- La propuesta no cuenta con un esquema de actividades que motive la interacción constante y a conciencia con los demás integrantes del equipo.
- El juego propuesto no contempla una estructura para la detección de fallas cognitivas.

- No se realiza la recomendación de recursos educativos adaptados a las necesidades de cada usuario.

- En 2019, González-González et al. [42] construyen un sistema inteligente de rehabilitación basado en el videojuego de ejercicio TANGO:H (proveniente de Tangible Goals: Health) la cual puede ser usada para apoyar el proceso de rehabilitación de niños hospitalizados. La propuesta consta de dos elementos: una plataforma inteligente con el videojuego y una herramienta de diseño de ejercicios. La plataforma inteligente incluye un sistema de recomendación que analiza las interacciones del usuario, junto con el historial del usuario, para seleccionar nuevos ejercicios gamificados para el usuario. Una de las principales contribuciones de este trabajo se centra en definir un sistema de recomendación basado en diferentes niveles de dificultad y habilidades del usuario para ofrecer la posibilidad de proporcionar al usuario un modo de juego personalizado basado en su propio historial y preferencias. Según González et al. [42] uno de los principales problemas de la rehabilitación es que las sesiones de terapia pueden ser aburridas ya que normalmente consisten en repetir los mismos ejercicios una y otra vez. Por lo anterior, los juegos pueden ayudar a mejorar la motivación y hacer que los pacientes trabajen más [43] [44].

La Figura 3-6 muestra la arquitectura de los módulos principales de TANGO: H: (a) Juego TANGO: H, donde los jugadores pueden interactuar con el sistema; (b) Diseñador TANGO: H, donde los profesionales pueden diseñar diferentes tipos de ejercicios, diseñar la gamificación de ejercicios, crear usuarios definiendo sus características y habilidades, y asignar ejercicios a usuarios o grupos particulares; (c) el modelo de usuario con el perfil de usuario, habilidades, nivel, interacciones y gamificación; y (d) el sistema de recomendación, con las reglas de personalización y recomendación que son presentadas a los jugadores. Las principales contribuciones de este trabajo son la creación de módulos inteligentes para TANGO: H y la evaluación de la efectividad, eficacia, capacidad de aprendizaje y satisfacción de los ejercicios basados en gestos. Las nuevas características desarrolladas incluyen el nivel del sistema basado en habilidades y la recomendación personalizada.

Figura 3-6: Arquitectura funcional de TANGO:H. Tomado de [42].



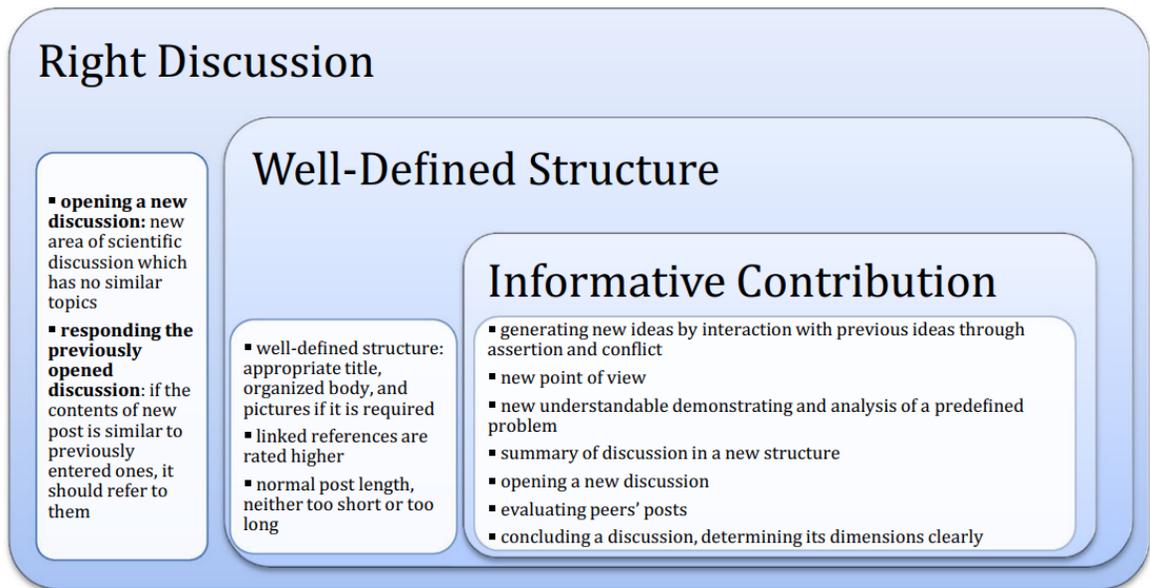
Fortalezas:

- La propuesta cuenta con un módulo de recomendación que puede ayudar al jugador a ejecutar mejores rutinas a partir de reglas que tienen en cuenta su nivel y habilidades. Esto puede ayudar a generar más motivación para continuar con el proceso de rehabilitación y evitar la monotonía o deserción.
- El sistema cuenta con un juego serio con ejercicios de realidad virtual que son personalizados para cada jugador.
- Aunque no se menciona de manera explícita como servicios de awareness, se incluye la generación de consciencia para mantener enganchado a cada jugador con elementos en pantalla que brindan información en tiempo real de su progreso.

Limitaciones:

- El modelo no especifica una estructura semántica formal para la descripción de los conceptos que se encuentra ligados al contexto.
- El sistema no tiene en cuenta las fallas cometidas en la ejecución de un ejercicio por parte de los jugadores. Tener en cuenta las fallas podría servir para recomendar ejercicios que quizá sean más sencillos de realizar para cada persona.
- El sistema no cuenta con un modelo de aprendizaje colaborativo el cual le permita aprender de las terapias de rehabilitación que estén siendo recomendadas a pacientes con el mismo diagnóstico o necesidad.
- En 2015, Orooji y Taghiyareh [42] presentan y evalúan un modelo con enfoque de apoyo holístico para orientar las interacciones entre los participantes y ayudarlos a participar e interactuar en entornos de aprendizaje colaborativo de manera consciente. El objetivo de dicha investigación corresponde a mejorar las habilidades de los participantes de una actividad colaborativa, en lugar de obligarlos a moverse bajo un lineamiento estricto. Éste modelo enfatiza el progreso gradual de los estudiantes durante una actividad que es monitoreada y guiada por profesores, y conduce a un mayor nivel de eficiencia y efectividad de la actividad. Además, la propuesta tiene en cuenta el contexto de aprendizaje, proponiendo criterios para formular la preparación de los alumnos y los instructores para actividades de CSCL. Además, el modelo tiene en cuenta los posibles resultados de una actividad e intenta mapear los objetivos de aprendizaje a las funcionalidades de la actividad. Las pautas resumidas del modelo propuesto se presentan en la Figura 3-7 y permiten a los participantes seleccionar la discusión correcta, con publicaciones autodefinidas y con contenidos suficientemente informativos. De esta manera, los participantes deben saber cómo abrir una nueva discusión o continuar las discusiones previamente abiertas que permiten continuar y completar gradualmente las discusiones de otros participantes, esto con el objetivo de lograr que la interacción logre generar y compartir un nivel óptimo de conocimiento.

Figura 3-7: Modelo propuesto de criterios e instrucciones para llevar una discusión correcta en un entorno de aprendizaje colaborativo. Tomado de [45].



Fortalezas:

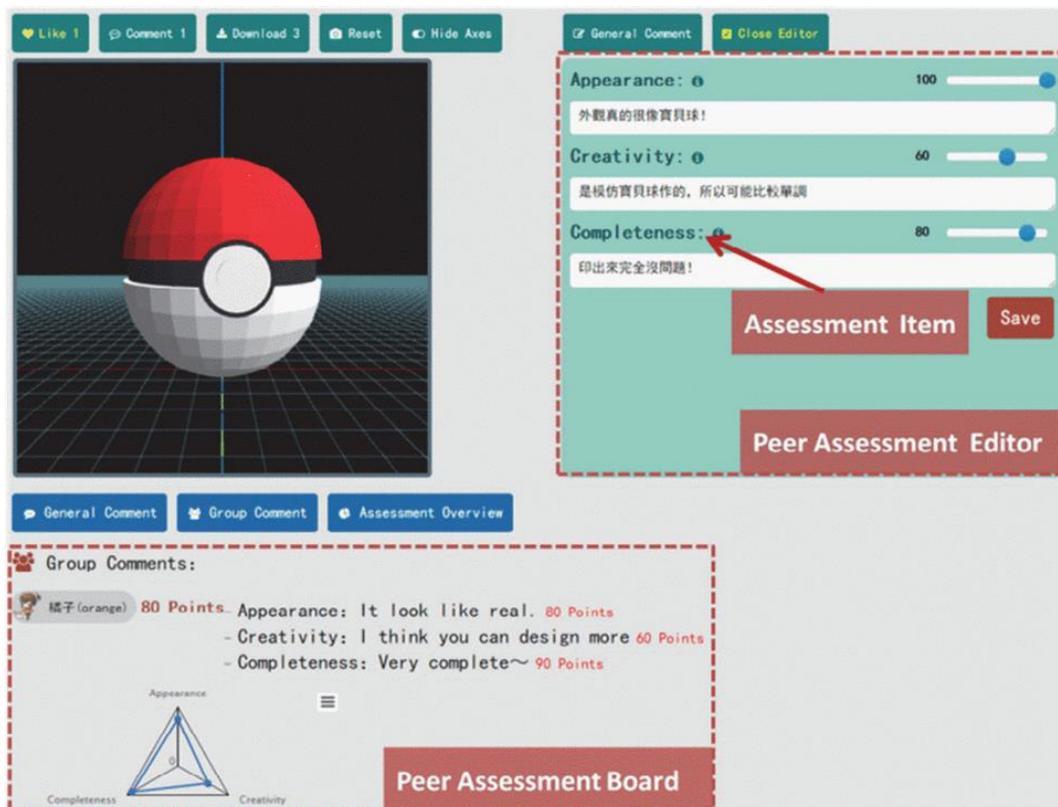
- La propuesta considera la inclusión de un diseño instruccional de actividades que permite proveer un entorno de discusión para las actividades colaborativas.
- El modelo propuesto incluye un sistema de evaluación automática de relevancia de palabras y contenidos publicados por los demás estudiantes en la actividad.
- El modelo cuenta con instrumentos de awareness que permiten presentar a los alumnos el progreso en la actividad, el alcance de objetivos y el nivel de interacción.

Limitaciones:

- El sistema no considera información contextual de los estudiantes para realizar recomendaciones, ni tampoco lo tiene en cuenta para mejorar el aprendizaje.
- El modelo propuesto no evalúa el progreso de los estudiantes conforme se ejecuta la actividad.

- En 2017, Lin et al. [46] proponen, diseñan y desarrollan el sistema Web 3D MCLS (de sus siglas en inglés para 3D Model Co-Learning Space) el cual integra aprendizaje colaborativo para optimizar el proceso de aprendizaje basándose en una evaluación y colaboración por pares. La plataforma, está orientada a permitir el intercambio fácil y el aprendizaje colaborativo sobre modelos 3D creados en pequeños grupos. Además de las funciones de almacenamiento, intercambio, búsqueda y visualización de modelos 3D, también permite usar el etiquetado de personas para organizar grupos y actividades de aprendizaje, y apoyar la revisión por pares anónimos y la comparación de autoevaluaciones de modelos. La Figura 3-8 presenta la interfaz mostrada al evaluador con las funciones especiales para la evaluación por pares. Allí se observa como un profesor, puede crear una actividad grupal para la evaluación por pares y definir las preguntas que se formularán para los comentarios cuantitativos.

Figura 3-8: Interfaz de evaluación por pares de 3D MCLS presentada al profesor. Tomado de [46].



Fortalezas:

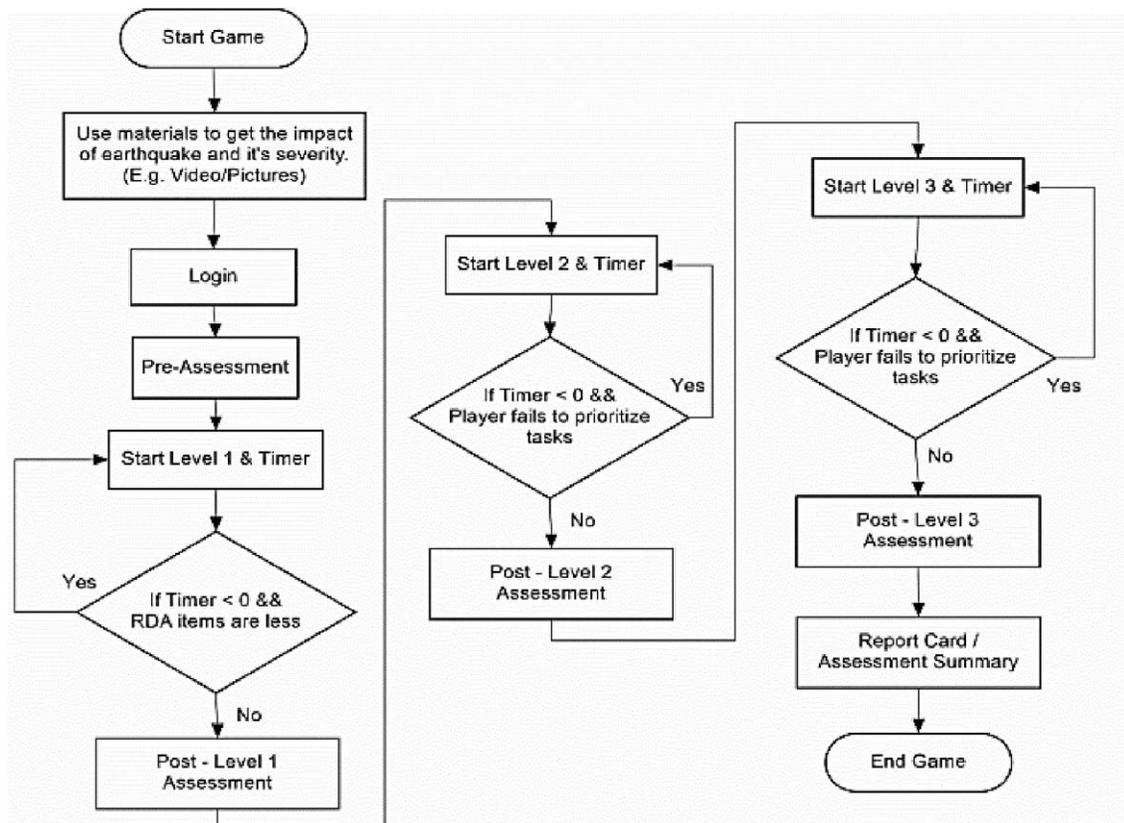
- El aplicativo cuenta con una funcionalidad interesante de evaluación colaborativa por pares. Este tipo de evaluaciones en actividades de aprendizaje puede generar motivación en la participación de los estudiantes [47], así como mejorar la calidad y eficiencia del aprendizaje.
- Si bien el aplicativo permite la participación de manera individual, éste motiva a sus usuarios a participar de manera colaborativa en la herramienta, asegurando de esta forma obtener mejores resultados en cuanto a calidad y adquisición de conocimientos se refiere.

Limitaciones:

- La propuesta no cuenta con un flujo de actividades colaborativas bien definido.
- No se contempla una estructura para la detección de fallas asociadas a los modelos 3D creados por cada usuario.
- La propuesta no incluye un modelo de agentes que pueda agregar distribución, inteligencia y proactividad, puede ser importante incluirlo debido al modelo de trabajo utilizado por los autores.
- En 2017, Babu et al. [32] proponen un juego serio colaborativo con servicios de awareness y evaluación para enseñar de manera efectiva la gestión de incidentes en entornos posteriores a desastres, destacando la importancia de un enfoque sistémico, utilizando la comunicación y la colaboración para la resolución de problemas. Los autores sostienen que es importante enseñar a las personas cómo deben actuar en una situación de desastre, ya que no es posible predecir cuándo ocurrirán. Para lograr el objetivo, proponen el aprendizaje basado en juegos simulados para la gestión posterior al desastre como la opción más rentable, ya que es una alternativa segura, sin riesgo ni peligro para los jugadores. De esta manera, a través del juego permiten la "comunicación" y la "colaboración" de múltiples personas. El juego propuesto está diseñado de tal manera que para cumplir con éxito los objetivos del incidente, los jugadores deben comunicarse y colaborar entre sí. La propuesta incorpora una interacción video-audio de cuatro vías la cual permite a los jugadores verse y hablar

entre ellos en tiempo real, fomentando así la colaboración. Tal como se observa en la Figura 3-9, el juego está dividido en tres niveles.

Figura 3-9: Diagrama de flujo del juego. Tomado de [32].



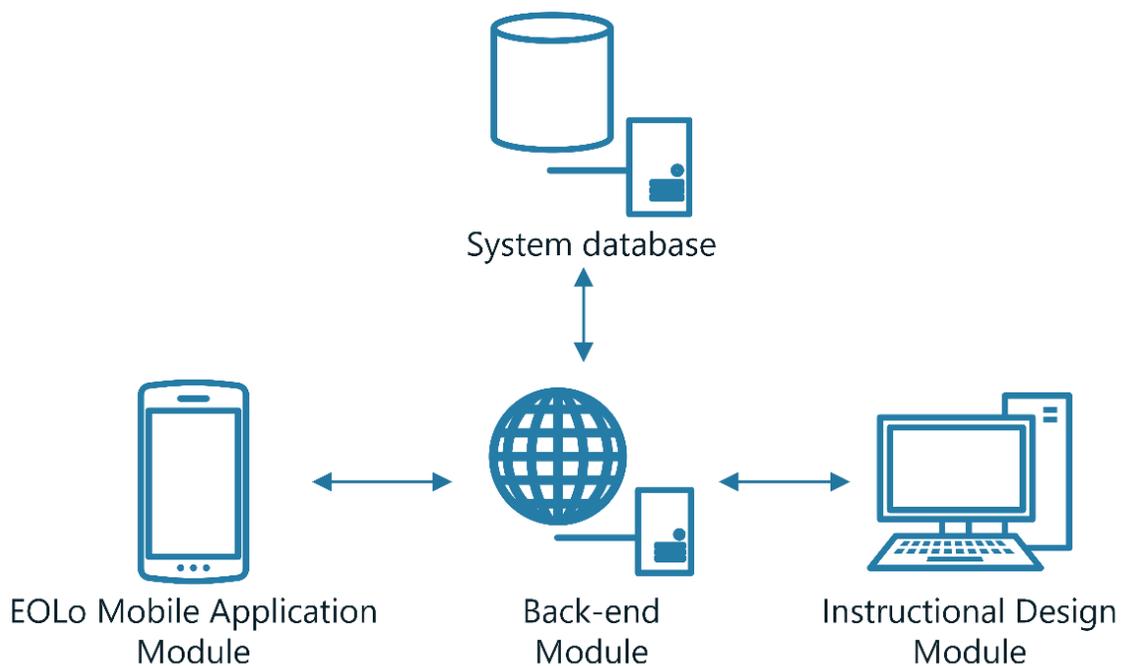
Fortalezas:

- El juego cuenta con un módulo de alertas y generación de awareness que mantiene en estado de alerta al estudiante.
- El sistema cuenta con un módulo de evaluación posterior a cada actividad para validar los conocimientos obtenidos en ella.

Limitaciones:

- El juego no recomienda escenarios o actividades basado en las fallas previas que ha tenido el estudiante.
- A pesar de que se integran servicios de awareness en el juego serio, no se cuenta una estrategia de recompensas y un modelo que promueva la interacción entre los estudiantes para generar motivación y mejorar el aprendizaje.
- En 2017, Salazar et al. [48] proponen el sistema EOLo el cual se fundamenta en un modelo de juego serio compatible con computación móvil, y tiene como objetivo el mejoramiento del aprendizaje de temas específicos relacionados con Cursos Virtuales Adaptativos (CVAs). El modelo incorpora tres módulos principales: el backend basado en la web, la aplicación móvil (juego serio) y finalmente, el módulo de diseño instruccional a cargo de la gestión del contenido del juego.

Figura 3-10: Modelo de arquitectura del sistema EOLo. Tomado de [48].



La implementación del modelo se logró mediante el desarrollo de EOLO, un prototipo funcional que se validó utilizando un estudio de caso aplicado a un curso de inglés a nivel de secundaria. Los resultados muestran que los estudiantes se sienten motivados con el uso de EOLO gracias a la sana competencia que ofrece el juego durante el desarrollo de las actividades de aprendizaje. Además, el sistema permite la detección de fallas de aprendizaje para generar una realimentación proactiva basada en la recomendación de recursos educativos. Cabe señalar que los estudiantes pueden usar sus dispositivos móviles en cualquier lugar y en cualquier momento con el fin de realizar actividades de aprendizaje desarrolladas por el profesor a través de CVAs adaptados a las necesidades y preferencias de los estudiantes. La Figura 3-10 presenta la arquitectura propuesta para EOLO la cual considera los tres módulos anteriormente mencionados.

Fortalezas:

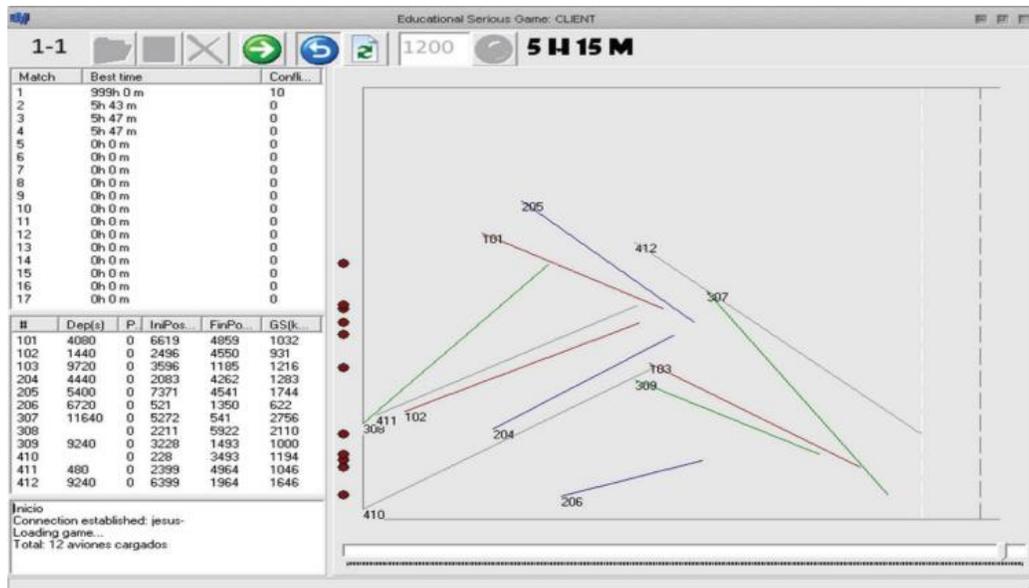
- La propuesta cuenta con un módulo de recomendación basado en fallas de los estudiantes.
- El juego serio brinda la posibilidad de que los estudiantes del CVA hagan parte de competencias sanas a través de la visualización de los resultados de otros estudiantes del mismo curso en una tabla de posiciones.
- El juego cuenta con evaluación de conocimientos adquiridos.

Limitaciones:

- El juego propuesto es completamente individual y no contempla la inclusión de recompensas que motiven a los estudiantes.
- La propuesta no se encuentra desarrollada sobre un ambiente multi-agente que pueda apoyar en reactividad, proactividad y distribución de la solución.
- La solución no incluye servicios de awareness los cuales son importantes para mantener atentos y alertas a los estudiantes durante la ejecución del juego.

- En 2015, Poy-Castro et al. [49] presentan el diseño de un juego serio llamado Concordia, cuyo objetivo es promover y analizar el desarrollo habilidades de trabajo en equipo. Los autores se han motivado a crear Concordia debido a que para el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), el uso de juegos serios se justifica porque promueven el aprendizaje, el desarrollo de competencias genéricas grupales y la transferencia de conocimiento. Para ello, los estudiantes tienen que resolver un problema cuya solución depende principalmente de la capacidad de negociación entre los miembros del equipo. Concordia simula una actividad de control del tráfico aéreo, en el que los jugadores tienen que combinar una serie de aviones en vuelo, que tienen diferentes rutas y duración del vuelo, para optimizar el uso del espacio aéreo (medido en el tiempo) y evitar cualquier colisión entre ellos. Cada equipo de estudiantes tiene que encontrar la mejor solución posible para reducir al mínimo el tiempo de vuelo total de todos sus aviones. Los resultados muestran que la experiencia mejora la solución final del juego y la habilidad de trabajo en equipo. La Figura 3-11 representa una de las posibles soluciones para el problema inicialmente planteado a los estudiantes, en ella se observa una solución propuesta como la combinación de aviones que permite la más corta duración total del vuelo, además, se observa la interfaz del juego serio Concordia.

Figura 3-11: Solución propuesta por los estudiantes en Concordia. Tomado de [49].



Fortalezas:

- El juego incluye autoevaluaciones grupales que pueden ayudar a mejorar el desempeño y los resultados obtenidos.
- La propuesta se enfoca en alcanzar objetivos educacionales bien definidos.

Limitaciones:

- El modelo de juego serio propuesto no cuenta con los elementos como insignias y servicios de awareness para mantener la motivación en los equipos.
- La propuesta no cuenta con un modelo que especifique formalmente los elementos inmersos en el dominio.

3.1 Comparación de trabajos relacionados

En esta sección se exhibe una tabla comparativa con los trabajos anteriormente presentados. Dicha tabla cuenta con las temáticas incluidas en la presente investigación, y tiene como objetivo comparar los trabajos a partir de sus características más importantes que se encuentran asociadas a dichas temáticas. En la Tabla 3-1 se encuentran entonces temáticas como agentes inteligentes de software, aprendizaje colaborativo, juegos serios, ontologías, servicios de awareness, recomendación de recursos educativos o elementos que apoyen el proceso de aprendizaje, y evaluación.

Tabla 3-1: Tabla comparativa de trabajos relacionados.

TRABAJO RELACIONADO	AGENTES DE SOFTWARE	APRENDIZAJE COLABORATIVO	JUEGOS SERIOS	ONTOLOGÍAS	SERVICIOS DE AWARENESS	RECOMENDACIÓN	EVALUACIÓN
(2018) A syntactic and semantic multi-agent based Question Answering System for collaborative E-learning	✓	✓	X	✓	X	✓	X
(2019) Multi-Agent System Based on Fuzzy Logic for E-Learning Collaborative System	✓	✓	X	X	X	✓	X
(2016) A portable CSCL system "edutab box" with an autonomous wireless network	X	✓	X	X	X	X	X
(2018) Herbopolis – A mobile serious game to educate players on herbal medicines	X	X	✓	X	✓	X	✓
(2016) Agent Supported Serious Game Environment	✓	✓	✓	X	✓	X	✓
(2019) Serious games for rehabilitation: Gestural interaction in personalized gamified exercises through a recommender system	X	X	✓	X	✓	✓	✓
(2015) Supporting participants in web-based collaborative learning activities from a holistic point of view: a tale of seven online and blended courses	X	✓	X	X	✓	X	X
(2017) A Collaborative Learning System for Sharing 3D Models: 3D Model Co-learning Space	X	✓	X	X	✓	X	✓
(2017) Collaborative Game Based Learning of Post-Disaster Management: Serious Game on Incident Management Frameworks for Post Disaster Management	X	✓	✓	X	✓	X	✓
(2017) EOLo: A Serious Mobile Game to Support Learning Processes	X	X	✓	X	X	✓	✓
(2015) Diseño y evaluación de un juego serio para la formación de estudiantes universitarios en habilidades de trabajo en equipo	X	✓	✓	X	X	X	✓

3.2 Conclusiones del capítulo

A partir de la revisión de trabajos de otros autores que se encuentran relacionados con las temáticas y tecnologías incluidas en la presente investigación, fue posible identificar que existen propuestas vigentes y que algunas de ellas se muestran como una tendencia por su alta inclusión en el contexto actual asociado al aprendizaje colaborativo. En este sentido, se logró evidenciar el alto uso de juegos serios de aprendizaje colaborativo en los diferentes entornos en los cuales se desea potenciar el aprendizaje, de esta manera se genera mayor interacción, se comparten y generan nuevos conocimientos, y esto a la vez que los estudiantes se motivan por medio de herramientas ofrecidas por estas plataformas.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el siguiente capítulo se enfoca en proponer un modelo de aprendizaje colaborativo basado en ontologías, agentes inteligentes y servicios de awareness. Este modelo, busca aprovechar algunas de las fortalezas evidenciadas en los trabajos de otros autores, considerando la inclusión de algunas técnicas o estrategias utilizadas por ellos, y además, tener en cuenta las limitaciones encontradas para mejorar la utilidad del modelo propuesto.

4. Modelo propuesto

Tal como se ha mencionado anteriormente, el modelo propuesto de aprendizaje colaborativo considera la integración de diferentes técnicas de la IA, como las ontologías de dominio específico y los agentes inteligentes de software. Es por ello, que el desarrollo del modelo correspondiente a esta investigación considera cinco etapas, así:

- Identificación de las actividades colaborativas enmarcadas en la definición y el desarrollo de un esquema para el desarrollo de las mismas.
- Detalle y especificación de un modelo de juego serio colaborativo.
- Proceso de especificación y el desarrollo del modelo ontológico.
- Diseño y descripción de servicios de awareness para la generación de consciencia en el desarrollo de actividades colaborativas.
- Arquitectura multi-agente para el despliegue del sistema colaborativo.

En ese sentido, cada una de las etapas mencionadas constituye una pieza fundamental para la conformación de la totalidad del modelo desarrollado en esta investigación. Con el objetivo de proporcionar la información y el detalle necesario para comprender la forma en la que cada etapa aporta al modelo, se presenta el detalle a continuación.

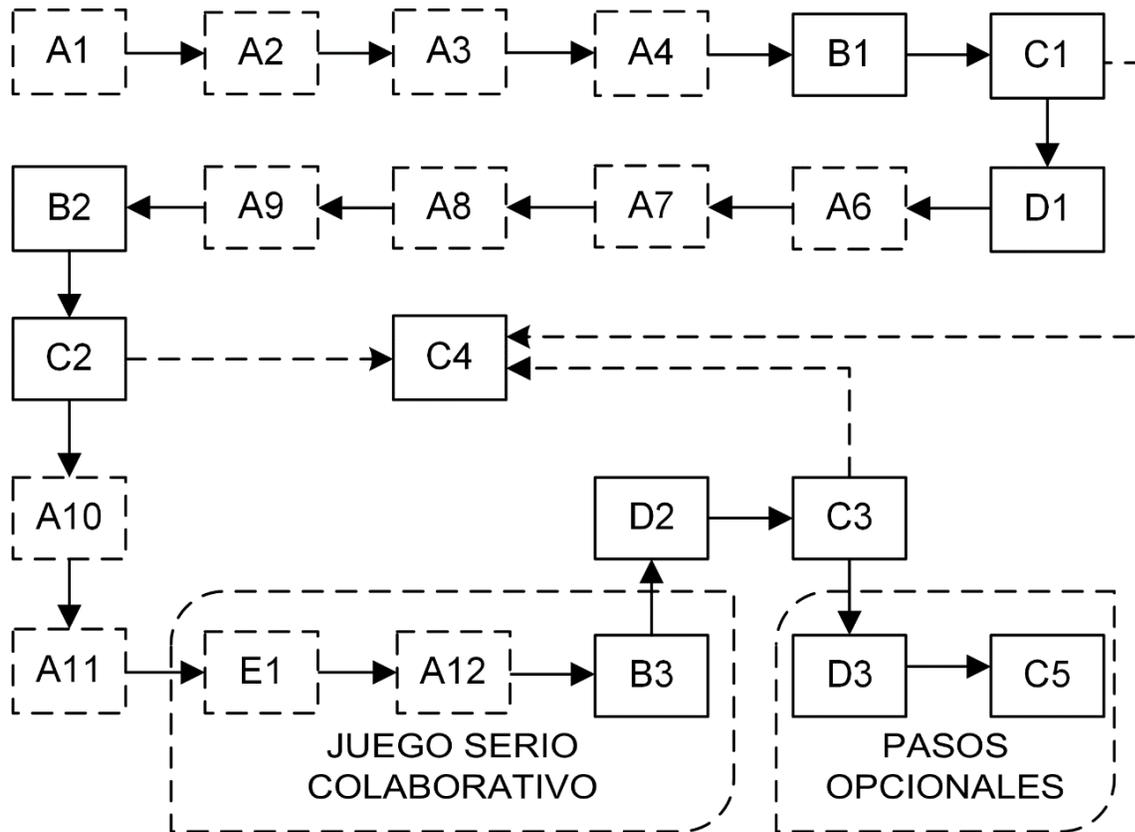
4.1 Esquema para el desarrollo de actividades colaborativas

Para llevar a cabo los procesos de ejecución de las actividades colaborativas, como la detección de fallas cognitivas, se propone un esquema secuencial, el cual se encuentra basado en un modelo de aprendizaje y trabajo colaborativo dividido por etapas. Este esquema propuesto, corresponde a una adaptación propia del método de aprendizaje

JigSaw [50] [51], y con esta, se pretende potenciar el aprendizaje colaborativo a través de la integración de una serie de actividades bien definidas, permitiendo así la realimentación al estudiante y la recomendación de recursos educativos enfocados en la mitigación de las fallas cognitivas identificadas durante las etapas del flujo.

Teniendo en cuenta las limitaciones encontradas en trabajos de investigación previos, se propone un modelo de aprendizaje colaborativo que incluye e integra las siguientes funcionalidades: 1) especificación formal de fallas cognitivas; 2) detección de fallas cognitivas en las etapas de evaluación de conocimientos; 3) recomendación de recursos educativos a partir de las fallas detectadas; y 4) reconfiguración de equipos para superar las debilidades de los estudiantes correspondientes a las fallas cognitivas identificadas.

Figura 4-1: Diagrama de flujo propuesto para el desarrollo de actividades colaborativas. Extendido y adaptado del método de aprendizaje JigSaw [50].



La Figura 4-1 presenta las etapas inteligentes agrupadas según las siguientes convenciones:

- (A) Actividad colaborativa y evaluación de la misma.
- (B) Diagnóstico de fallas cognitivas.
- (C) Realimentación, recomendación de recursos educativos y presentación de estadísticas al profesor.
- (D) Reconformación de equipos, caracterización de fortalezas y fallas de cada estudiante.
- (E) Actividad lúdica de apoyo al aprendizaje colaborativo.

Las etapas del esquema presentado en la Figura 4-1 se describen de manera detallada en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1: Descripción de las actividades involucradas en las etapas del diagrama de flujo propuesto de actividades colaborativas.

CÓDIGO ETAPA	DESCRIPCIÓN
A1	Conformación de equipos: ya que esta investigación no considera un modelo para la conformación de equipos, la elección de sus integrantes se deberá realizar sin tener en cuenta las características cognitivas de los estudiantes y por equipo se deberá contar con un número de integrantes entre 4 y 6 personas. Se debe intentar, en la medida de lo posible que todos los equipos queden equilibrados en tamaño.
A2	Asignación de elementos de aprendizaje mutuamente excluyentes: Estos elementos deben haber sido previamente contruidos por el profesor para posteriormente ser asignados a cada integrante de cada equipo. De esta manera, en el ámbito de una temática del curso, el profesor de forma previa construirá una actividad, la cual será divisible en pequeñas sub-actividades (llamados elementos de aprendizaje) relacionadas entre ellas, pero mutuamente excluyentes para su desarrollo. Dicha actividad será asignada a todos los equipos y cada elemento de aprendizaje será asignado aleatoriamente a cada estudiante al interior de cada equipo. En caso de que todos los equipos no sean del mismo tamaño, será necesario que la actividad se lleve a cabo únicamente con la cantidad de elementos del equipo más pequeño. En este sentido, algunos estudiantes de los equipos más grandes deberán quedar con el mismo elemento.
A3	Desarrollo de la primera actividad individual de cada estudiante: en esta etapa cada estudiante ejecuta la actividad asignada por el profesor al correspondiente elemento de aprendizaje que le fue entregado.
A4	Evaluación individual diagnóstica de conceptos adquiridos: en esta etapa el sistema realizará de forma individual una evaluación inicial (construida previamente por el profesor) de los conocimientos asociados a cada elemento de aprendizaje. Los

CÓDIGO ETAPA	DESCRIPCIÓN
	resultados serán almacenados para continuar con el procesamiento de la información necesario en la siguiente etapa.
(B1; B2; B3)	Primer, segundo y tercer diagnóstico de fallas cognitivas: según los resultados obtenidos en la evaluación individual de los estudiantes realizada en cada una de las etapas del esquema, el sistema realizará una caracterización de las fallas cognitivas de cada estudiante.
(C1; C2; C3)	Realimentación y recomendación de recursos educativos: posterior a que el sistema diagnostique las fallas cognitivas de cada estudiante y conozca el resultado de la evaluación realizada, se presentará la realimentación de cada una de las respuestas erradas en la evaluación y se recomendarán recursos educativos asociados a las fallas diagnosticadas.
D1	Reconformación de equipos por elemento de aprendizaje (reunión de expertos): esta etapa consta de una reconformación de equipos basada en que cada nueva agrupación va a estar constituida por integrantes con el mismo elemento de aprendizaje asignado en un principio. Es importante aclarar que debido a que cada estudiante se apropia de su elemento, será conocido dentro de esta investigación como un “experto”.
A6	Divulgación de conocimientos al interior de cada nuevo equipo: cada estudiante al interior de su nuevo equipo presentará mediante una exposición los conocimientos adquiridos durante las etapas previas del esquema (desarrollo de la actividad, realimentación y lo aprendido en los recursos educativos en caso que le fueran recomendados).
A7	Construcción de un informe en equipo: los integrantes de cada equipo de expertos construirán un informe según los parámetros establecidos por el profesor.
A8	Evaluación del informe construido: en esta etapa el profesor calificará el informe de cada equipo.
A9	Evaluación individual de conocimientos adquiridos en la reunión con los expertos (contraste de evaluaciones individuales): el sistema realizará una vez más de forma individual, una evaluación de los conocimientos que el estudiante debió haber adquirido luego de la reunión con los expertos. Además, los resultados serán almacenados para continuar con el procesamiento de la información necesaria para la siguiente etapa, y de esta manera, contrastar los conocimientos y fallas con la evaluación diagnóstica realizada en la cuarta etapa del esquema.
A10	Regreso de los estudiantes al equipo base: los estudiantes regresarán al equipo donde inicialmente comenzaron con la actividad colaborativa (equipo base), y una vez allí se dará inicio a la siguiente etapa.
A11	Divulgación de conocimientos al interior del equipo base por parte de cada estudiante: en esta etapa cada estudiante —quién será experto en su elemento de aprendizaje— presentará de forma detallada mediante una exposición los conocimientos adquiridos en las etapas anteriores. Dicha presentación será realizada a sus compañeros de equipo base y tendrá la intención de transmitir todo el conocimiento posible.
E1	Ejecución del juego serio colaborativo: consiste en una serie de pasos cuyo objetivo es apoyar e incentivar a los estudiantes en el proceso de aprendizaje colaborativo y se constituye como se menciona en la Sección 4.2.
A12	Evaluación individual acumulativa (preguntas aleatorias): en esta etapa se realizará una evaluación individual la cual contará con preguntas del juego serio y con preguntas realizadas por el profesor. Una vez más, los resultados serán almacenados para continuar con el procesamiento de la información necesaria para la siguiente etapa.
D2	Caracterización de fortalezas y fallas cognitivas de cada estudiante: el sistema realizará el procesamiento necesario de la información capturada en el desarrollo de la actividad colaborativa para inferir fallas y fortalezas cognitivas de cada estudiante.
D3	Reconformación de equipos basada en fallas cognitivas identificadas: esta y la siguiente etapa son opcionales y a criterio del profesor; si se desean realizar, el

CÓDIGO ETAPA	DESCRIPCIÓN
	sistema propondrá una reconfiguración de equipos en la cual estarán los estudiantes agrupados por fallas cognitivas similares e iguales.
C5	Asignación de objetos de aprendizaje y tutores (integrantes del curso elegidos a partir de las fortalezas identificadas en otros equipos): finalmente en esta etapa el sistema asignará recursos de aprendizaje (OAs y tutores) a cada equipo según las fallas cognitivas identificadas.
C4	Presentación de estadísticas al profesor: el sistema presentará durante esta etapa reportes estadísticos de información capturada e inferida durante el desarrollo de la actividad colaborativa. Dichas estadísticas corresponden a las siguientes: (i) visualización de las fallas cognitivas más repetidas; (ii) visualización de las notas de la evaluación de cada estudiante; (iii) visualización de los estudiantes con mayor y menor número de fallas cognitivas.

4.2 Modelo de juego serio colaborativo

El modelo de juego serio desarrollado durante esta investigación, nace como una propuesta adicional de software que complementa el esquema presentado para el desarrollo de actividades colaborativas, y además integra tecnologías de agentes inteligentes, ontologías y servicios de awareness. A continuación, se presenta el detalle de las fases en las que se estructura su definición; inicialmente se presenta una descripción general del modelo, posteriormente se definen los conceptos principales y las reglas asociadas al juego y, por último, se detalla el modelo de reconocimiento al buen desempeño.

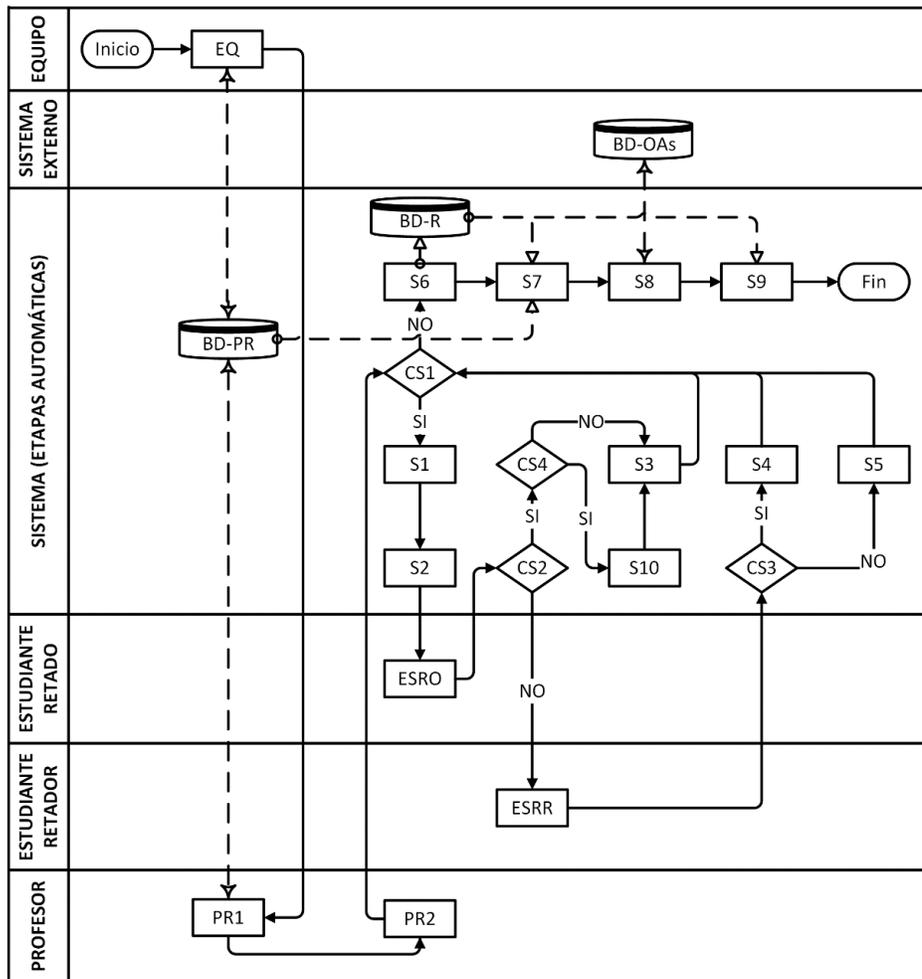
4.2.1 Descripción general

El juego serio colaborativo, se propone como una herramienta lúdica para incrementar la comunicación, promover una competencia sana entre los participantes, generar interdependencia positiva entre los integrantes de equipos de trabajo, y promover, motivar y lograr el involucramiento de cada participante en el ambiente colaborativo.

De esta forma, se pretende la generación de entornos propicios para el potenciamiento del aprendizaje, teniendo como base los primeros cinco niveles de aprendizaje establecidos en la taxonomía de Bloom [52] los cuales son: retención, comprensión, aplicación, análisis y evaluación de conocimientos durante la ejecución del juego serio en entornos de aprendizaje colaborativo. Dicho modelo, surge a partir del esquema para el desarrollo de actividades colaborativas presentado en [53]. En dicha investigación, se proponen las etapas E1: “Etapa de ejecución de actividad lúdica para evaluación de conocimientos”, A12: “Evaluación individual acumulativa” y B3: “Diagnóstico de fallas cognitivas” las se

convirtieron en un pilar fundamental para el diseño y desarrollo del modelo del juego serio propuesto.

Figura 4-2: Diagrama del proceso del modelo de juego serio colaborativo.



La Figura 4-2 presenta de forma específica y por roles, el diagrama del proceso correspondiente al modelo del juego serio colaborativo propuesto, el cual consiste en una serie de etapas que tienen como objetivo el desarrollo de este enfoque de aprendizaje orientado al trabajo en equipo. En la Tabla 4-2 se detallan cada una de las etapas del juego serio y los agentes inteligentes que intervienen. Es importante destacar que la descripción de las funcionalidades y tareas de cada agente son descritas en la sección 4.5.

Tabla 4-2: Descripción de las etapas del proceso correspondientes al modelo de juego serio colaborativo.

ETAPA	AGENTES QUE INTERVIENEN	DESCRIPCIÓN ETAPA
BD-PR	Ontológico, Profesor, Evaluador, Estudiantes, Gestión del equipo, Awareness.	Banco de preguntas. En esta base de datos se almacenan las preguntas construidas y con las que se participará en el juego.
BD-R	Evaluador, Awareness, Ontológico.	Base de datos de respuestas. En esta base de datos se almacenan cada una de las respuestas seleccionadas durante la ejecución del juego.
BD-OAS	Recomendador.	Repositorio de objetos de aprendizaje. Es un repositorio externo donde se almacenan Objetos de Aprendizaje los cuales son utilizados para realizar recomendaciones a partir de las fallas diagnosticadas en la ejecución del juego.
EQ	Gestión del equipo, Estudiantes.	Etapas del proceso en la cual cada equipo realiza una construcción colaborativa de preguntas de alto nivel. Dichas preguntas estarán acompañadas con respuesta de selección múltiple, brindando así, algunas opciones incorrectas y una correcta. Para el inicio de esta etapa es indispensable que los estudiantes se encuentren previamente organizados en equipos de trabajo.
PR1	Profesor.	El profesor realiza una categorización de preguntas por niveles de dificultad con el objetivo de entregar insignias de acuerdo a unas reglas definidas al interior del juego.
PR2	Profesor.	El profesor da inicio a la etapa de preguntas.
CS1	Evaluador.	El sistema verifica si hay preguntas que no se hayan jugado en ninguna de las rondas y ejecuta el condicional siguiente: ¿Existen preguntas que no se hayan utilizado en alguna de las rondas?
S1	Evaluador, Estudiante.	El sistema selecciona de forma aleatoria una pregunta, un estudiante del equipo donde se construyó la pregunta (será un estudiante diferente a quien creó la pregunta y se conocerá de aquí en adelante como estudiante retador) y un estudiante aleatorio de un equipo diferente (designado como estudiante retado).
S2	Evaluador, Estudiante.	El sistema inicia una ronda de juego entre el estudiante retador y el estudiante retado.
S3	Evaluador, Gestión del equipo.	El sistema asigna un punto para el equipo al cual pertenece el estudiante retado.
S4	Evaluador.	El sistema no asigna ni resta puntos a ninguno de los dos equipos.

ETAPA	AGENTES QUE INTERVIENEN	DESCRIPCIÓN ETAPA
S5	Evaluador, Gestión del equipo.	El sistema resta un punto para el equipo al cual pertenece el estudiante retador.
S6	Evaluador.	El sistema realiza la asignación de notas a cada equipo de acuerdo a la tabla de posiciones, puntaje e insignias (reconocimientos) obtenidas.
S7	Evaluador, Gestión del equipo.	El sistema genera de forma adaptada una evaluación individual acumulativa para cada estudiante. Nota: La adaptación de la evaluación se realiza a partir de los siguientes criterios: (1) Preguntas erradas por el estudiante; (2) Preguntas no contestadas por el equipo; (3) Preguntas que no se jugaron, es decir, que no salieron en ninguna de las rondas del juego (si aplica).
S8	Evaluador, Recomendador.	El sistema califica la evaluación individual acumulativa de cada estudiante y dependiendo los resultados, recomienda recursos educativos asociados a sus propias fallas detectadas.
S9	Awareness.	El sistema realiza una presentación de estadísticas tanto al profesor como a los estudiantes.
S10	Evaluador, Gestión del equipo.	El sistema asigna una insignia (reconocimiento) al equipo al cual pertenece el estudiante retado.
ESRO	Evaluador, Estudiante.	El estudiante retado debe responder correctamente la pregunta.
ESRR	Evaluador, Estudiante.	El estudiante retador debe responder correctamente la pregunta.
CS2	Evaluador, Estudiante.	El sistema verifica si el estudiante retado ha respondido la pregunta correctamente y ejecuta el condicional siguiente: ¿Estudiante retado respondió la pregunta correctamente?
CS3	Evaluador, Estudiante.	El sistema verifica si el estudiante retador ha respondido la pregunta correctamente y ejecuta el condicional siguiente: ¿Estudiante retador respondió la pregunta correctamente?
CS4	Evaluador, Estudiante.	El sistema verifica si el estudiante retado merece recibir una insignia (reconocimiento) y ejecuta el condicional siguiente: ¿Estudiante retado cumple las condiciones para recibir una insignia?

4.2.2 Reglas y definición de conceptos asociados al juego

Con el objetivo de brindar al usuario la información necesaria para comprender los elementos que componen el juego serio, en esta sección se detallan los conceptos principales y las reglas asociadas al juego.

- **Número de integrantes de cada equipo:** debe estar entre 4 y 6 estudiantes.
- **Número mínimo de equipos:** para poder llevar a cabo la actividad deben existir por lo menos tres (3) equipos conformados.
- **Escala de calificación:** la nota final asignada a cada equipo estará entre 0 y 5, donde 0 corresponde a la nota más baja y 5 la más alta.
- **Ronda:** corresponde a cada una de las vueltas o series de turnos de los equipos que participan en el juego. Una ronda se completa cuando todos los equipos juegan una vez como retados, es decir, en cada ronda un equipo tiene que ser retado una sola vez.
- **Número mínimo de rondas:** corresponde al número de integrantes del equipo con mayor cantidad de estudiantes (ver Ecuación (4.1)).

$$\#Rondas_{min} = \#integrantesEquipoMasGrande \quad (4.1)$$

- **Número mínimo de preguntas por equipo:** para poder llevar a cabo la actividad, cada equipo deberá construir como mínimo una pregunta de más que el número de integrantes de su equipo (ver Ecuación (4.2)) .

$$\#PreguntasPorEquipo_{min} = \#IntegrantesEquipos + 1 \quad (4.2)$$

- **Número mínimo de preguntas aprobadas por el profesor en el banco para poder iniciar el juego:** corresponde a la multiplicación entre el número mínimo de rondas y el número de equipos (ver Ecuación (4.3)) .

$$\#PreguntasBanco_{min} = (\#Rondas_{min} \times \#Equipos) + \#Equipos \quad (4.3)$$

- **Número máximo de rondas posibles:** corresponde a la parte entera del resultado entre la división del número de preguntas en el banco y el número de equipos (ver Ecuación (4.4)).

$$\#Rondas_{max} = \left\lfloor \frac{\#PreguntasDisponibles - \#Equipos}{\#Equipos} \right\rfloor \quad (4.4)$$

- **Cálculo de bonificaciones:** se realiza para cada equipo a partir de la suma de la bonificación otorgada por las gemas (ver Ecuación (4.5)).

$$Bonificacion = (\#Diamantes \times 0.2) + (\#Rubies \times 0.1) + (\#Esmeraldas \times 0.05) \quad (4.5)$$

- **Cálculo de nota final:** se realiza para cada equipo a partir de los puntos de la tabla y la suma de la bonificación otorgada por las gemas (ver Ecuación (4.6)).

$$NotaFinalEquipo = \frac{5 \times PuntajeEquipo}{\#RondasJugadas} + Bonificacion \quad (4.6)$$

- **Cálculo de nota de la evaluación final construida para cada estudiante:** en vista de que es probable que las evaluaciones para cada estudiante queden de diferente cantidad de preguntas, el cálculo de la nota de la evaluación deberá hacerse a partir de una ecuación (ver Ecuación (4.7)).

$$NotaEvaluacion = \frac{5 \times \#PreguntasCorrectas}{\#PreguntasContenidasEnEvaluacion} \quad (4.7)$$

Adicionalmente, el juego serio colaborativo cuenta con 2 condiciones que se verifican internamente durante su ejecución, y 3 modalidades diferentes de juego podrán ser elegidas por el profesor de forma previa al inicio del juego, así:

- **Condición 1:** todos los estudiantes deben ser retados al menos una vez.
- **Condición 2:** todos los equipos son retados el mismo número de veces.
- **Modalidad 1 (modo rápido):** jugar la cantidad mínima de rondas posibles.
- **Modalidad 2 (modo manual):** jugar una cantidad intermedia de rondas (entre el número máximo y el mínimo de rondas posibles).
- **Modalidad 3 (modo extendido):** jugar la cantidad máxima de rondas posibles.

4.2.3 Modelo de reconocimiento al buen desempeño

En aras de incentivar la participación de los estudiantes en el juego, se propone un modelo de insignias (conocido en inglés como e-learning badges) compuesto por gemas tales como diamantes, rubíes y esmeraldas. Con este modelo, se pretende premiar ciertos comportamientos durante la ejecución del juego, evitando que a partir de las insignias se brinde ventajas únicamente a los mejores equipos (es decir, cualquier equipo estará en condiciones de ganar una insignia). En consecuencia, el modelo presentado evita que, por la asignación de las insignias, los equipos más deficientes siempre queden en las últimas posiciones de la tabla de resultados.

Es necesario destacar que, para asignar las insignias, el profesor debe categorizar las preguntas en niveles de dificultad “bajo”, “medio” y “alto”, además de asignar los tiempos límite para responder cada pregunta. Dichas tareas deben realizarse antes del inicio de la ejecución del juego. De esta manera, la entrega de reconocimientos se realiza como se detalla a continuación:

- **Diamante:** se otorgará al equipo que tenga un acierto a la respuesta de una pregunta difícil en menos de 15 segundos.
- **Rubí:** se otorgará al equipo que tenga un acierto a la respuesta de una pregunta difícil.
- **Esmeralda:** se otorgará al equipo que tenga un acierto a la respuesta de una pregunta de nivel medio en menos de 15 segundos.

Al finalizar la ronda de preguntas del juego, se presentará la tabla de posiciones, se calculará la nota para cada equipo y se asignará una bonificación a partir del intercambio de las gemas obtenidas por un aumento en la nota que recibirá cada equipo según su posición la tabla (dicho aumento no podrá sobrepasar en ningún caso el tope de la escala de calificación), así:

- **Diamante:** cada gema de este tipo equivale a un aumento de 0.2 en la nota final.
- **Rubí:** cada gema de este tipo equivale a un aumento de 0.1 en la nota final.
- **Esmeralda:** cada gema de este tipo equivale a un aumento de 0.05 en la nota final.

4.3 Modelo de servicios de awareness

A partir de la utilización de servicios de awareness en ambientes de aprendizaje colaborativo, se pretende sensibilizar a los estudiantes y equipos de trabajo, sobre el desempeño durante la ejecución del esquema para el desarrollo de actividades colaborativas propuesto en la sección 4.1. En consecuencia, con el objetivo de dotar al modelo de la consciencia necesaria para mantener los equipos de trabajo cohesionados, interesados, motivados y alertas, se definen unos servicios de awareness los cuales son posteriormente implementados en un prototipo que finalmente es validado en un caso de estudio real.

Los servicios presentados a continuación permiten a los profesores, estudiantes, y en general a los equipos de trabajo involucrados en el juego, conocer su estado durante la ejecución de éstos. Es importante destacar que la información generada y capturada durante el avance de un juego se actualiza constantemente, y que el hecho de estar al tanto de estos cambios mejora el rendimiento, la concentración y la motivación de los equipos en su proceso de aprendizaje. Los servicios de awareness diseñados se presentan a continuación.

- **Visualización de rondas y turnos:** este servicio realiza la presentación de datos visuales acerca del estado de ejecución de una partida del juego serio. Lo anterior, con respecto a los turnos, rondas, estudiantes y equipos involucrados en cada turno.
- **Tabla de posiciones equipos:** presenta tanto al profesor como al estudiante una vista de las posiciones en tiempo real de cada uno de los equipos participantes en el juego.
- **Alarmas y notificaciones:** este servicio posee una conducta proactiva la cual le permite generar alarmas y notificaciones a partir del comportamiento de los estudiantes y equipos durante la ejecución del modelo. Dichas notificaciones o alarmas se presentan a los usuarios por expiración de tiempos de respuesta en los turnos de juego, por tardanza en la construcción de preguntas o presentación de una evaluación, o como motivación a los estudiantes acerca de un posible cambio de posición en la tabla por el acierto o fallo en la respuesta de la pregunta. El comportamiento de este servicio permite generar un estado de alerta y motivación en los estudiantes. Además, parte de lo que se espera con este servicio, es que la actividad se pueda ejecutar en los tiempos

planeados, y que se conozca de manera anticipada lo que puede suceder en la tabla de posiciones del juego con el comportamiento en cada uno de los turnos de un equipo.

- **Tabla de insignias:** este servicio es muy especial ya que tiene un impacto directo en las emociones positivas del equipo, gracias a que se encuentra enfocado en la motivación de los estudiantes. Básicamente, su funcionalidad está asociada a la presentación de alertas motivacionales relacionadas con la adquisición de insignias en el juego. En consecuencia, dicho otorgamiento de insignias motiva a los equipos a obtenerlas, y por ende a tener un mejor desempeño durante la ejecución de actividades colaborativas a través del juego serio.
- **Estadísticas de ejecución:** es una vista que se presenta para el profesor con el resumen de ejecución del modelo en un instante de tiempo. Las estadísticas mostradas al profesor se actualizan en cada etapa del modelo y sirven para identificar los estudiantes que mejor y peor desempeño están teniendo, respuestas erradas en las evaluaciones, el equipo más rápido en contestar preguntas, el más lento, el tiempo promedio de respuesta por equipo. Además, esta vista permite visualizar el estado e histórico de las actividades que se han ejecutado, con el objetivo de que el profesor pueda conocer y monitorear el estado de los equipos de manera continua.
- **Recursos de aprendizaje recomendados y accedidos:** este servicio tiene dos funcionalidades asociadas; presenta a los estudiantes los recursos de aprendizaje recomendados, y presenta al profesor la información asociada a los recursos que han sido o no visualizados por cada estudiante.

4.4 Modelo de representación ontológica del dominio asociado a las actividades del entorno colaborativo

Esta sección, detalla el modelo de representación del conocimiento del dominio asociado a la ejecución de actividades en un entorno colaborativo. A partir del desarrollo de las fases de especificación, conceptualización, formalización e implementación pertenecientes a la metodología Methontology [54], se logró obtener el modelo ontológico que se detalla en cada una de las etapas, el cual brinda inteligencia al modelo propuesto y conceptualiza formalmente los elementos asociados con el dominio. Este modelo presenta como una de

las entidades principales la Actividad desde la cual se despliega todo el esquema para el desarrollo de la misma por parte del profesor.

4.4.1 Fase de especificación

En esta fase de la metodología, se solicita la definición del alcance, los objetivos, el propósito, el nivel de formalidad y los usuarios finales de la ontología [55]. En ese sentido, se define lo anteriormente mencionado para completar la fase, así:

- **Alcance**

Generar una descripción semántica que permita representar la estructura definida para un entorno de aprendizaje colaborativo, incluyendo la representación formal de los equipos de trabajo, así como sus debilidades asociadas.

- **Objetivos**

Según la metodología, los objetivos identificados para el desarrollo de la ontología corresponden a los siguientes: (1) Diseñar una estructura semántica que permita la construcción de una ontología para la recuperación de debilidades asociadas a los equipos de trabajo en entornos de aprendizaje colaborativo; (2) Describir los conceptos necesarios para definir la estructura de un entorno de aprendizaje colaborativo, del perfil de usuario y del perfil de equipo; (3) Definir las reglas a través de las cuales se puedan seleccionar de forma automática palabras clave para la realimentación y recomendación de recursos, así como para la detección de fallas cognitivas asociadas a cada equipo de trabajo.

- **Usuarios**

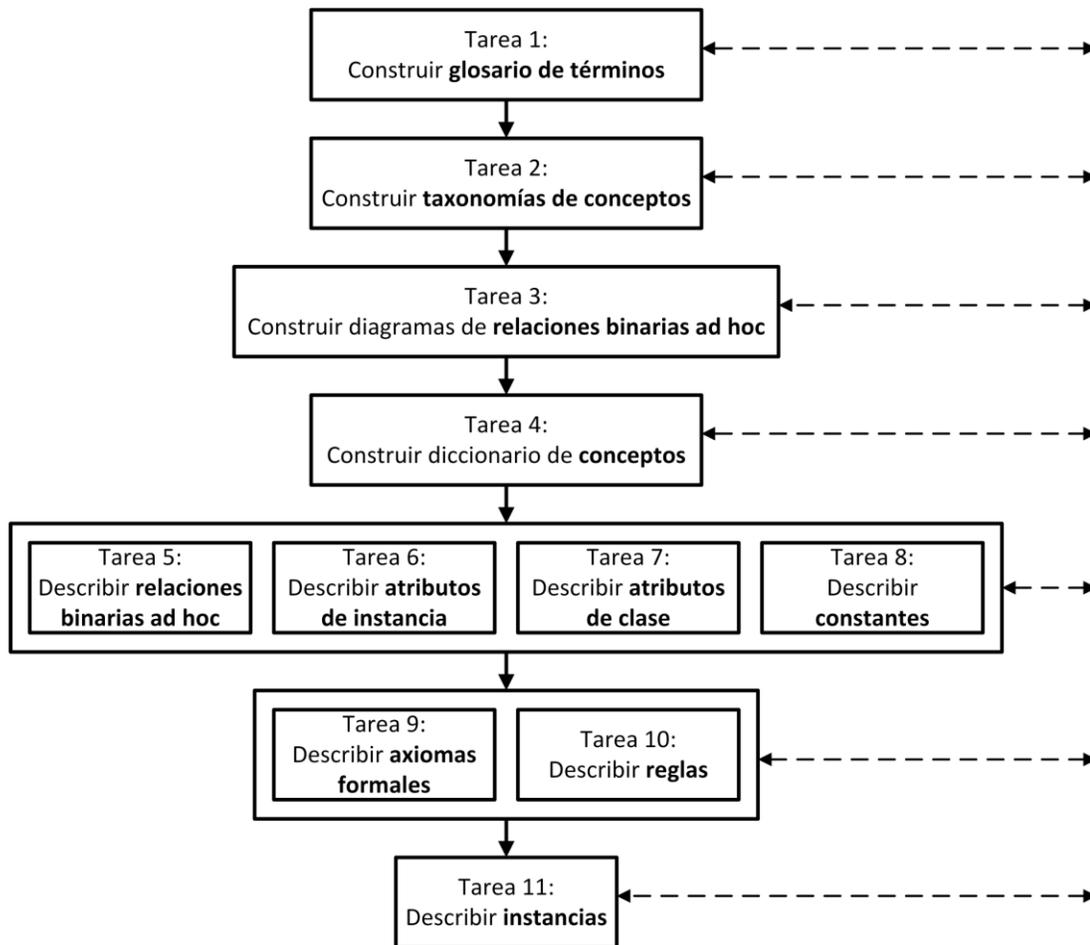
Se identifican como usuarios finales de la ontología a los profesores y estudiantes, quienes podrán saber qué recursos educativos se recomiendan gracias a la información proporcionada a partir de las inferencias de la ontología.

4.4.2 Fase de conceptualización

Según Methontology “la fase de conceptualización comprende el organizar y convertir una percepción informal de un dominio en una especificación semi-formal usando un conjunto de representaciones intermedias (tablas, diagramas) que puedan ser entendidas por los expertos del dominio y los desarrolladores de ontologías” [56]. Adicionalmente, los

objetivos de esta fase son distribuidos en 11 tareas las cuales son presentadas en la Figura 4-3.

Figura 4-3: Tareas correspondientes a la fase de conceptualización de Methontology. Tomado y adaptado de [19].



▪ **Tarea 1: Construir el glosario de términos.**

Para realizar la construcción de la ontología, se identificaron los conceptos que se encontraban relacionados con el dominio y se construyó un glosario de términos que permitiera mostrar las principales definiciones asociadas con el dominio de la ontología, así (ver Tabla 4-3).

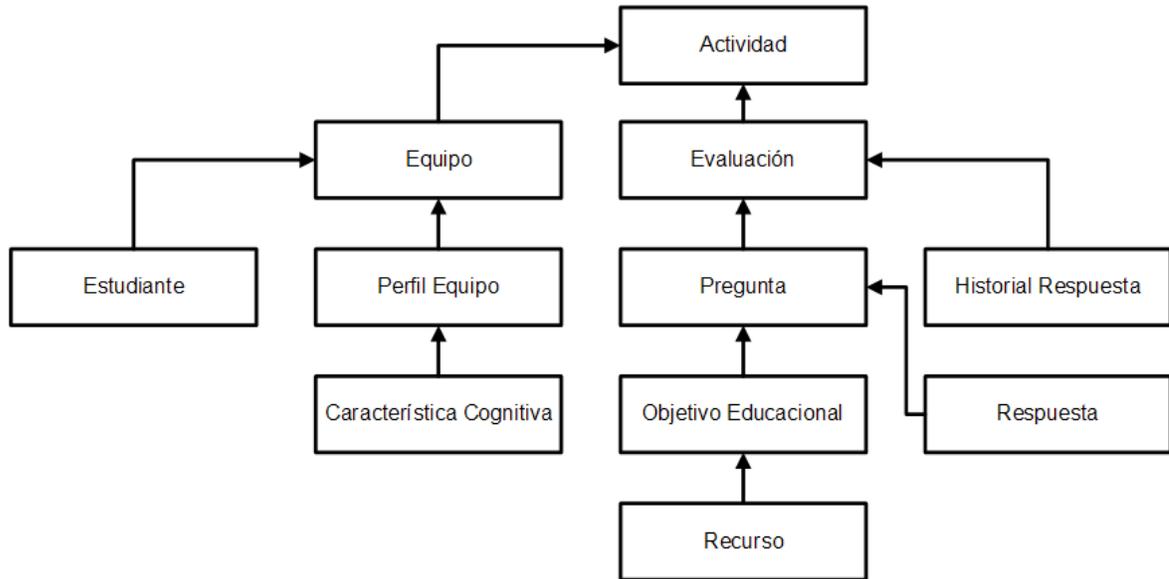
Tabla 4-3: Glosario de términos de la ontología propuesta.

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
Actividad	Corresponde a un trabajo o tarea a desarrollar que se encuentra enmarcada en una temática de un curso.
Característica Cognitiva	Corresponde a una característica de conocimiento de un estudiante. En este caso dicha característica puede ser una falla o una fortaleza.
Equipo	Corresponde a la agrupación de estudiantes que trabajan por alcanzar un mismo objetivo.
Estudiante	Es el individuo del aula de clase que se encuentra aprendiendo, compartiendo y generando conocimientos en un entorno de aprendizaje.
Evaluación	Corresponde a un examen que se realiza para validar los conocimientos adquiridos por un estudiante o un equipo de estudiantes.
Historial Respuesta	Es el histórico de respuestas brindadas por los estudiantes en el marco de una evaluación de selección múltiple con única escogencia.
Objetivo Educativo	Corresponde a las metas educativas que deben ser alcanzadas por los estudiantes en el ámbito de un curso.
Perfil Equipo	Es una descripción de las características cognitivas generalizadas en el equipo. Básicamente se traduce en las fortalezas y debilidades de un equipo a partir de ponderaciones de las características individuales.
Pregunta	Es el enunciado de la pregunta que se presenta en el ámbito de una evaluación.
Recurso	Es un OA o un tutor que puede ayudar a los estudiantes a aprender, entender o aclarar un concepto relacionado con una actividad.
Respuesta	Corresponde a las opciones brindadas para solucionar o contestar cada una de las preguntas.

▪ **Tarea 2: Construir la taxonomía de conceptos.**

A partir del desarrollo de la tarea 1, se logró construir una taxonomía de conceptos que permitió establecer en esta tarea las jerarquías entre los conceptos (ver Figura 4-4).

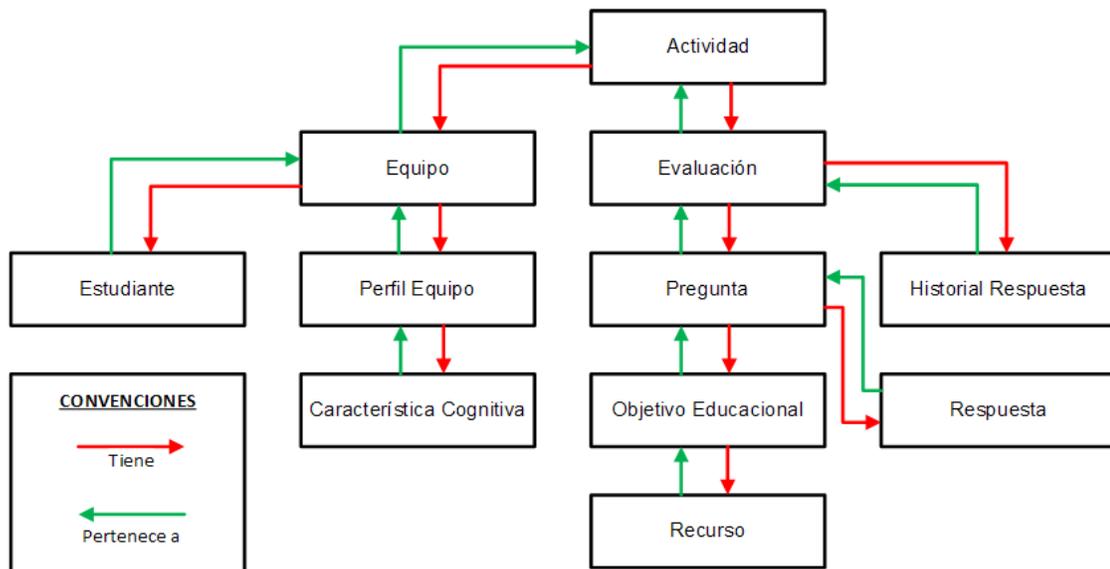
Figura 4-4: Taxonomía de conceptos de la ontología.



▪ **Tarea 3: Construir el diagrama de relaciones binarias.**

El objetivo de este diagrama es establecer las relaciones entre los conceptos de una o más taxonomías (ver Figura 4-5).

Figura 4-5: Diagrama de relaciones binarias de la ontología.



▪ **Tarea 4: Construir el diccionario de conceptos.**

El diccionario de conceptos desarrollado en esta tarea, contiene los atributos de clases y las relaciones de cada uno de los conceptos. Con el objetivo de cumplir a cabalidad con el

objetivo de esta tarea, fue indispensable realizar un mapeo de los conceptos identificados a clases, identificando así los atributos de cada una de estas (ver Tabla 4-4).

Tabla 4-4: Diccionario de conceptos.

CLASE	ATRIBUTOS	RELACIONES
Actividad	descripcionActividad	Tiene Pertenece a
Característica Cognitiva	descripcionCaracteristicaCognitiva tipoCaracteristicaCognitiva	Tiene Pertenece a
Equipo	tipoEquipo nombreEquipo numeroEquipo	Tiene Pertenece a
Estudiante	nombreEstudiante generoEstudiante fechaNacimientoEstudiante	Tiene Pertenece a
Evaluación	duracionEvaluacion tipoEvaluacion	Tiene Pertenece a
Evaluación Estudiante	fechaEvaluacionEstudiante notaEvaluacionEstudiante tiempoFinalizacionEvaluacionEstudiante	Tiene Pertenece a
Historial Respuesta	esCorrectaHistorial	Tiene Pertenece a
Objetivo Educativo	descripcionObjetivoEducativo	Tiene Pertenece a
Perfil Equipo	caracteristicaPorcentaje	Tiene Pertenece a
Pregunta	enunciadoPregunta palabrasClavePregunta descripcionRetroalimentacionPregunta	Tiene Pertenece a
Recurso	nombreRecurso urlRecurso	Tiene Pertenece a
Respuesta	descripcionRespuesta esCorrectaRespuesta	Tiene Pertenece a

▪ **Tarea 5: Describir las relaciones binarias.**

En esta tarea se crea la tabla de relaciones binarias en la que se presenta para cada relación binaria lo siguiente: nombre, conceptos fuente y destino, y relación inversa (ver Tabla 4-5).

Tabla 4-5: Descripción de relaciones binarias.

RELACIÓN	CLASE ORIGEN	CLASE(S) DESTINO	TIPO RELACIÓN
Tiene	Actividad	Equipo, Evaluación	Directa
	Equipo	Perfil Equipo, Estudiante	
	Evaluación	Pregunta, Historial Respuesta	
	Objetivo Educacional	Recurso	
	Perfil Equipo	Característica Cognitiva	
	Pregunta	Objetivo Educacional, Respuesta	
Pertenece a	Estudiante	Equipo	Inversa
	Característica Cognitiva	Perfil Equipo	
	Perfil Equipo	Equipo	
	Equipo	Actividad	
	Evaluación	Actividad	
	Pregunta	Evaluación	
	Objetivo Educacional	Pregunta	
	Recurso	Objetivo Educacional	
	Respuesta	Pregunta	
Historial Respuesta	Evaluación		

▪ **Tarea 6 y 7: Describir atributos de instancia y clase en detalle.**

En esta tarea se crea la tabla de instancia o clases en la que se describe detalladamente todos los atributos. Para cada uno, se especifica: nombre, concepto donde es definido, tipo de valor, y cardinalidad. Se agrupan las tareas 6 y 7 en vista de que los atributos de clase y de instancia corresponden a los mismos en este caso. Por otra parte, aunque se presenta únicamente una parte de los atributos asociados a los conceptos “Perfil Equipo”, “Característica Cognitiva” y “Evaluación Estudiante”, se realizó el detalle para los atributos de las demás clases (ver Tabla 4-6).

Tabla 4-6: Descripción de atributos de instancia en detalle.

ATRIBUTO	CLASE	TIPO DE VALOR	CARDINALIDAD
caracteristicaPorcentaje	Perfil Equipo	Texto	1-n
descripcionCaracteristicaCognitiva	Característica Cognitiva	Texto	1
tipoCaracteristicaCognitiva		Texto	1
fechaEvaluacionEstudiante		DateTime	1

ATRIBUTO	CLASE	TIPO DE VALOR	CARDINALIDAD
notaEvaluacionEstudiante	Evaluación Estudiante	Decimal	1
tiempoFinalizacionEvaluacionEstudiante		Decimal	1

▪ **Tarea 8: Describir contantes.**

Esta tarea no aplica para el dominio de la ontología desarrollada. En consecuencia, no es realizada.

▪ **Tarea 9: Describir axiomas formales.**

Esta tarea, al igual que la tarea 8, no aplica para el dominio de la ontología desarrollada. En consecuencia, no es realizada.

▪ **Tarea 10: Definición de reglas.**

En el desarrollo de esta tarea se identificaron las reglas necesarias para realizar inferencias mediante la ontología, en ese sentido, para la realimentación y la detección de fallas cognitivas asociadas a cada estudiante de los equipos, fueron creadas 2 reglas mediante el lenguaje de consulta SPARQL las cuales son presentadas en la Tabla 4-7 y explicadas a continuación.

Tabla 4-7: Reglas SPARQL para la realimentación y detección de fallas cognitivas.

NOMBRE	REGLA
Realimentación y recomendación de recursos	<pre> PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> PREFIX ontology: <http://www.semanticweb.org/santiago/ontologies/2017/5/ontology#> SELECT ?estudiante ?evaluacion ?nota ?historialRespuesta ?respuesta ?esCorrecta ?palabrasClave ?retroalimentacionPregunta WHERE { ?estudiante rdf:type ontology:Estudiante . ?estudiante ontology:perteneceAEvaluacionEstudiante ?evaluacion . ?evaluacion ontology:notaEvaluacionEstudiante ?nota . ?historialRespuesta rdf:type ontology:HistorialRespuesta . ?historialRespuesta ontology:perteneceAEvaluacionEstudiante ?evaluacion . ?historialRespuesta ontology:tieneRespuesta ?respuesta . ?respuesta ontology:esCorrectaRespuesta ?esCorrecta . </pre>

NOMBRE	REGLA
	<pre> ?respuesta ontology:perteneceAPregunta ?pregunta . ?pregunta ontology:palabrasClavePregunta ?palabrasClave . ?pregunta ontology:descripcionRetroalimentacionPregunta ?retroalimentacionPregunta . FILTER (?nota < 5 && ?esCorrecta = false)} </pre>
Detección de fallas cognitivas	<pre> PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> PREFIX ontology: <http://www.semanticweb.org/santiago/ontologies/2017/5/ontology#> SELECT ?estudiante ?evaluacion ?nota ?pregunta ?respuesta ?esCorrecta ?caracteristicaCognitiva ?tipoCaracteristicaCognitiva WHERE { ?estudiante rdf:type ontology:Estudiante . ?estudiante ontology:perteneceAEvaluacionEstudiante ?evaluacion . ?evaluacion ontology:notaEvaluacionEstudiante ?nota . ?historialRespuesta rdf:type ontology:HistorialRespuesta . ?historialRespuesta ontology:perteneceAEvaluacionEstudiante ?evaluacion . ?historialRespuesta ontology:tieneRespuesta ?respuesta . ?respuesta ontology:esCorrectaRespuesta ?esCorrecta . ?respuesta ontology:perteneceAPregunta ?pregunta . ?pregunta ontology:detectaCaracteristicaCognitiva ?caracteristicaCognitiva . ?caracteristicaCognitiva ontology:tipoCaracteristicaCognitiva ?tipoCaracteristicaCognitiva . FILTER (?nota < 5 && ?esCorrecta = false && sameTerm(?tipoCaracteristicaCognitiva, "falla_cognitiva"^^xsd:string))} </pre>

Regla1 (para la realimentación y recomendación de recursos): esta regla verifica las evaluaciones de cada estudiante y obtiene las palabras clave asociadas a las preguntas sobre las cuales su respuesta fue errada. Las palabras clave son utilizadas para la obtención de recursos educativos a través de la utilización de un servicio externo de recuperación de OAS.

Regla2 (para la detección de fallas cognitivas): esta regla obtiene las fallas cognitivas de cada estudiante para utilizarlas en la presentación de estadísticas y la asociación con las palabras clave de cada pregunta.

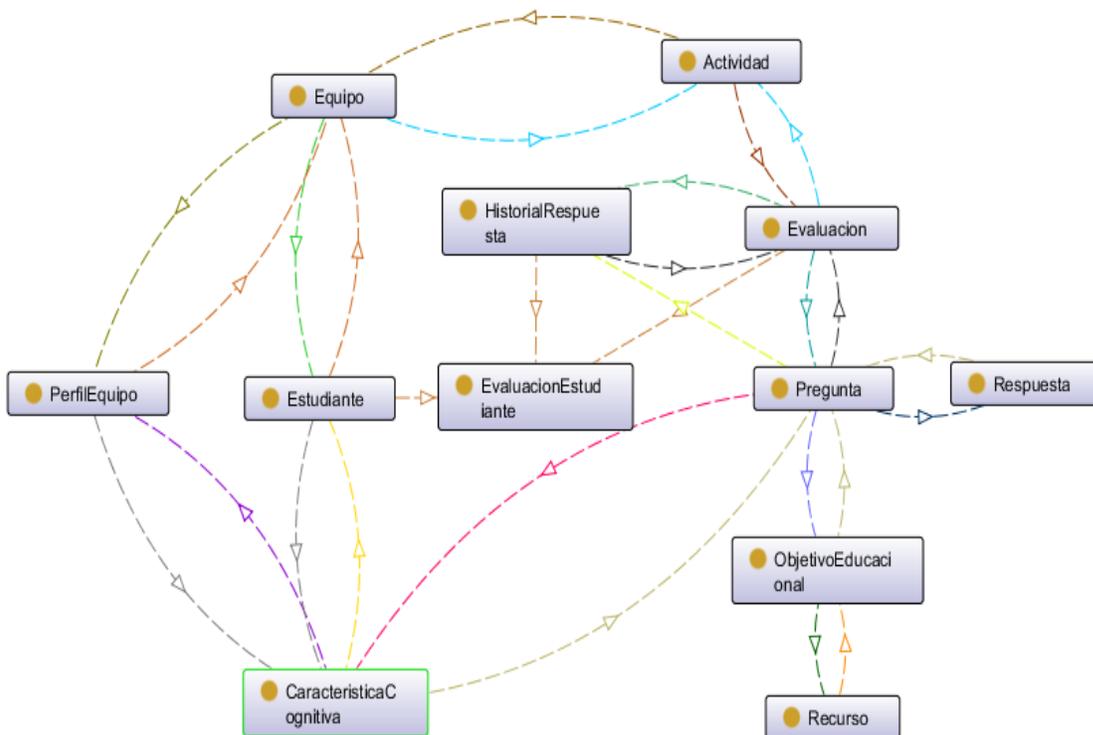
- **Tarea 11: Definir instancias.**

En esta tarea se definieron las instancias asociadas a las clases creadas, sin embargo, para ejecutar pruebas de manera más sencilla, se crearon instancias genéricas con contenido de prueba.

4.4.3 Fase de formalización e implementación

La fase de formalización e implementación de la ontología es la conclusión de las fases de la metodología, en este sentido consiste en plasmar el conocimiento identificado a partir de las fases previas haciendo uso de un lenguaje formal. Para la implementación se utilizó OWL mediante la herramienta Protégé [57]. En este sentido, se crearon 12 clases, 1204 instancias, 20 propiedades de tipo Object properties y 24 de tipo Data properties. La Figura 4-6 presenta las clases definidas con sus relaciones y fue generada a través de la funcionalidad de graficación de la herramienta Protégé con Ontograf.

Figura 4-6: Ontología generada con la herramienta Protégé.

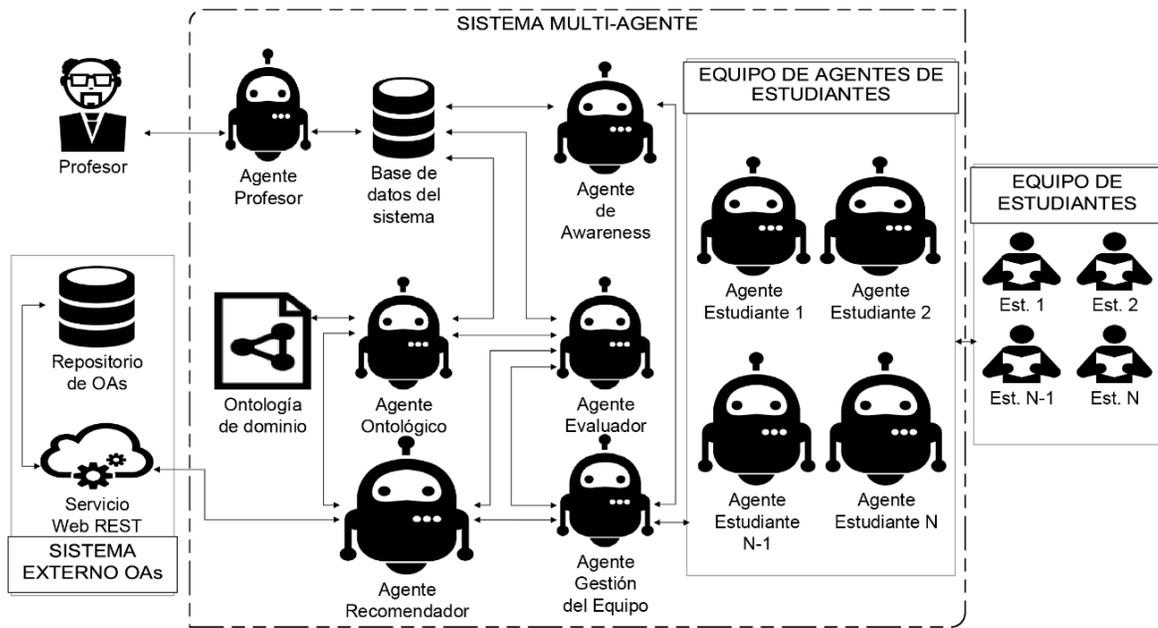


4.5 Modelo multi-agente colaborativo

Con el objetivo de brindar al modelo características de adaptabilidad, distribución de tareas y proactividad, tanto en los procesos de recomendación de recursos educativos, como durante la ejecución del modelo propuesto para el desarrollo de actividades colaborativas, se decide incorporar agentes inteligentes enmarcados en un SMA que facilite el diseño e

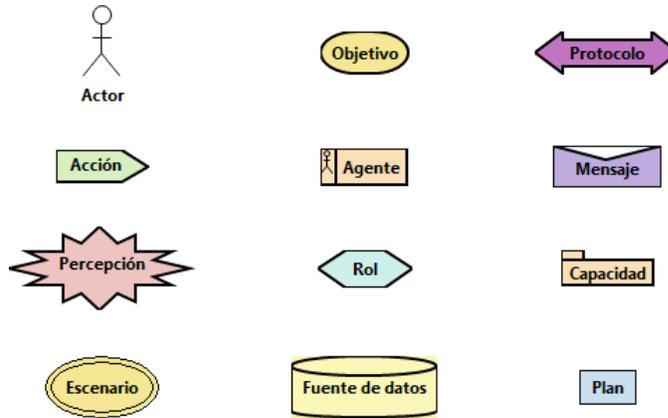
implementación de tareas proactivas y adaptativas. En ese sentido, fue diseñado el modelo correspondiente a la Figura 4-7 el cual es resultado de la aplicación de la metodología Prometheus [58] a través de sus tres fases definidas. Dicha metodología permite el diseño de SMA a partir de procesos detallados, consejos prácticos, y una variedad de artefactos que evolucionan con las iteraciones del modelamiento.

Figura 4-7: Modelo del SMA colaborativo propuesto que integra el SMA con los componentes ontológicos, la base de datos y el sistema externo de OAs.



Para ilustrar el proceso de diseño del sistema, se detallan los resultados obtenidos a través de cada una de las fases de la metodología. De esta manera, cada fase fue desarrollada mediante la herramienta de diseño de Prometheus, comúnmente conocida como PDT (por sus siglas en inglés para Prometheus Design Tool) [59]. A continuación, en la Figura 4-8 se detallan algunos de los artefactos proporcionados por PDT y que fueron utilizados en las fases de la metodología.

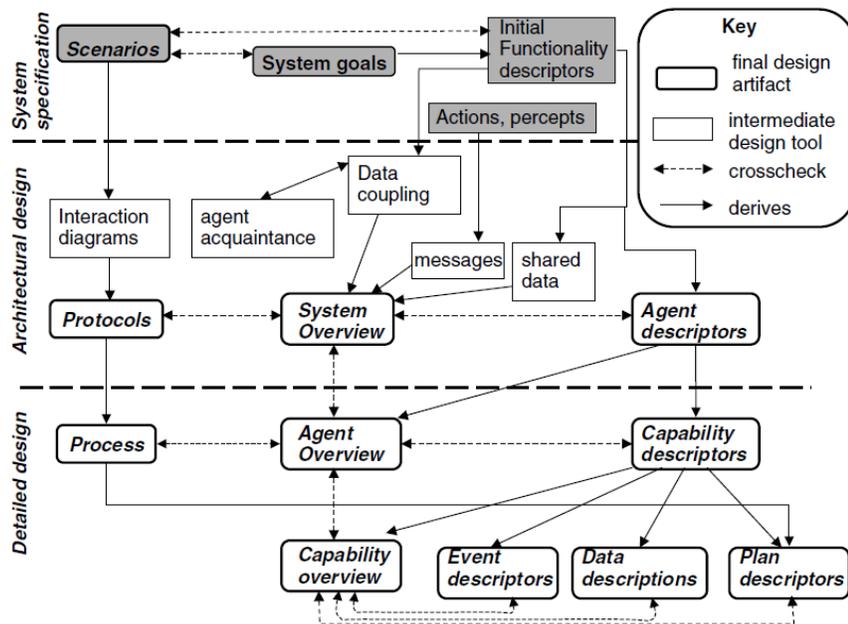
Figura 4-8: Artefactos proporcionados por PDT.



4.5.1 Fase de especificación del sistema

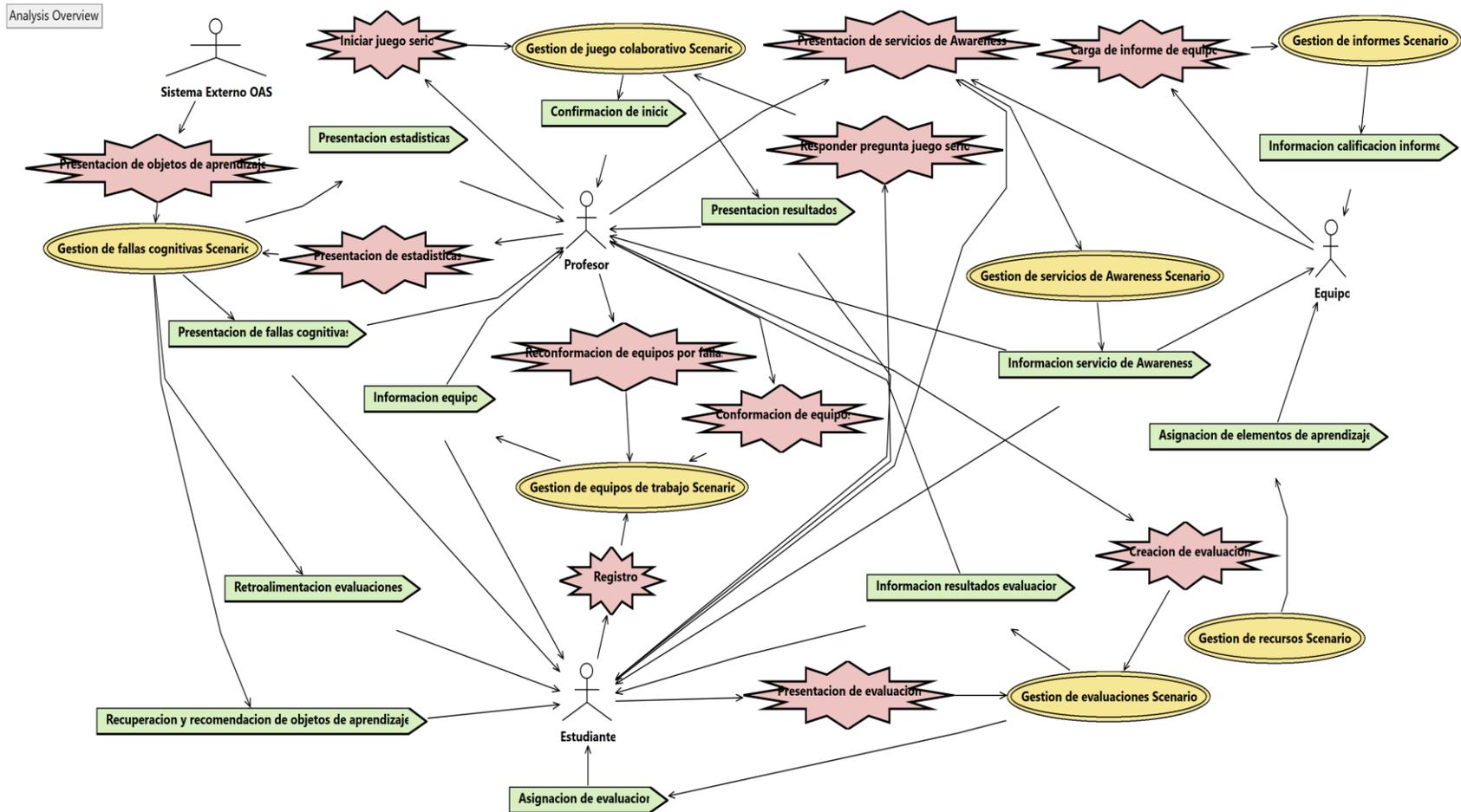
Tal como se muestra en la Figura 4-9, esta fase se enfoca en la especificación de objetivos del sistema, desarrollar los escenarios de casos de uso que presenten las funcionalidades del sistema, identificar las funcionalidades básicas y en especificar la interfaz entre el sistema y su entorno en términos de acciones y percepciones.

Figura 4-9: Fases, artefactos y relaciones en el proceso de diseño de arquitectura del SMA. Fase de especificación del sistema. Tomado de [60].



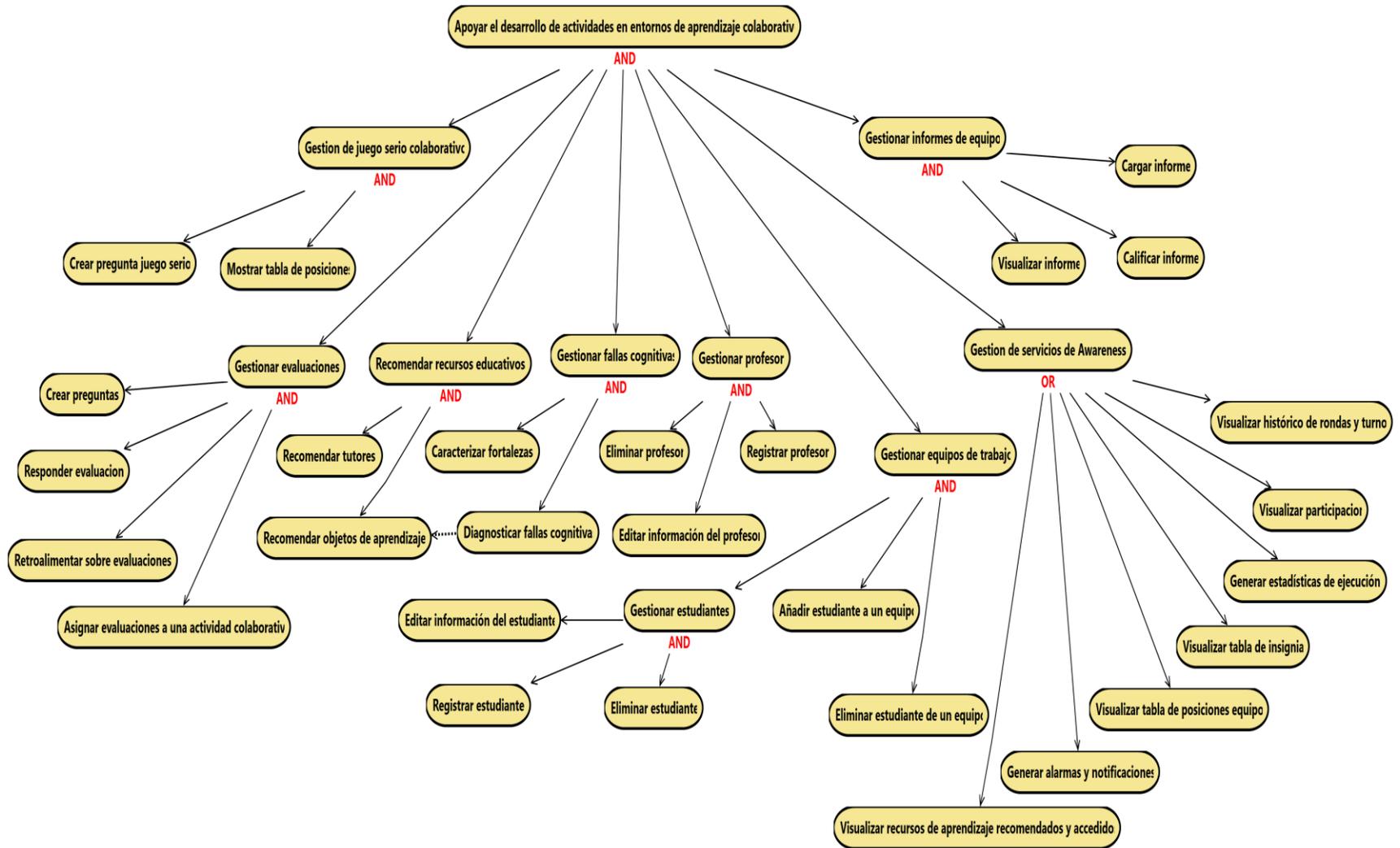
Para lograr exitosamente la ejecución de esta fase, se realiza de forma inicial una identificación de actores, sus interacciones con el sistema y el entorno en forma de percepciones y acciones, conectando dichas interacciones con los escenarios identificados. De esta manera, se identificaron 4 actores; Profesor, Estudiante, Equipo y el Sistema Externo de recuperación de OAs, los cuales interactúan en la ejecución del modelo de actividades colaborativas propuesto a través de los artefactos previamente mencionados. En consecuencia, se obtuvo la vista general de análisis presentada en la Figura 4-10.

Figura 4-10: Vista general del diagrama de análisis del SMA para la ejecución de actividades colaborativas.



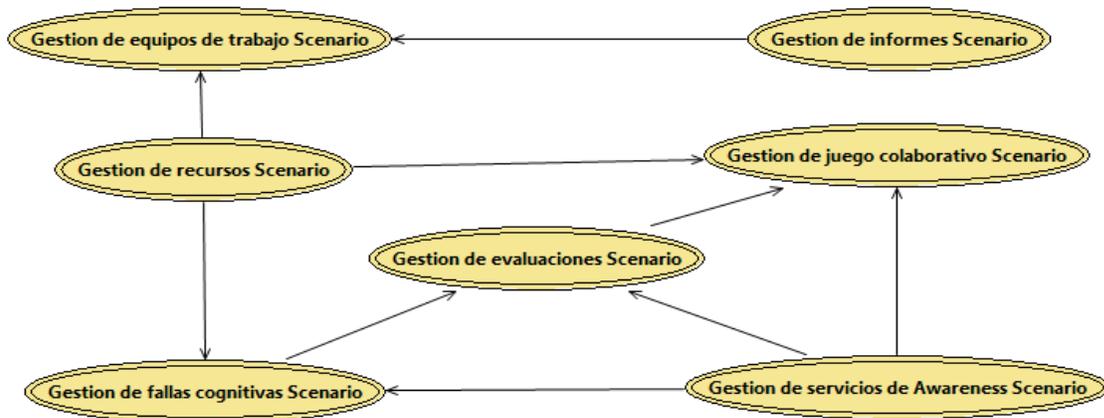
En segundo lugar, la fase de especificación del sistema contempla la identificación de metas u objetivos, en ese sentido, cada objetivo fue desagregado en objetivos más específicos, lo que dio como resultado el diagrama jerárquico de objetivos presentado en la Figura 4-11.

Figura 4-11: Vista del diagrama jerárquico de objetivos del SMA para la ejecución de actividades colaborativas.



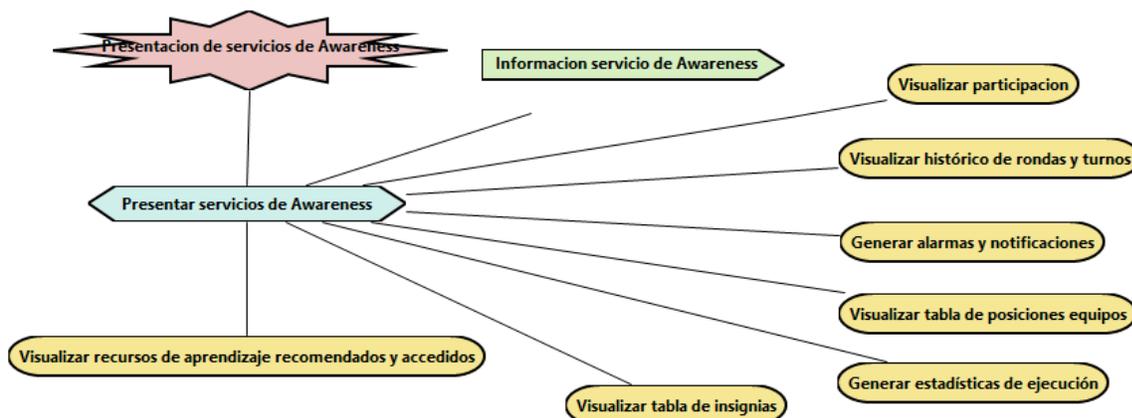
En tercer lugar, se definen los escenarios correspondientes al SMA, a partir de los cuales se logra un relacionamiento directo de los objetivos asociados en el modelo. Tal como se observa en la Figura 4-12 el diagrama presenta las relaciones existentes entre los escenarios planteados.

Figura 4-12: Vista general del diagrama de escenarios del SMA.



Finalmente, se identifican las funcionalidades del SMA a partir de los enlaces de los objetivos planteados con roles. Los principales roles identificados en el sistema corresponden a los siguientes: “presentar evaluaciones”, “mostrar estadísticas”, “recomendar recursos”, “realizar inferencias”, “asignar evaluaciones”, “gestionar actividades”, “administrar perfiles”, “presentar servicios de awareness”, “gestionar fallas cognitivas”, “gestionar informe de equipo”. En la Figura 4-13 se presenta el uno de los roles detallados a partir de las percepciones, objetivos y acciones.

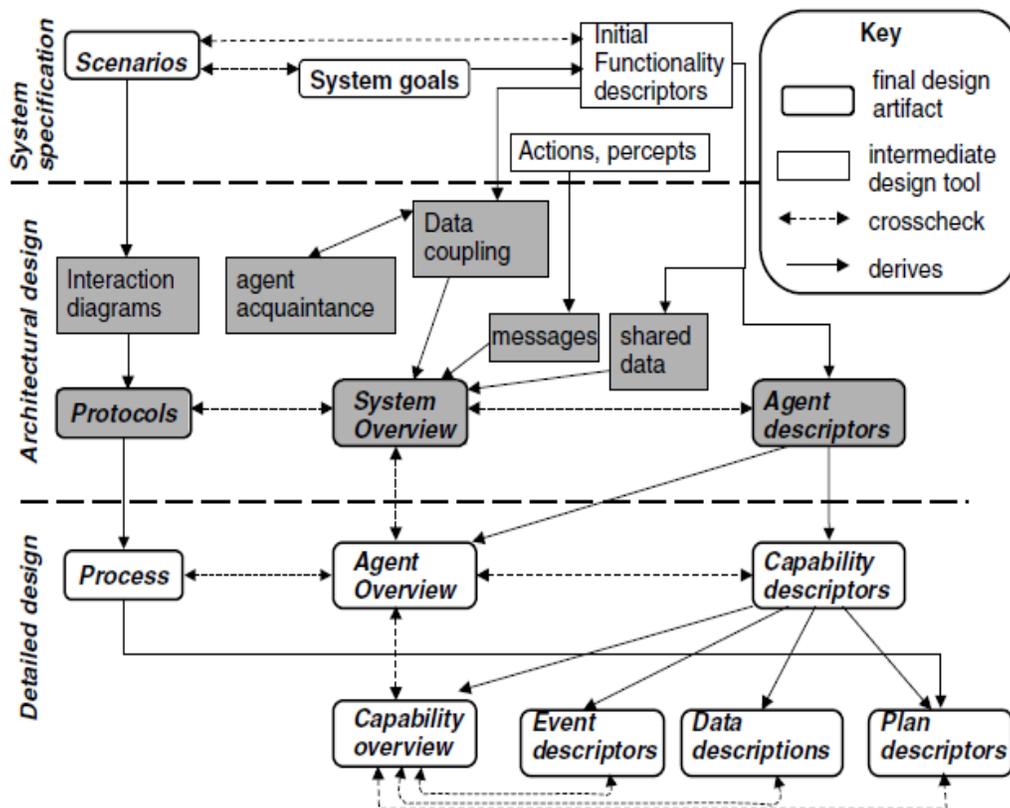
Figura 4-13: Vista general de roles del SMA. Detalle de rol para la presentación de servicios de awareness.



4.5.2 Fase de diseño de la arquitectura

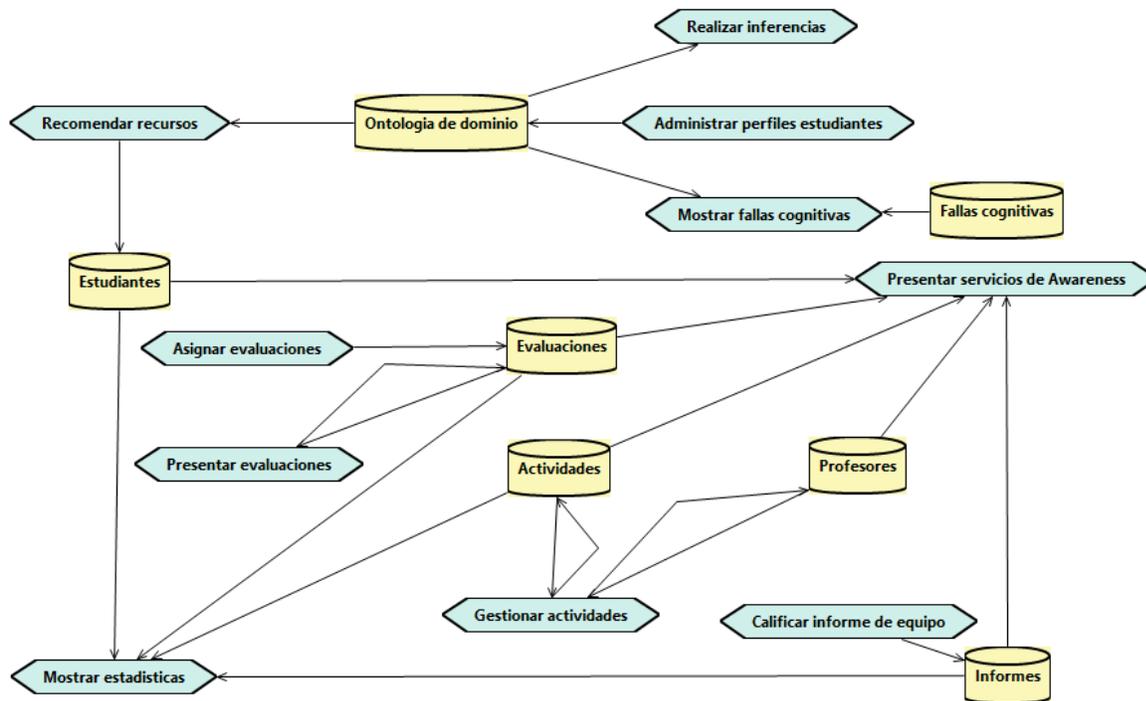
Como se muestra en la Figura 4-14, esta fase se enfoca en utilizar los artefactos de especificación del sistema para construir la arquitectura del sistema, en ese sentido, la arquitectura del sistema se desarrolla en tres pasos principales; en primer lugar, se identifican los agentes de aplicación, en segundo lugar, se especifican las interacciones del sistema, y finalmente, se diseña la vista general del SMA [58].

Figura 4-14: Fases, artefactos y relaciones en el proceso de diseño de arquitectura del SMA. Fase de diseño de la arquitectura. Tomado de [60].



Con el objetivo de lograr un diseño de arquitectura sólido para el SMA, como paso inicial se definieron y se enlazaron las fuentes de datos con los roles previamente planteados. De esta manera, se logró desarrollar el diagrama presentado en la Figura 4-15 que representa las fuentes de datos donde se almacenan información asociada a la ontología, equipos, estudiantes, profesores, fallas cognitivas, evaluaciones y actividades.

Figura 4-15: Diagrama de resumen de acoplamiento de datos.



Posteriormente, fueron definidos una serie de agentes que pudieran abarcar las necesidades y alcanzar los objetivos del SMA. Dichos agentes se describen a continuación:

- **Agente Estudiante:** se encarga de representar al estudiante en el ámbito de la plataforma, así como de administrar su perfil. Es un agente de interfaz, que administra todas las interacciones (percepciones y/o acciones) entre el sistema y el estudiante.
- **Agente Profesor:** representa al profesor dentro de la plataforma, lo asiste en el diseño instruccional de las actividades y la calificación de informes.
- **Agente Awareness:** presenta estadísticas de ejecución con el objetivo de generar consciencia a partir de la recopilación de información del contexto. Se encarga en general de administrar los servicios de awareness previamente definidos.
- **Agente Ontológico:** administra la ontología de dominio específico, es decir, se encarga de poblar las entidades y de realizar inferencias solicitadas por otros agentes.

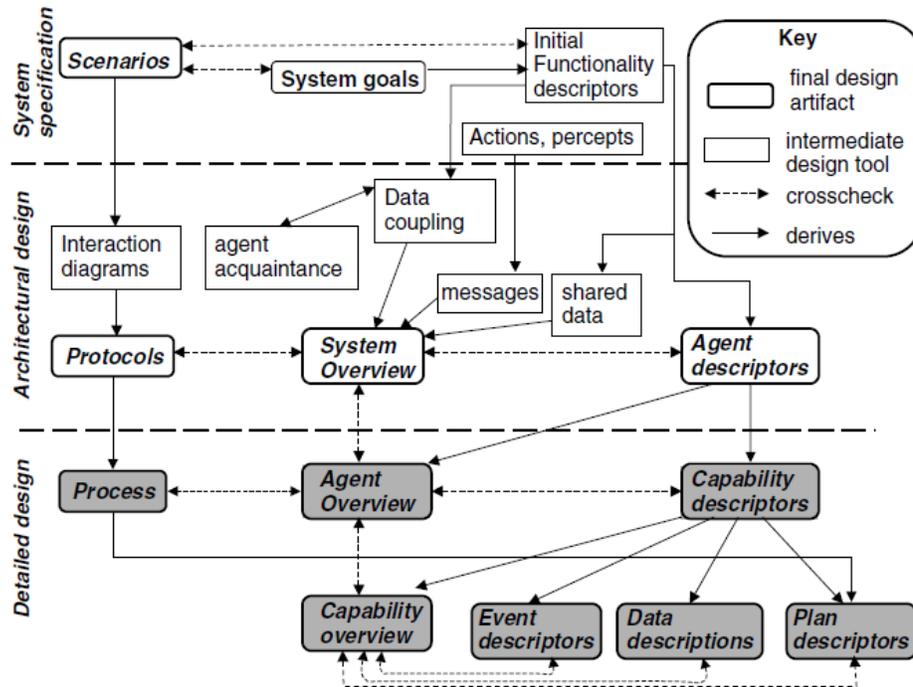
Dichas inferencias son generadas a partir del uso de consultas y están relacionadas con la detección de fallas cognitivas, estructura de las actividades, recursos, información puntual de los estudiantes y los equipos.

- **Agente Evaluador:** despliega las evaluaciones a los estudiantes, está encargado de la ejecución del juego, transfiere la información y almacena los resultados en la BD (Base de Datos) del sistema.
- **Agente Gestión Equipos:** se encarga de la comunicación y transferencia de información con los agentes que representan a cada uno de los estudiantes de los equipos. Además, este agente conoce los estudiantes que pertenecen a cada equipo.
- **Agente Recomendador:** tiene como objetivo entregar información al Agente Gestión Equipos para su posterior presentación. Por otro lado, se encarga de recomendar recursos de aprendizaje a través del consumo de un servicio Web expuesto por un sistema externo de administración de recursos de aprendizaje. Dicho sistema recibe las palabras clave inferidas por el Agente Ontológico cuando se detectan fallas cognitivas.

4.5.3 Fase de diseño detallado

La fase final de Prometheus (diseño detallado del SMA) (ver Figura 4-16) se encuentra orientada en describir la estructura interna de los agentes. Para lograrlo se hace uso de algunos de los elementos utilizados previamente como las acciones, percepciones y fuentes de datos, junto con otros elementos como planes y capacidades. De esta manera, y para cumplir el objetivo de la fase, el foco se encuentra en la definición de capacidades, eventos internos, planes y estructuras de datos detalladas para lograr una descripción del proceso.

Figura 4-16: Fases, artefactos y relaciones en el proceso de diseño de arquitectura del SMA. Fase de diseño detallado. Tomado de [60].



4.6 Conclusiones del capítulo

Este capítulo permitió presentar todos los componentes que conforman el modelo propuesto en esta investigación. En este sentido, se identificaron y caracterizaron todos los elementos del modelo y del dominio, se presentó el detalle del esquema para el desarrollo de actividades colaborativas, y la especificación del modelo de juego serio colaborativo. Por otra parte, se evidenció el proceso de construcción del modelo ontológico que especifica el dominio, brinda inteligencia al modelo propuesto y conceptualiza formalmente los elementos asociados. Además, se presentó el objetivo de los servicios de awareness, y se destacó y justificó la utilidad de agregar consciencia al modelo. Finalmente, se integraron todos los elementos anteriores a través del modelo multi-agente colaborativo construido. A partir de lo anterior, se logró resaltar las ventajas que aportan cada uno de los componentes integrados al modelo, y de esta manera garantizar que el modelo propuesto realmente otorgue más beneficios que la utilización de dichos componentes por aparte.

5. Implementación y validación del prototipo

Este capítulo presenta el desarrollo del prototipo funcional a partir del modelo propuesto en la sección 4. En este sentido, se detallan las funcionalidades desarrolladas en el prototipo, las herramientas utilizadas para su implementación, modelos de desarrollo de software construidos y evidencias de la viabilidad de uso a partir de la validación del prototipo con métricas aplicadas en un caso de estudio.

El aplicativo desarrollado como prototipo corresponde al juego serio colaborativo presentado anteriormente y fue denominado COLEGA. El nombre brindado proviene de las siglas en inglés para Collaborative Learning Game, además, hace apología a su significado el cual se encuentra asociado con la amistad o con las personas que ejercen una misma actividad, en este caso, una actividad enmarcada en un curso académico. En primera instancia, y con el objetivo de brindar fuerza a la identidad del nombre COLEGA, fue construido el logo correspondiente (ver Figura 5-1).

Figura 5-1: Logo aplicativo COLEGA.



Por otro lado, se destaca que la decisión de implementar el juego como prototipo para la verificación de la viabilidad del modelo, se debe a que éste agrupa todos los elementos

propuestos (, e integra los componentes y tecnologías previamente mencionados. De esta manera, el desarrollo fue dividido en 4 etapas, así:

- Desarrollo del aplicativo Web.
- Integración de los servicios de awareness.
- Desarrollo e integración de la plataforma multi-agente.
- Integración de la ontología en el aplicativo.

A continuación, se detalla cada una de las etapas en las que se evidencia la evolución de la construcción del prototipo del juego serio colaborativo, posteriormente se detalla el caso de estudio donde fue aplicado para finalmente proceder con los detalles de su validación.

5.1 Desarrollo del aplicativo Web

El aplicativo COLEGA fue construido bajo el Framework Laravel el cual se encuentra basado en el lenguaje de programación PHP. Este aplicativo Web se conecta a su vez con una API que se encarga de administrar los agentes y la ontología (el detalle se brinda en las secciones 5.4 y 5.4). Para lograr el desarrollo de un prototipo adaptado a las necesidades del modelo, se ejecutaron las siguientes actividades:

- Especificación de requerimientos funcionales del prototipo como historias de usuario.
- Diseño y construcción del modelo de datos del prototipo
- Diseño gráfico de pantallas y construcción del prototipo.

De esta manera, cada uno de los pasos enunciados hace parte fundamental de la totalidad del aplicativo Web, y con la culminación exitosa de cada uno de ellos se garantiza que COLEGA cuente con todos los elementos necesarios para integrar las etapas posteriores (servicios de awareness, agentes inteligentes y ontología). Con el objetivo de proporcionar la información necesaria de cada paso, se presenta el detalle a continuación.

5.1.1 Especificación de requerimientos funcionales del prototipo como historias de usuario

Con el objetivo de abstraer la información necesaria para detallar las interfaces y pantallas que conformarán el prototipo, y de esta manera proceder organizadamente con el desarrollo del mismo, se levantaron los requerimientos presentados a continuación:

- Configuración inicial del proyecto: Framework Laravel y migraciones de la base de datos del mismo.
- Visualización de preguntas construidas por los estudiantes para la categorización de las mismas por parte del profesor (por tres niveles “bajo”, “medio” y “alto”), asignación de tiempo límite por pregunta, asignación de palabras clave y objetivo educacional. (pantalla solo para el profesor).
- El sistema deberá contar con una pantalla para iniciar la ejecución del juego.
- Implementación lógica del juego: selección ascendente y automática del equipo retado, selección automática y aleatoria de una pregunta del banco de preguntas que haya sido construida por un equipo diferente al retado y presentación en pantalla de la misma.
- Presentación del nombre del estudiante y el equipo retado, presentación del nombre del equipo retador y nombre del estudiante retador (el estudiante retador no puede ser quien construyó la pregunta).
- Visualización de contador de tiempo regresivo en pantalla, el tiempo será tomado del tiempo asignado en cada pregunta.
- Después de la respuesta de cada jugador, se debe presentar si la respuesta fue correcta o incorrecta, mostrar quienes continúan en el siguiente turno y un botón "continuar". Una vez presionado el botón, se lanza la pregunta nueva.
- Asignación de puntaje e insignia (si es el caso) al equipo que le corresponda teniendo en cuenta las reglas definidas para la asignación de insignias. Construcción y actualización de la tabla de posiciones y la tabla de insignias en la respuesta de cada pregunta.

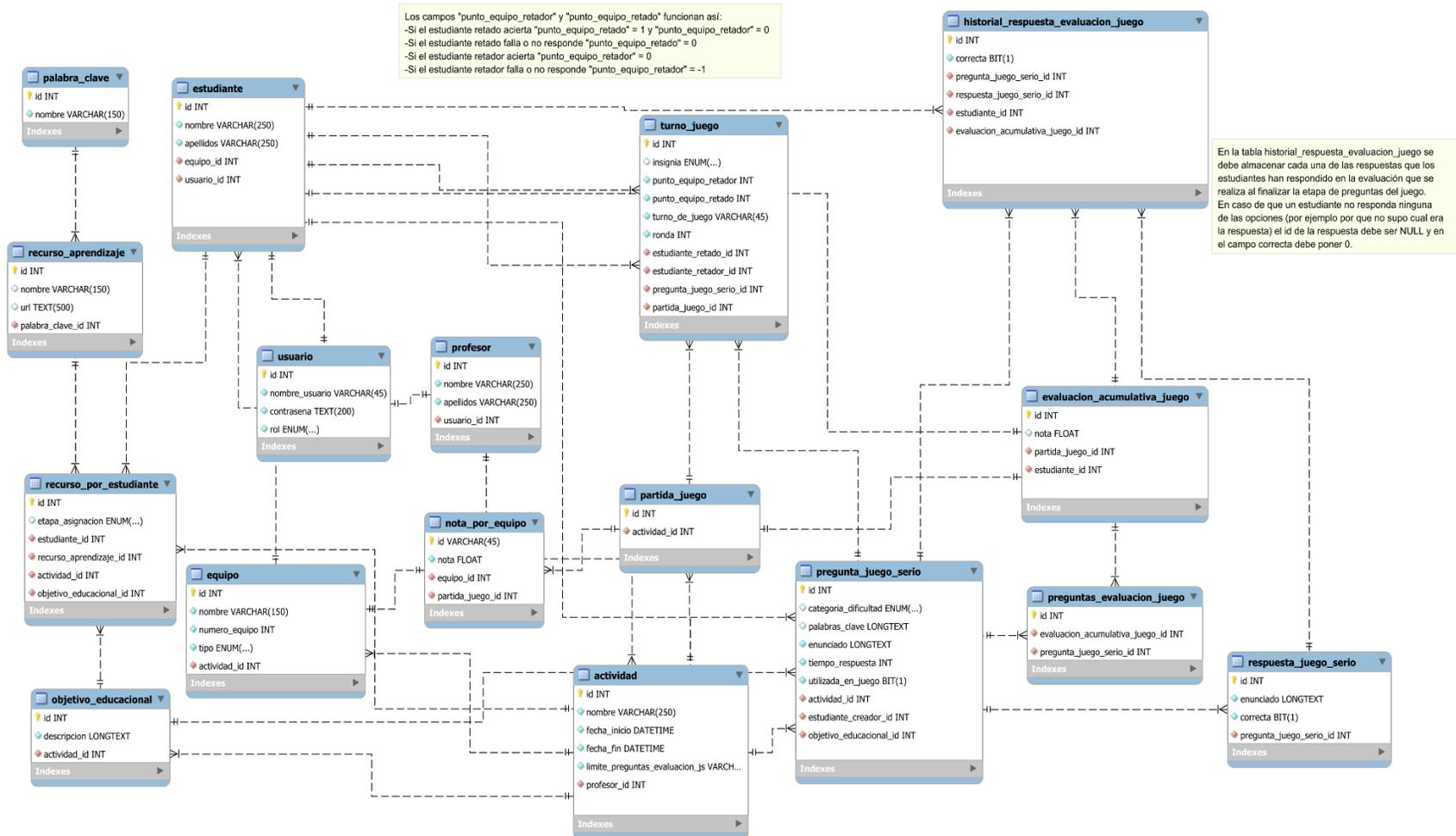
- El sistema contará con una pantalla intermedia después de la respuesta de cada pregunta. En caso de que acierte, se mostrarán los estudiantes "retado" y "creador" junto con un mensaje de felicitación por el acierto, en caso de que falle se mostrará solo el estudiante "retado" con un mensaje indicando el fallo y diciendo que se prepare un estudiante diferente al creador.
- El sistema deberá presentar notificaciones de generación de alertas y motivación a los estudiantes. Los mensajes generados serán los siguientes: (1) ¡Si respondes correctamente, podrás mantener el liderato! (2) ¡Si respondes correctamente, podrás salir de la última posición! (3) ¡Si respondes correctamente, podrás ascender de posición en la tabla! (4) ¡Si respondes correctamente, podrás seguir en la lucha por ascender de posición en la tabla! (5) ¡Responde correctamente para no reducir tus posibilidades de ganar! (6) ¡Responde correctamente para no disminuir de posición en la tabla! (7) ¡Responde correctamente para no alejarte de la primera posición en la tabla! (8) ¡Responde correctamente para disminuir la ventaja! (9) ¡Alerta! ¡Queda poco tiempo para responder!
- El sistema deberá mostrar la tabla de posiciones final una vez se termine el juego. La tabla de posiciones deberá mostrar en orden ascendente (desde el primero hasta el último lugar) los equipos, con la bonificación obtenida y la nota final. El cálculo de la nota final se hará sobre 5 y la fórmula para calcularla corresponde a la presentada en las reglas del juego.
- Cálculo de estadísticas al finalizar una partida, presentación de estadísticas en la parte inferior de la tabla de posiciones. Las estadísticas a presentar serán: (1) Equipo con mayor efectividad y su porcentaje; (2) Equipo con menor efectividad y su porcentaje; (3) Tres objetivos educacionales más cumplidos (fortalezas); (4) Tres objetivos educacionales menos cumplidos (debilidades).
- Una vez finalizado el juego, se deberán generar automáticamente las evaluaciones finales acumulativas para cada uno de los estudiantes. La adaptación de la evaluación se realiza a partir en los siguientes criterios: (1) Preguntas erradas por el estudiante; (2) Preguntas no contestadas por el equipo; (3) Preguntas que no se jugaron, es decir, que no salieron en ninguna de las rondas del juego (si aplica).

- El sistema contará con un inicio de sesión para los estudiantes y profesores a partir del nombre de usuario y la contraseña. El inicio de sesión para el usuario lo llevará de forma automática a la pantalla "mis notas", mientras que, para el profesor, el inicio de sesión lo llevará de forma automática a la pantalla "editar preguntas".
- Visualización pantalla bienvenida del usuario con el menú. Esta pantalla contará con un menú lateral con un ícono que represente el usuario, nombre completo y correo. Además, contará con las opciones "Presentar evaluación", "Mis notas" y "Cerrar sesión".
- La pantalla "presentar evaluación" está orientada en presentar todas las preguntas de la evaluación generada para el usuario con sus respectivas opciones de respuesta. En la parte inferior cuenta con un botón para "terminar" que terminará la presentación de la evaluación. Una vez se finalice, se deberá calcular el resultado de la evaluación, generar los recursos recomendados y dirigir al usuario de forma automática a la pantalla "Mis notas".
- Esta pantalla es accedida a través de la opción "mis notas". Su función es presentar las notas del usuario correspondientes al resultado de la evaluación y la participación en el juego serio. Además, al frente de cada nota se mostrará un botón para mostrar los recursos recomendados en cada etapa.
- El sistema asignará a los estudiantes de forma automática OAs. La asignación de realizará después de la ejecución del juego y una vez finalice la evaluación de cada estudiante. El sistema deberá almacenar en base de datos los recursos que han sido recomendados a cada usuario en cada etapa.
- El sistema presentará los recursos asociados a la evaluación seleccionada, mostrando el objetivo educacional al que se encuentran relacionados y permitirá hacer clic sobre cada recurso para acceder a él.

5.1.2 Diseño y construcción del modelo de datos del prototipo

Para soportar el almacenamiento de los datos necesarios para ejecutar COLEGA, se diseñó y construyó el modelo de datos correspondiente a la Figura 5-2, el cual describe como son guardados los datos a nivel físico en la aplicación.

Figura 5-2: Modelo entidad-relación del aplicativo COLEGA.



Es importante destacar que el objetivo del modelo entidad-relación, también se encuentra enfocado en describir las entidades identificadas, las relaciones y la cardinalidad existente entre las mismas. En consecuencia, la implementación de este modelo de datos permite almacenar los siguientes datos para COLEGA: equipos, estudiantes, profesores, actividades, partidas de juego, evaluaciones adaptadas a cada usuario, notas de evaluaciones, historial de turnos, preguntas, respuestas, objetivos educativos y recursos de aprendizaje, recursos recomendados, fallas cognitivas y fortalezas.

5.1.3 Diseño gráfico de pantallas y construcción del prototipo

Para la construcción del prototipo, se realizó un proceso de diseño de las interfaces que permitieran presentar la información asociada a los requerimientos detallados en la sección 5.1.1. A continuación, se presentan cada una de las pantallas diseñadas y se presenta una breve descripción acerca de la información contenida en la misma.

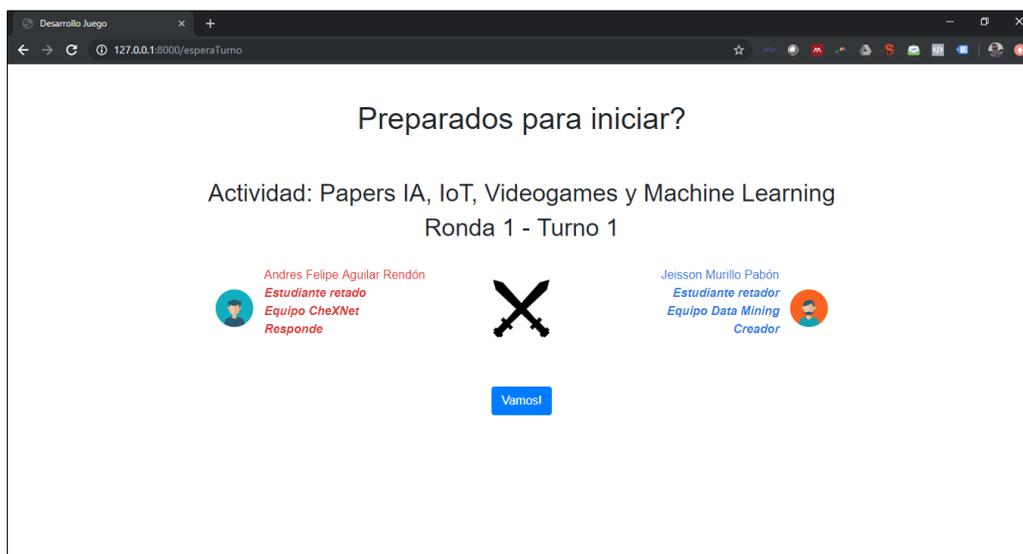
- **Interfaz de para iniciar el juego:** esta pantalla presenta una única funcionalidad la cual se encuentra asociada a un botón que permite iniciar una nueva partida de juego. Es importante destacar que para poder iniciar una nueva partida deben existir preguntas creadas previamente en el banco, que estas hayan sido correctamente categorizadas por nivel de dificultad por parte del profesor, que tengan tiempo asignado para la respuesta, palabras clave asignadas y un objetivo educativo asociado (ver Figura 5-3).

Figura 5-3: Interfaz de inicio de nueva partida de COLEGA.



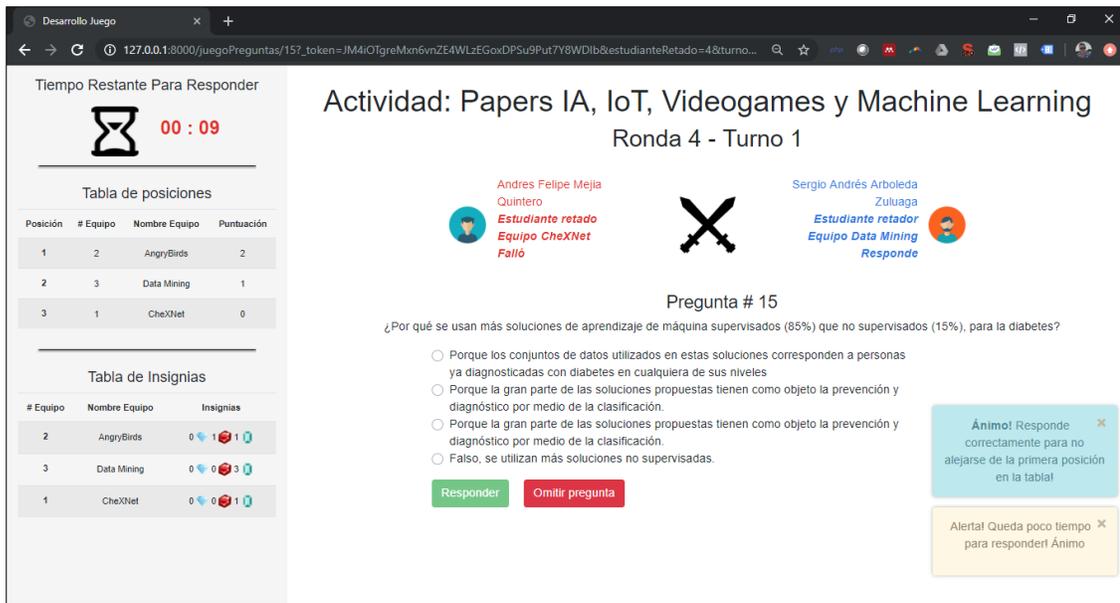
- **Interfaz de preparación de inicio del juego:** esta pantalla está conformada en la parte superior por el título de la actividad a la que corresponde la partida del juego, la información del estudiante retado y la información del estudiante que creó la pregunta. El objetivo de esta pantalla es permitir que el estudiante retado y los dos equipos involucrados en el reto puedan visualizar quien debe responder y quien debe estar listo en caso de tener que responder por un eventual fallo del estudiante retado. Adicionalmente, en la parte inferior se encuentra un botón para iniciar el turno (ver Figura 5-4).

Figura 5-4: Interfaz de preparación de inicio de COLEGA.



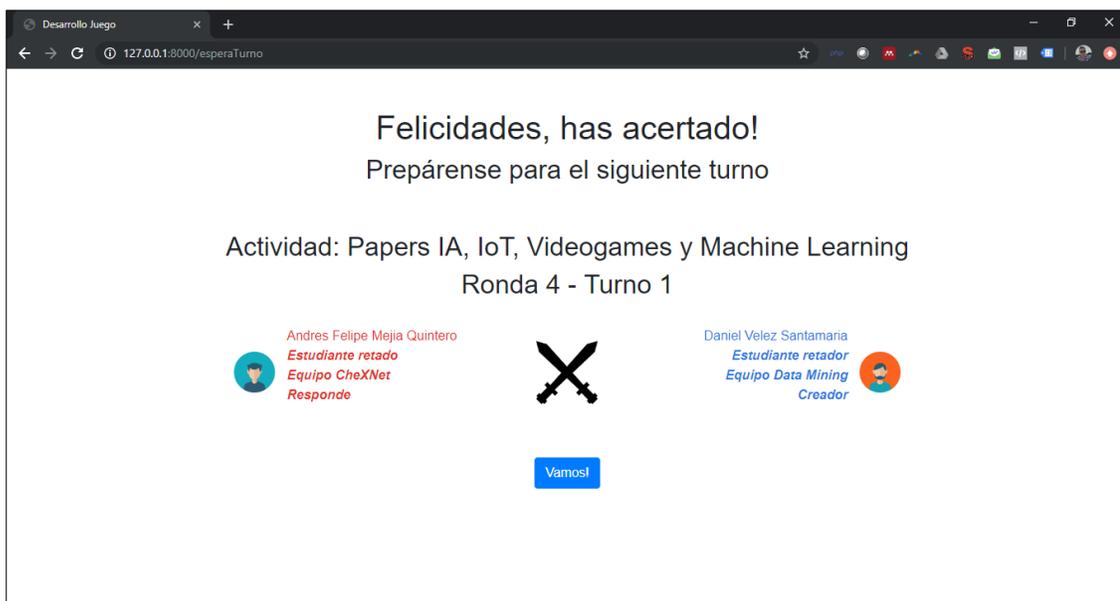
- **Interfaz principal del juego:** corresponde a la interfaz con más interacción, dinamismo, y complejidad de COLEGA. Esta pantalla presenta la visualización de la mayoría de los servicios de awareness propuestos, sin embargo, estos son presentados en detalle en la sección 5.2. Por otro lado, es importante destacar que existe una división de los componentes presentados en pantalla, así: en el lado izquierdo se presenta el contador de tiempo, y las tablas de posiciones e insignias por equipo. Adicionalmente, en el lado derecho y central de la interfaz se presenta la información del turno y ronda en ejecución, la pregunta en juego con sus opciones de respuesta, las notificaciones y alarmas, y los botones para responder u omitir la pregunta. Los elementos que componen esta pantalla se actualizan constantemente con el cambio de turno (ver Figura 5-5).

Figura 5-5: Interfaz principal de COLEGA.



- **Interfaz de mensaje de acierto luego de contestar pregunta:** esta pantalla se muestra al usuario cada vez que se responde una pregunta de manera exitosa. Básicamente presenta un mensaje de felicitación acompañado de la información correspondiente al próximo turno. Finalmente, se muestra un botón para continuar la ejecución del juego y dar paso al siguiente turno (ver Figura 5-6).

Figura 5-6: Interfaz intermedia de acierto luego de contestar pregunta.



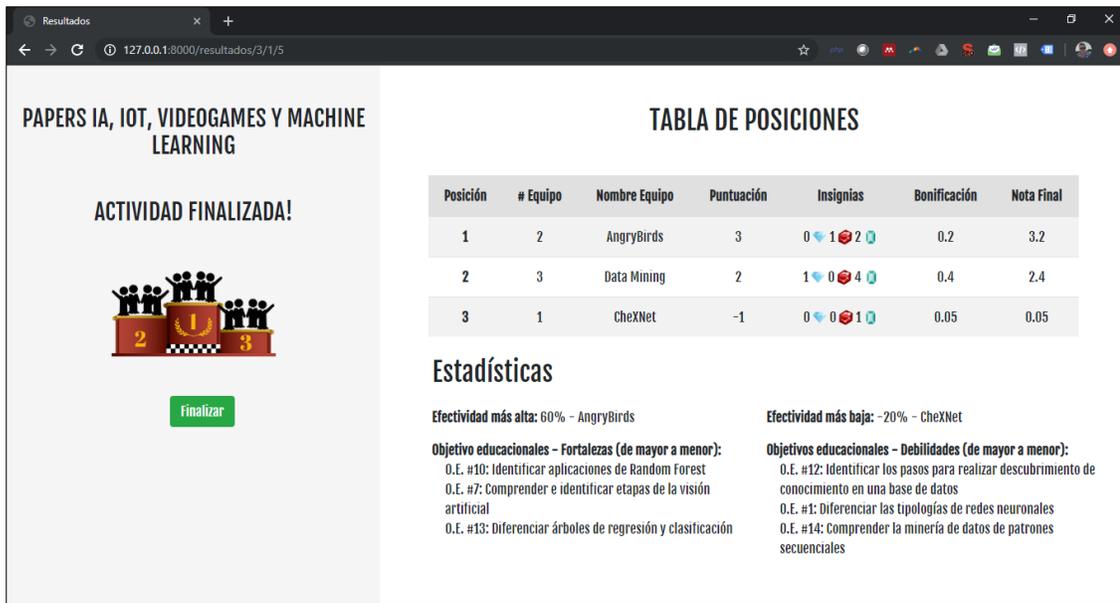
- **Interfaz de mensaje de fallo luego de contestar preguntas:** esta pantalla se muestra al usuario cada vez que se responde una pregunta de manera fallida. Básicamente presenta un mensaje de fallo acompañado de la información correspondiente al turno actual donde debe responder el estudiante retador. Finalmente, se muestra un contador de tiempo regresivo que continua actualmente la ejecución del juego (ver Figura 5-7).

Figura 5-7: Interfaz intermedia de fallo luego de contestar pregunta.



- **Interfaz final de presentación de resultados y estadísticas:** corresponde a la visualización de los resultados finales del juego. Esta pantalla presenta el resumen de la partida recientemente ejecutada. De esta manera, en la parte superior se encuentra una tabla que muestra las posiciones finales de los equipos, nombre del equipo, puntuación, insignias obtenidas, valor de bonificación y nota final. Adicionalmente, esta pantalla presenta otro de los servicios de awareness relacionado con las estadísticas finales: (1) Equipo con mayor efectividad y su porcentaje; (2) Equipo con menor efectividad y su porcentaje; (3) Tres objetivos educacionales más cumplidos (fortalezas); (4) Tres objetivos educacionales menos cumplidos (debilidades). Finalmente en el panel izquierdo se presenta un botón que permite al usuario finalizar la ejecución de esa partida de juego (ver Figura 5-8).

Figura 5-8: Interfaz final de ronda de preguntas con presentación de resultados y estadísticas de COLEGA.



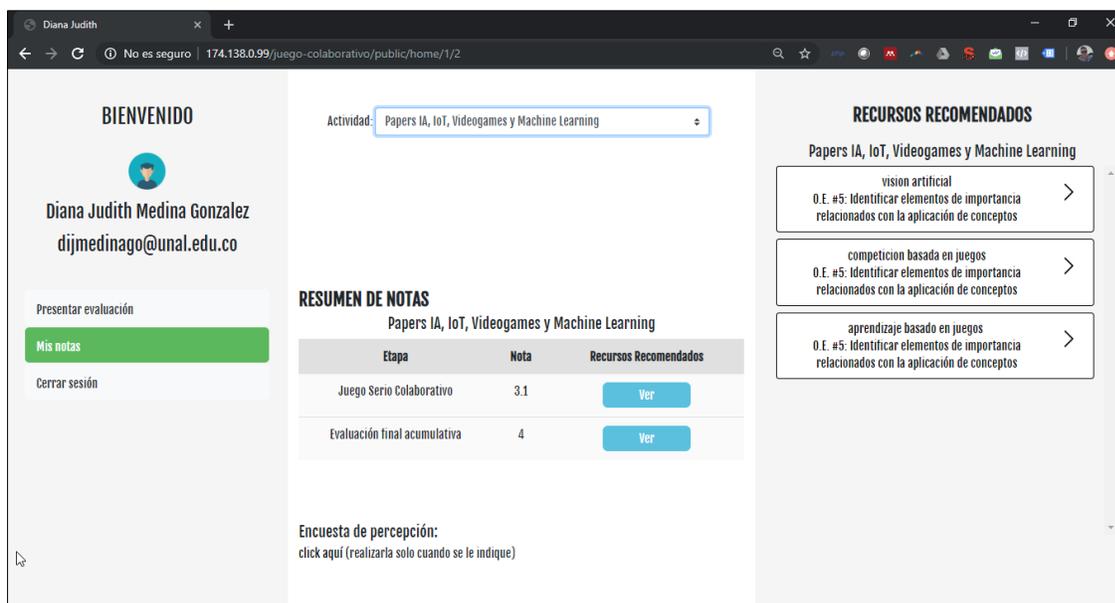
- **Interfaz de inicio de sesión:** corresponde a la funcionalidad que permite realizar el control de acceso a COLEGA. Es decir, a través de esta interfaz tanto los profesores como cada uno de los estudiantes puede ingresar a la plataforma para tener acceso a cada una de las funcionalidades (ver Figura 5-9).

Figura 5-9: Interfaz de inicio de sesión de COLEGA.



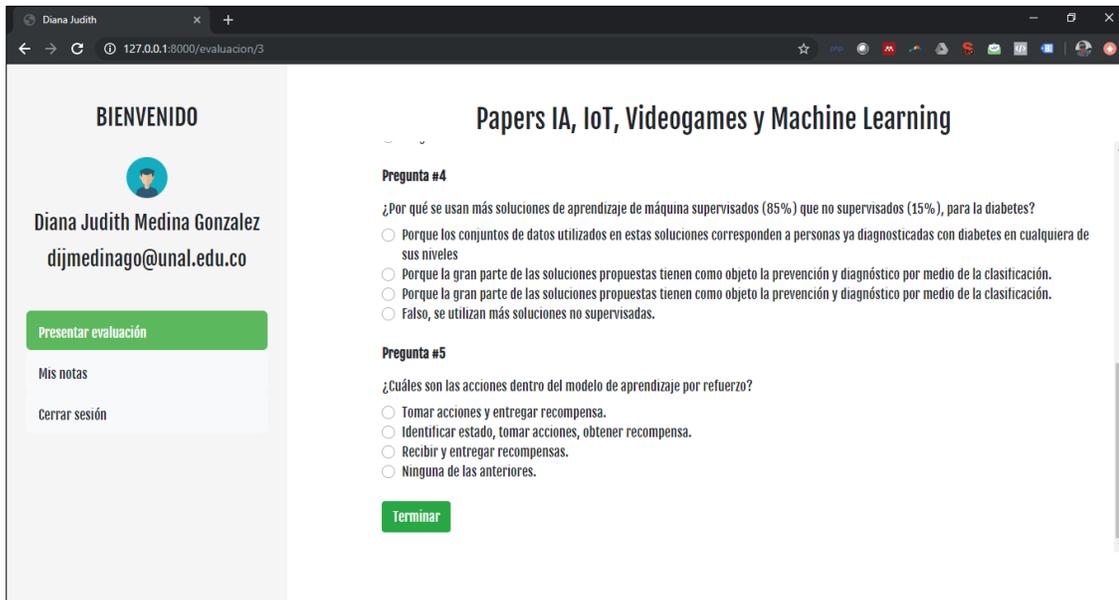
- **Interfaz del estudiante con resumen de notas y recursos:** es una pantalla a la cual solamente tiene acceso el estudiante. En ella, se encuentran en el panel izquierdo las opciones para ver las notas o acceder a la evaluación final. En el panel central se permite al usuario seleccionar la actividad sobre la cual desea ver información, el resumen de notas tanto del juego serio, como de la evaluación final acumulativa y los respectivos botones para visualizar los recursos remendados en cada una de las etapas del juego. Finalmente, en el panel derecho se presentan los recursos educativos recomendados para cada una de las etapas presentadas en el panel central. Cada uno de los recursos es accesible por medio de un clic y de esta manera el usuario puede visualizar fácilmente cada recurso recomendado (ver Figura 5-10).

Figura 5-10: Interfaz “Mis notas” que presenta el resumen de notas y recursos recomendados para el estudiante.



- **Interfaz del estudiante para presentación de evaluación final acumulativa:** es otra de las pantallas y opciones a las cuales solamente tiene acceso el estudiante. Esta pantalla contiene preguntas con opciones de respuesta, y al final cuenta con un botón para terminar. El objetivo de esta pantalla es mostrar la evaluación final acumulativa que ha sido generada para el estudiante. De esta manera, el estudiante podrá acceder a esta funcionalidad y presentar la evaluación una vez haya terminado de ejecutarse la etapa del juego (ver Figura 5-11).

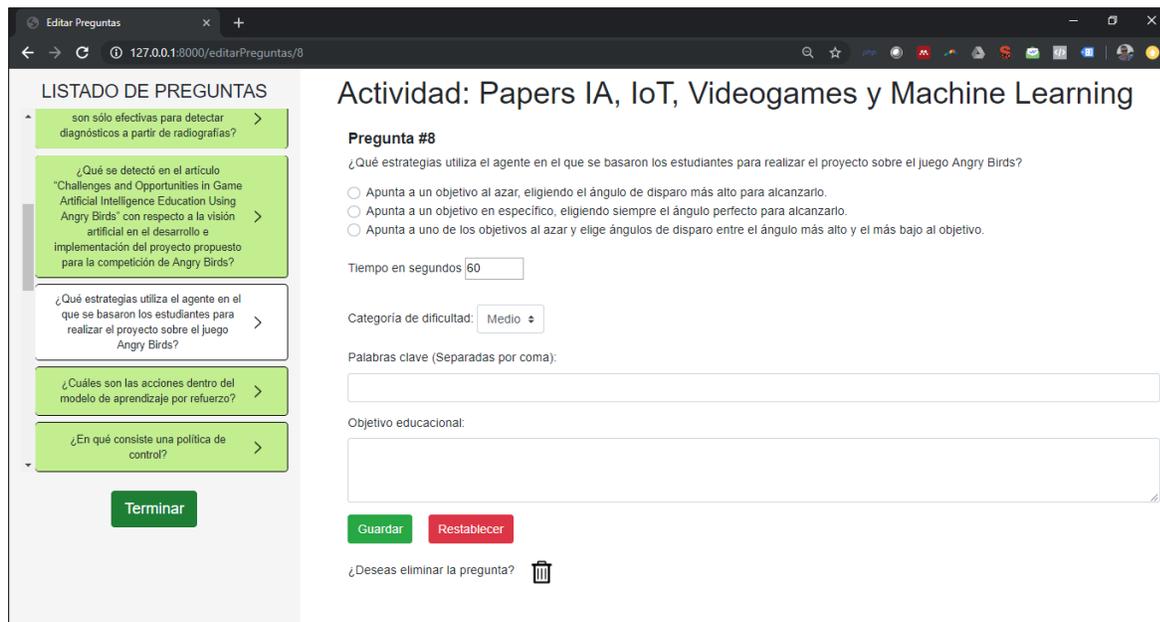
Figura 5-11: Interfaz “Presentar evaluación” que muestra las preguntas generadas para la presentación de evaluación final acumulativa de un estudiante.



- **Interfaz del profesor para gestión de preguntas:** es una pantalla a la cual solamente tiene acceso el profesor. En ella, se encuentran en el panel izquierdo las opciones preguntas creadas por los estudiantes. En el panel central y derecho se muestra cada una de las preguntas, sus opciones de respuesta, la opción para asignar el tiempo para responder la pregunta, la selección de la categoría de dificultad, las palabras clave asociadas y el objetivo educacional. Adicionalmente, se cuenta con botones para guardar, restablecer o eliminar la pregunta en caso de que el profesor así lo considere. Para que una pregunta pueda estar habilitada para aparecer en alguna de las rondas de juego, es indispensable que el profesor asigne toda la información a cada una de las preguntas, y una vez cumplido este requerimiento, cada una de las preguntas se pinta de verde en el panel izquierdo (ver Figura 5-12).

Finalmente, es completamente necesario destacar que el prototipo diseñado e implementado para el juego COLEGA solamente contiene la implementación de las pantallas más relevantes que podían dar cuenta de la validez del modelo. Es decir, se espera que en una etapa futura se pueda implementar todo el modelo completo en un aplicativo final.

Figura 5-12: Interfaz del profesor para gestión de preguntas.

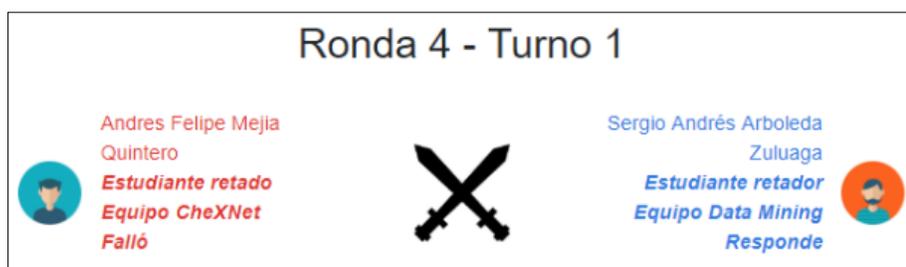


5.2 Integración de los servicios de awareness

Esta sección presenta y detalla el despliegue de los servicios de awareness que fueron incluidos en el aplicativo Web COLEGA. Con el objetivo de relacionar los servicios propuestos en la sección 4.3 con la interfaz de usuario, a continuación se presenta la visualización de los que fueron implementados, así:

- **Visualización de rondas y turnos:** este servicio se visualiza durante la ejecución de cada uno de los turnos del juego (independientemente de la ronda) y también se visualiza al finalizar cada uno de los turnos (ver Figura 5-13).

Figura 5-13: Servicio de awareness “Visualización de rondas y turnos” integrado.



- **Tabla de posiciones equipos:** este servicio se visualiza durante la ejecución de cada uno de los turnos del juego (independientemente de la ronda) en el lado izquierdo de la pantalla donde constantemente se actualizan las posiciones y puntajes de los equipos (ver Figura 5-14).

Figura 5-14: Servicio de awareness “Tabla de posiciones equipos”.

Tabla de posiciones			
Posición	# Equipo	Nombre Equipo	Puntuación
1	2	AngryBirds	2
2	3	Data Mining	1
3	1	CheXNet	0

- **Alarmas y notificaciones:** este servicio se visualiza durante la ejecución de cada uno de los turnos del juego (independientemente de la ronda). Las notificaciones se presentan al inicio de cada turno, mientras que las alarmas por tiempo son lanzadas cuando queda poco tiempo para responder. Tanto las alarmas como notificaciones pueden ser visualizadas en la parte inferior derecha de la pantalla de ejecución de COLEGA (ver Figura 5-15).

Figura 5-15: Servicio de awareness “Alarmas y notificaciones” integrado.



- **Tabla de insignias:** este servicio se visualiza durante la ejecución de cada uno de los turnos del juego (independientemente de la ronda) en el lado izquierdo de la pantalla donde constantemente se actualizan las insignias de los equipos (ver Figura 5-16).

Figura 5-16: Servicio de awareness “Tabla de insignias” integrado.

Tabla de Insignias		
# Equipo	Nombre Equipo	Insignias
2	AngryBirds	0  1  1 
3	Data Mining	0  0  3 
1	CheXNet	0  0  1 

- **Estadísticas de ejecución:** este servicio puede visualizarse desde diferentes etapas de ejecución del modelo, así como en diferentes secciones. En este caso, se evidencia la integración del servicio en la presentación de la tabla final de posiciones y resultados, donde además se presentan algunas de las estadísticas generadas (ver Figura 5-17).

Figura 5-17: Servicio de awareness “Estadísticas de ejecución” integrado.

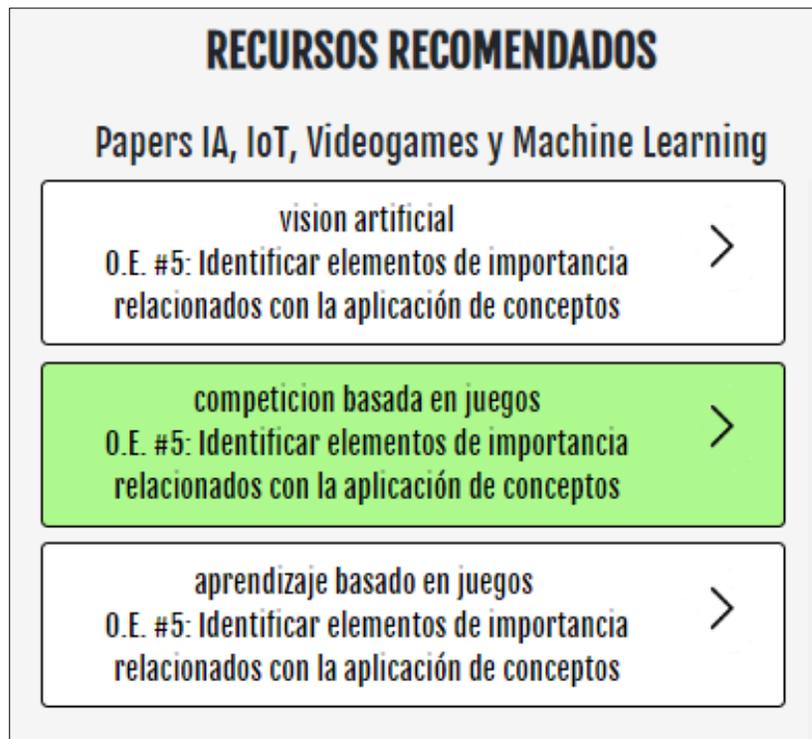
Posición	# Equipo	Nombre Equipo	Puntuación	Insignias	Bonificación	Nota Final
1	2	AngryBirds	3	0  1  2 	0.2	3.2
2	3	Data Mining	2	1  0  4 	0.4	2.4
3	1	CheXNet	-1	0  0  1 	0.05	0.05

Estadísticas

<p>Efectividad más alta: 60% - AngryBirds</p> <p>Objetivo educacionales – Fortalezas (de mayor a menor): O.E. #10: Identificar aplicaciones de Random Forest O.E. #7: Comprender e identificar etapas de la visión artificial O.E. #13: Diferenciar árboles de regresión y clasificación</p>	<p>Efectividad más baja: -20% - CheXNet</p> <p>Objetivos educacionales – Debilidades (de mayor a menor): O.E. #12: Identificar los pasos para realizar descubrimiento de conocimiento en una base de datos O.E. #1: Diferenciar las tipologías de redes neuronales O.E. #14: Comprender la minería de datos de patrones secuenciales</p>
---	---

- **Recursos de aprendizaje recomendados y accedidos:** este servicio se visualiza integrado en la interfaz relacionada con la sesión del usuario. Allí el usuario puede visualizar los recursos que han sido recomendados para él, y a su vez puede obtener la información de los recursos que ha accedido y los que no (ver Figura 5-18).

Figura 5-18: Servicio de awareness “Visualización de rondas y turnos” integrado.



5.3 Desarrollo e integración de la plataforma multi-agente

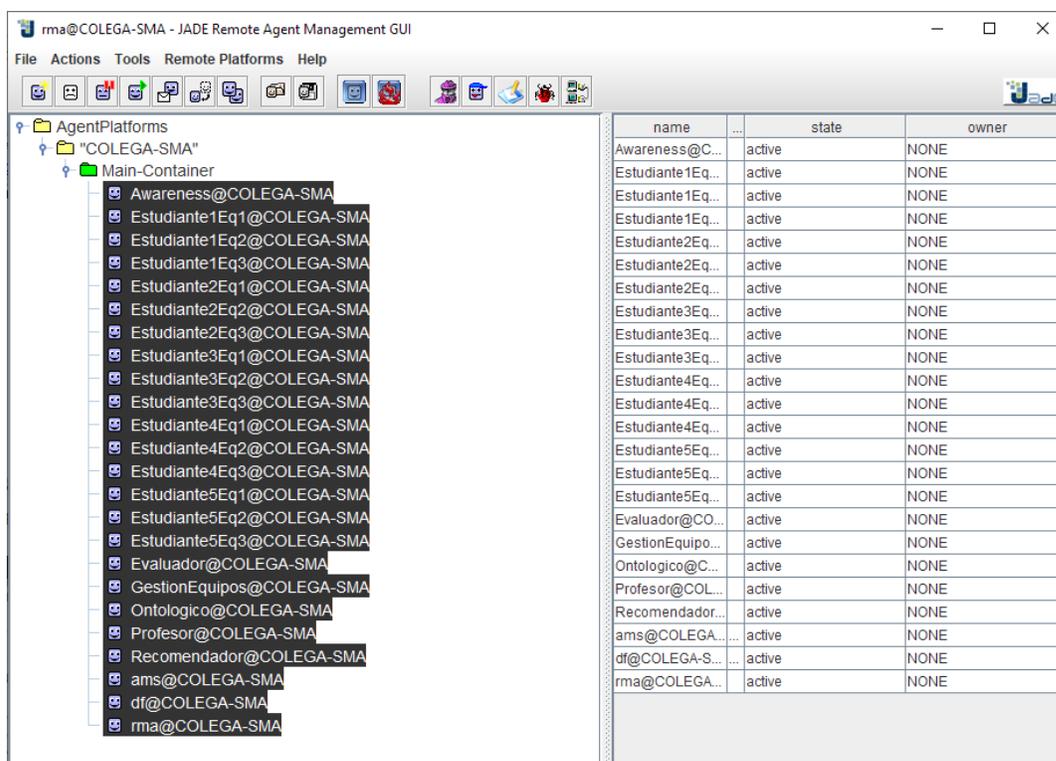
Para lograr la implementación de la plataforma multi-agente asociada a COLEGA, fue utilizado el Framework JADE el cual se encuentra orientado al desarrollo de SMA haciendo uso del lenguaje de programación JAVA, ya que éste se encuentra completamente implementado en dicho lenguaje. Por otra parte, JADE simplifica la implementación de SMA a través de una capa intermedia que sigue los estándares definidos por FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) de la IEEE y a través de un conjunto de herramientas gráficas que soportan las fases de depuración e implementación. En consecuencia, se configuró el entorno de desarrollo necesario para la implementación del SMA (ver Tabla 5-1).

Tabla 5-1: Características técnicas necesarias para el desarrollo del SMA.

ELEMENTO	VERSIÓN Y DETALLE
Sistema Operativo	Windows 10 64 bits
Framework para el desarrollo del SMA	JADE versión 4.5.0
Motor de base de datos	MariaDB 10.3
Lenguaje de desarrollo	JAVA 7

La Figura 5-19 exhibe la interfaz gráfica proporcionada por JADE que permite gestionar los agentes, y en general, el SMA desarrollado. Adicionalmente, se puede observar que la interfaz presenta tanto los agentes generados como los propios de JADE que residen en el contenedor principal.

Figura 5-19: Interfaz gráfica de JADE para la plataforma COLEGA-SMA.



La plataforma multi-agente desarrollada para la aplicación COLEGA fue nombrada COLEGA-SMA y fue implementada como una API con servicios REST expuestos en el servidor. Lo anterior, con el objetivo de permitir la comunicación de doble vía a través de servicios web con el aplicativo Web COLEGA que, tal como se mencionó en la sección 5.1,

se encuentra desarrollado en otro lenguaje de programación. En el contenedor principal se observa que para este caso existen 24 agentes, de los cuales 21 agentes están relacionados con el caso de estudio desarrollado para la validación (ver sección 5.5) asociado al modelo, y los 3 agentes restantes corresponden a los propios del Framework JADE. A continuación, se describen los agentes adicionales:

- **Directory Facilitator (DF):** este agente a menudo se compara con la guía telefónica conocida como "Páginas amarillas". Los agentes que deseen anunciar sus servicios se registran en el DF. Además, los agentes visitantes pueden buscar en el DF agentes que brinden los servicios requeridos.
- **Agent Management System (AMS):** agente que representa la autoridad al interior de la plataforma, conoce los agentes existentes y sus diferentes estados, está encargado de supervisar y controlar el proceso de autenticación, llevar un control de registros de todos los agentes y evitar inconsistencias.
- **Remote Monitoring Agent (RMA):** agente encargado de la administración de la interfaz gráfica de JADE. Esta interfaz brinda herramientas de monitoreo que facilitan el desarrollo de los agentes dentro de la plataforma.

5.4 Integración de la ontología en el aplicativo

La ontología desarrollada en la sección 4.4 para COLEGA, se integró en el aplicativo a través de Apache Jena, que es un Framework de uso libre para sistemas relacionados con la Web Semántica. Por otra parte, Jena tiene soporte para trabajar con ontologías OWL y provee razonadores internos los cuales permiten realizar inferencias a través del mapeo de archivos OWL, de esta manera, el Framework permite la administración completa de sistemas basados en ontologías.

De forma inicial, para proceder con la integración de la ontología, se configuró el entorno de desarrollo necesario para el desarrollo de la API de mapeo y gestión de la ontología (ver Tabla 5-2).

Tabla 5-2: Características técnicas necesarias para realizar la integración de la ontología desarrollada.

ELEMENTO	VERSIÓN Y DETALLE
Sistema Operativo	Windows 10 64 bits
Framework para integración de la Ontología	Apache Jena versión 3.12.0
Motor de base de datos	MariaDB 10.3
Lenguaje de desarrollo	JAVA 8
Motor de inferencia	Pellet
Lenguaje de consulta	SPARQL

Para la integración de la ontología fue necesario, al igual que con el SMA, realizar una implementación de una API con servicios REST expuestos en el servidor. Lo anterior, fue realizado de dicha manera con el objetivo de proveer una arquitectura modular donde cada módulo estuviera encargado de realizar únicamente las tareas asociadas a sus objetivos. De la misma manera, se provee una comunicación de doble vía, pero en este caso con COLEGA-SMA a través de servicios Web.

Inicialmente Jena fue utilizado para mapear la ontología OWL previamente desarrollada, posteriormente se realizó una pre instanciación de clases y llenado de información ontológica proveniente de los datos iniciales correspondientes a equipos, usuarios, preguntas y objetivos educacionales. Por otro lado, durante la ejecución de COLEGA, constantemente hay una carga de información ontológica a partir de la recopilación de datos de ejecución. Dicha carga es realizada por parte del agente ontológico quien es el encargado desde el sistema COLEGA-SMA de interactuar con la ontología, en este caso, con la API ontológica desarrollada con Jena. De esta manera, la ontología realiza inferencias durante la ejecución del juego serio y devuelve dichas inferencias al agente ontológico para que este comunique y propague dicha información en el SMA.

5.5 Validación del prototipo implementado

En esta sección se presenta la validación del desempeño correspondiente al prototipo implementado. Para realizar el proceso de validación, se construyó y desplegó un caso de estudio en un ambiente controlado, específicamente al interior del curso de Inteligencia Artificial dictado en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia – Sede

Medellín. El caso de estudio contó con un profesor, 15 estudiantes divididos en 3 equipos de trabajo los cuales interactuaron con COLEGA y recorrieron el flujo del juego serio colaborativo hasta finalizarlo. Adicionalmente, los estudiantes construyeron un total de 18 preguntas de alto nivel y fueron asignados objetivos educacionales a las mismas por parte del profesor. Finalmente se simuló un repositorio de OAs al interior del sistema y fue poblado con 25 OAs reales con temáticas asociadas a las preguntas creadas (el detalle del caso de estudio montado se encuentra en el anexo A). Posteriormente, se validaron los siguientes elementos:

- Validación general del modelo y prototipo implementados.
- Efectividad en la detección de fallas y asignación de recursos educativos recomendados para cada estudiante.
- Nivel de adaptación de la evaluación final acumulativa generada para cada estudiante.
- Validación de los servicios de awareness.
- Validación de conocimientos obtenidos haciendo uso del juego en comparación con el uso de una metodología tradicional de aprendizaje.

Además, para complementar la validación del prototipo, fueron realizadas encuestas de percepción y satisfacción a los estudiantes involucrados en el caso de estudio desarrollado. Dichas encuestas se realizaron a través de la plataforma Google Forms una vez los estudiantes finalizaron la interacción con el juego serio, esto con el objetivo de indagar sobre cada uno de los elementos presentados y percibidos por el usuario. Las preguntas y resultados de la encuesta son presentados a continuación.

5.5.1 Validación general del modelo y prototipo implementados

Tal como se mencionó anteriormente, para realizar la validación del modelo y del prototipo se utilizaron las encuestas de percepción y satisfacción. En dichas encuestas, se realizaron 3 preguntas específicamente relacionadas con el modelo y el prototipo, logrando obtener los resultados presentados en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3: Resultados de la encuesta de percepción asociados con la validación general del modelo y prototipo implementados.

PREGUNTA	RESPUESTAS
¿Considera que el prototipo es fácil de utilizar como una herramienta para apoyar el aprendizaje colaborativo?	-Sí (15) -No (0)
¿Considera que el prototipo genera motivación a interactuar, a compartir conocimientos y conocer todas las respuestas al interior de su equipo?	-Sí (15) -No (0)
Considera usted que el desempeño del prototipo presentado es:	-Alto (11) -Medio (4) -Bajo (0)

En general, los resultados de percepción muestran un alto porcentaje de aceptación del modelo y del prototipo implementado, ya que, la totalidad de estudiantes (100%) considera que el prototipo es fácil de utilizar para apoyar actividades en entornos de aprendizaje colaborativo, y que además se sienten motivados a interactuar y compartir conocimientos. Por otro lado, el 73% de estudiantes considera que el prototipo tiene un desempeño alto, mientras que el 27% restante considera que tiene un desempeño medio y ninguno de los estudiantes manifestó haber percibido un desempeño bajo luego de haber interactuado con el sistema COLEGA.

Los resultados acerca del desempeño presentados en la última pregunta fueron contrastados con los estudiantes encuestados y se evidenció que el desempeño medio del prototipo correspondió a que, durante la ejecución del caso de estudio todos los estudiantes debían desplazarse a responder en el mismo computador y no podían hacerlo cada uno desde su propio equipo. Lo anterior, fue debido a que, en esta etapa de validación, el desarrollo no contempló la gestión de la comunicación y sincronización entre dispositivos para lanzar la pantalla de respuesta únicamente a quien le correspondía responder en un turno. Esto, debido a que implicaba un desarrollo mucho más complejo y no era el objetivo del desarrollo de esta investigación. A continuación, se presenta el resumen de resultados de la validación mencionada (ver Figura 5-20).

Figura 5-20: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con la validación general del modelo y prototipo implementados.



5.5.2 Efectividad en la detección de fallas y asignación de recursos educativos recomendados para cada estudiante

De igual manera a como se realizó la validación del modelo y del prototipo, se utilizaron las encuestas de percepción y satisfacción para evaluar la efectividad en la detección de fallas y asignación de recursos educativos recomendados para cada estudiante. Para este

caso, se realizaron 2 preguntas específicamente relacionadas con el diagnóstico de fallas y los recursos recomendados, logrando obtener los resultados presentados en la Tabla 5-4.

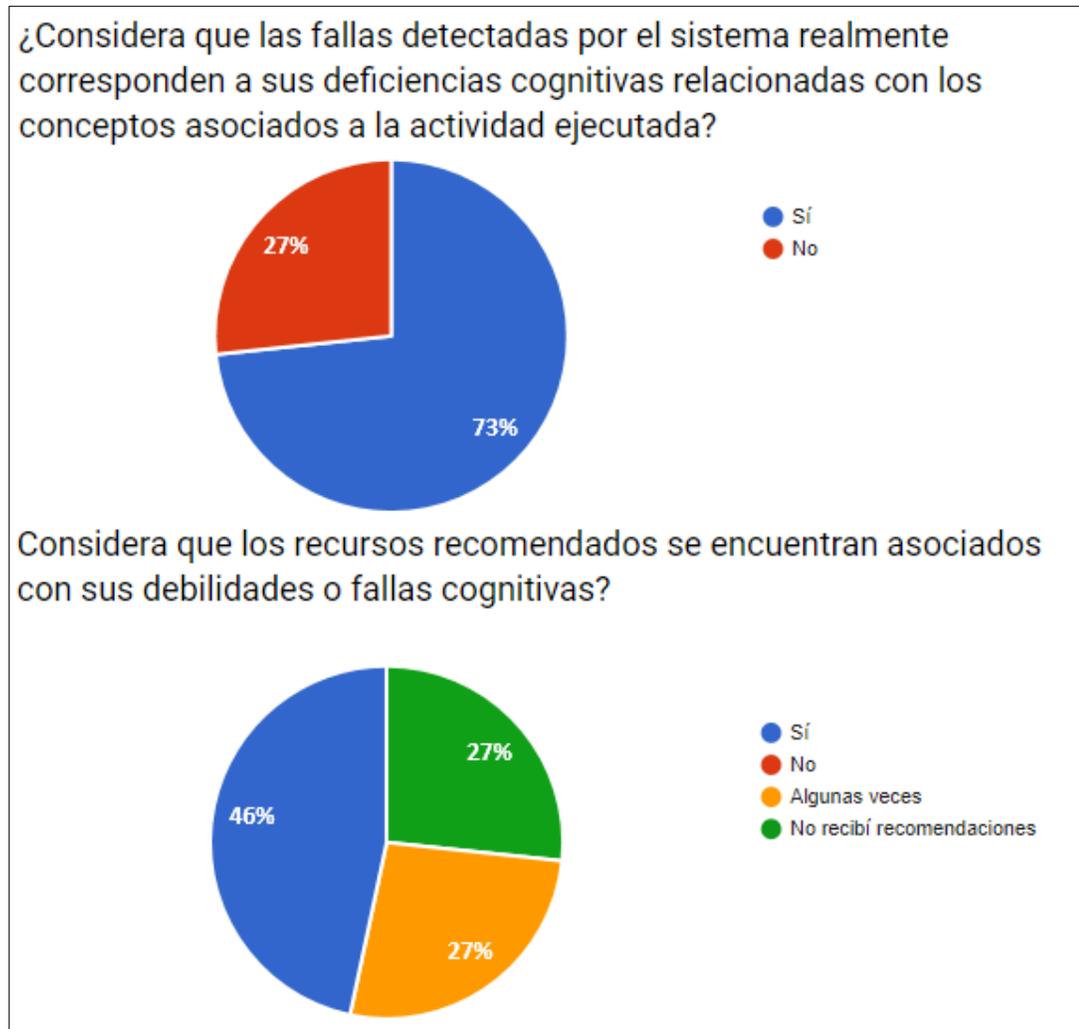
Tabla 5-4: Resultados de la encuesta de percepción asociados con la efectividad en la detección de fallas y asignación de recursos educativos que son recomendados para cada estudiante.

PREGUNTA	RESPUESTAS
¿Considera que las fallas detectadas por el sistema realmente corresponden a sus deficiencias cognitivas relacionadas con los conceptos asociados a la actividad ejecutada?	-Sí (11) -No (4)
¿Considera que los recursos recomendados se encuentran asociados con sus debilidades o fallas cognitivas?	-Sí (7) -No (0) -Algunas veces (4) -No recibí recomendaciones (4)

En este caso, los resultados de percepción muestran un comportamiento que es necesario explicar en detalle, sin embargo, existió un alto porcentaje de éxito del modelo y del prototipo en cuanto a detección y recomendación de fallas se refiere. Revisando la primera pregunta, se contrastaron los resultados obtenidos con la opinión personal de cada uno de los estudiantes encuestados y se evidenció que el 27% de ellos no recibió detección de fallas cognitivas por parte de COLEGA, sin embargo, este comportamiento fue debido a que estos estudiantes no cometieron errores en ninguna de las preguntas que el sistema les asignó a ellos. En el mismo sentido, esta situación impactó directamente la recomendación de recursos a estos estudiantes, lo que explica que el mismo porcentaje no haya recibido ninguna recomendación por parte de COLEGA.

A continuación, se presenta el resumen de resultados de la validación mencionada (ver Figura 5-21).

Figura 5-21: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con la efectividad en la detección de fallas y asignación de recursos educativos recomendados para cada estudiante.



5.5.3 Nivel de adaptación de la evaluación final acumulativa generada para cada estudiante

Para realizar la validación de esta sección, se incluyeron 2 preguntas específicamente relacionadas con el nivel de adaptación de la evaluación final acumulativa generada por COLEGA de forma automática para cada uno de los estudiantes involucrados en la ejecución del sistema. Se lograron obtener los resultados presentados en la Tabla 5-5.

Tabla 5-5: Resultados de la encuesta de percepción asociados con el nivel de adaptación de la evaluación final acumulativa generada para cada estudiante.

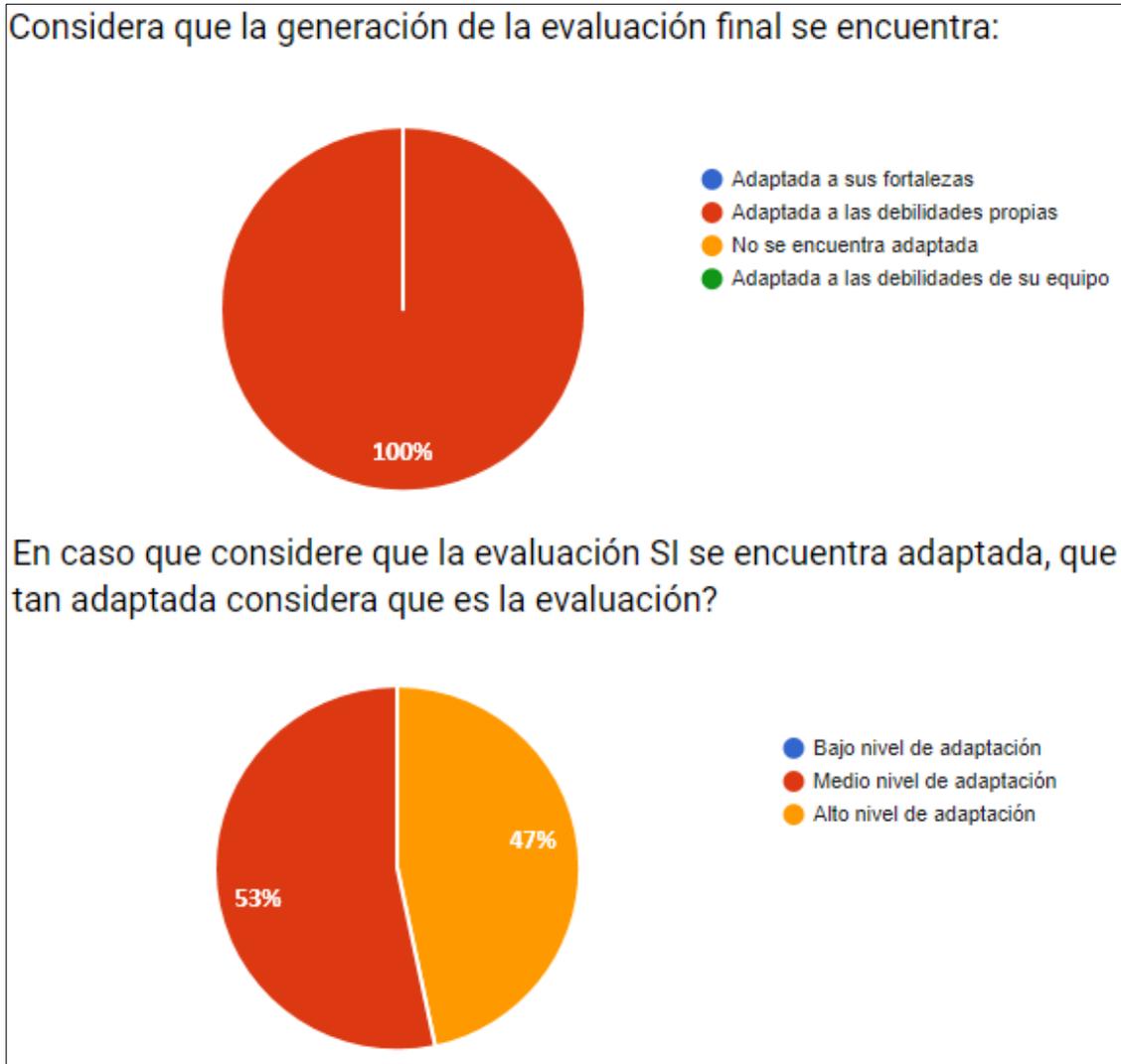
PREGUNTA	RESPUESTAS
Considera que la generación de la evaluación final se encuentra:	-Adaptada a sus fortalezas (0) -Adaptada a las debilidades de su equipo (15) -No se encuentra adaptada (0)
En caso que considere que la evaluación SI se encuentra adaptada, ¿Qué tan adaptada considera que es la evaluación?	-Alto nivel de adaptación (7) -Medio nivel de adaptación (8) -Bajo nivel de adaptación (0)

A partir de los resultados obtenidos con las preguntas anteriores, se puede identificar que la totalidad de los estudiantes que participaron en el caso de estudio, realmente notaron y percibieron que la evaluación acumulativa se encontraba adaptada a cada uno de ellos y que ésta, estaba construida a partir de preguntas asociadas a sus debilidades o que no les había tocado responder en su equipo en ninguno de los turnos de juego.

Por otro lado, tal como se observa en las respuestas de la segunda pregunta, el 53% de los estudiantes indicaron un nivel medio de adaptación, mientras que el 47% manifestaron percibir un nivel alto de adaptación. Evidentemente, aunque ningún estudiante manifestó percibir bajo nivel de adaptación de la evaluación, dicha distribución de porcentaje es un comportamiento explicado por la poca cantidad de preguntas construidas por los equipos antes de iniciar el juego; es decir, si bien es cierto que se cumplió con la cantidad mínima de preguntas que indica el juego en sus reglas, es recomendable que exista un mayor número de preguntas en el banco para que COLEGA cuente con más opciones para adaptar la evaluación a cada estudiante.

A continuación, se presenta el resumen de resultados de la validación mencionada (ver Figura 5-22).

Figura 5-22: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con la efectividad en la detección de fallas y asignación de recursos educativos recomendados para cada estudiante.



5.5.4 Validación de los servicios de awareness

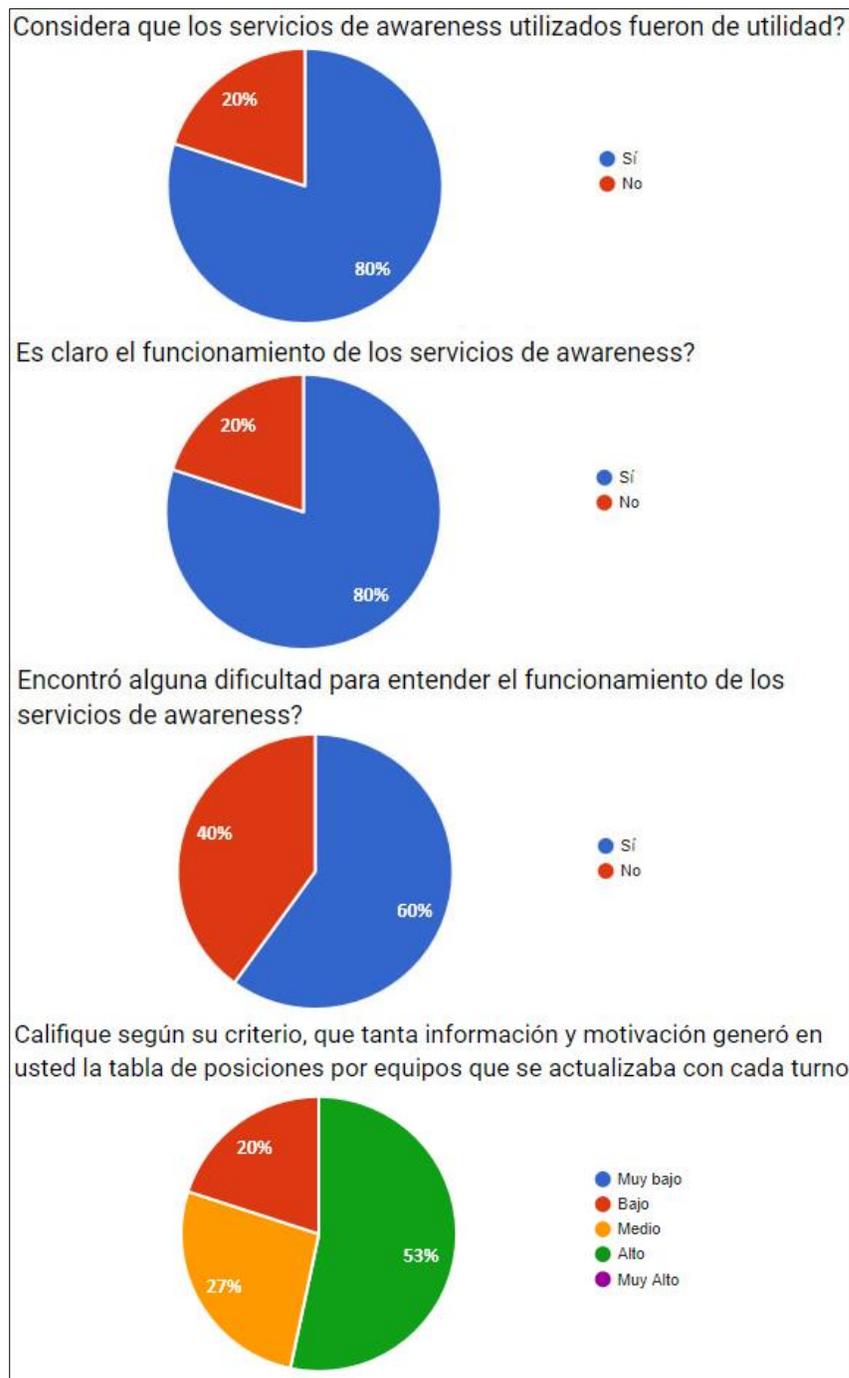
Esta sección presenta la validación de los servicios de awareness implementados, para lograrlo se incluyeron 8 preguntas específicamente relacionadas con los servicios de awareness integrados en COLEGA. Se lograron obtener los resultados presentados en la Tabla 5-6.

Tabla 5-6: Resultados de la encuesta de percepción asociados con la validación de los servicios de awareness.

PREGUNTA	RESPUESTAS
¿Considera que los servicios de awareness utilizados fueron de utilidad?	-Sí (12) -No (3)
¿Es claro el funcionamiento de los servicios de awareness?	-Sí (12) -No (3)
¿Encontró alguna dificultad para entender el funcionamiento de los servicios de awareness?	-Sí (9) -No (6)
Califique según su criterio, que tanta información y motivación generó en usted la tabla de posiciones por equipos que se actualizaba con cada turno:	-Muy baja (0) -Baja (3) -Media (4) -Alta (8) -Muy alta (0)
Califique según su criterio, que tanta información y motivación generó en usted las notificaciones y alarmas:	-Muy baja (0) -Baja (6) -Media (7) -Alta (2) -Muy alta (0)
Califique según su criterio, que tanta información y motivación generó en usted la tabla de insignias por equipos que se actualizaba con cada turno:	-Muy baja (1) -Baja (3) -Media (4) -Alta (6) -Muy alta (2)
Califique según su criterio, que tanta relevancia tiene para usted la tabla de posiciones y notas que se presenta al finalizar las rondas del juego:	-Muy baja (0) -Baja (0) -Media (3) -Alta (8) -Muy alta (4)
Califique según su criterio, que tanta relevancia tienen para usted las estadísticas presentadas al finalizar las rondas del juego:	-Muy baja (0) -Baja (0) -Media (0) -Alta (6) -Muy alta (9)

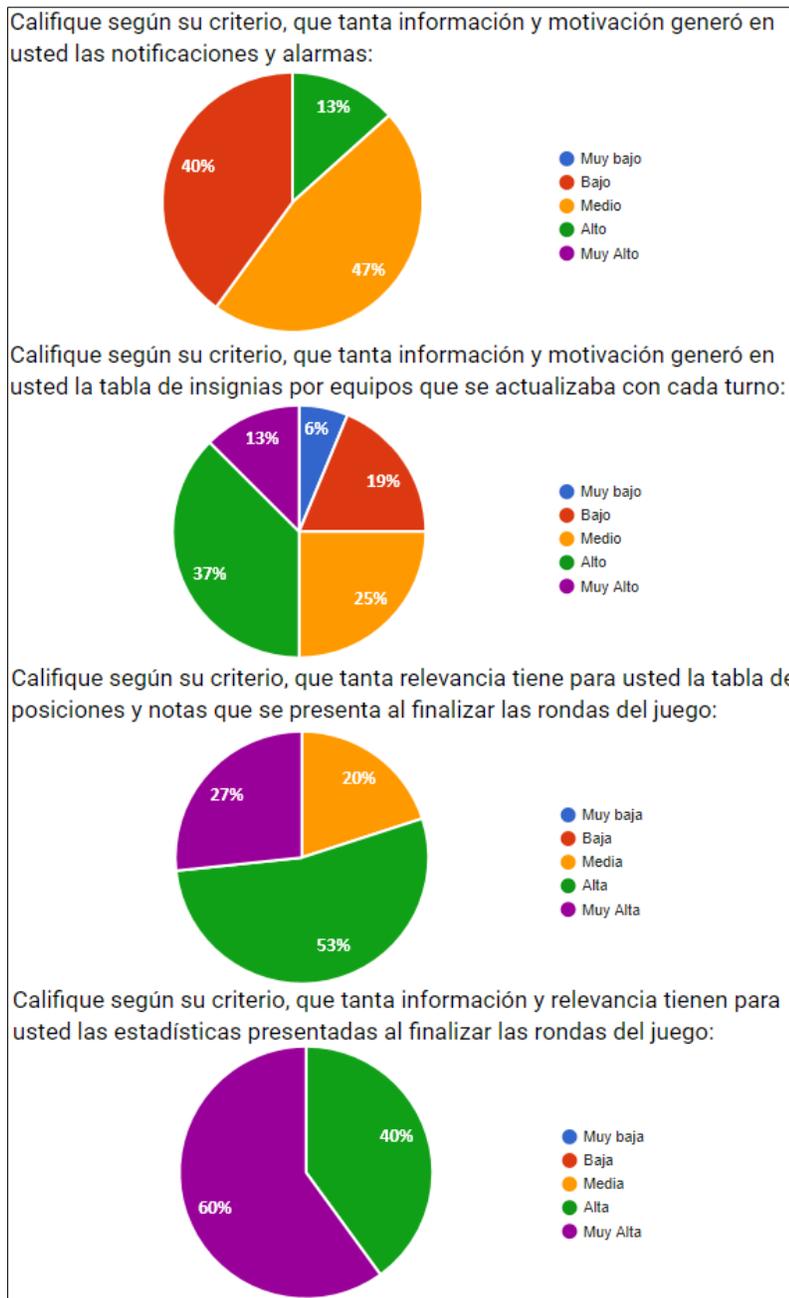
Los resultados obtenidos en las preguntas anteriores evidencian el alto porcentaje de aceptación y utilidad de los servicios de awareness ofrecidos por COLEGA, lo anterior en vista de que de manera específica el 80% de los estudiantes manifestaron utilidad y entendieron la utilidad de los servicios. Adicionalmente, se evidenció que hubo dificultad por parte de los estudiantes en el hecho de entender el funcionamiento de los servicios, sin embargo, al contrastar los resultados de la pregunta asociada a este ítem con la opinión en conjunto de los estudiantes, quedó claro que la falta de entendimiento estaba asociada al desconocimiento del concepto de awareness.

Figura 5-23: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con la validación de los servicios de awareness (a).



En las Figuras 5-23, 5-24 y 5-25, se presenta el resumen de resultados de la validación mencionada. Además, se puede observar la percepción de cada uno de los servicios de awareness por parte de los estudiantes.

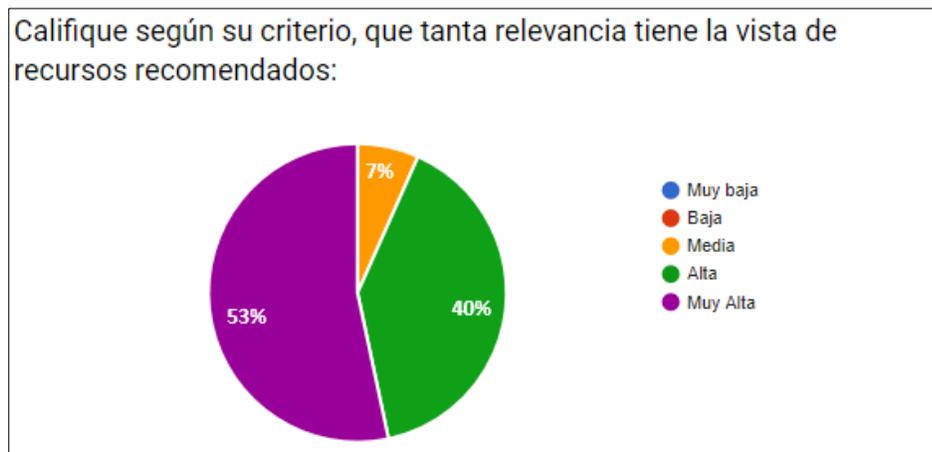
Figura 5-24: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con la validación de los servicios de awareness (b).



A partir del análisis de los resultados anteriores, puede evidenciarse que aunque es clara la utilidad de los servicios de awareness dentro de COLEGA, los servicios relacionados con la tabla de posiciones, tabla de insignias, y alarmas y notificaciones, pueden presentar

problemas en la claridad de la información. Además, a partir de lo percibido durante la ejecución del caso de estudio, se pudo apreciar que los estudiantes al estar inmersos en su turno y buscar la respuesta de la pregunta no son muy conscientes de lo que sucede en la interfaz. Finalmente, es importante destacar que los servicios mejor calificados fueron: estadísticas de ejecución (100%) y recursos recomendados (93%).

Figura 5-25: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con la validación de los servicios de awareness (c).



5.5.5 Validación de conocimientos obtenidos haciendo uso del juego en comparación con el uso de una metodología tradicional de aprendizaje

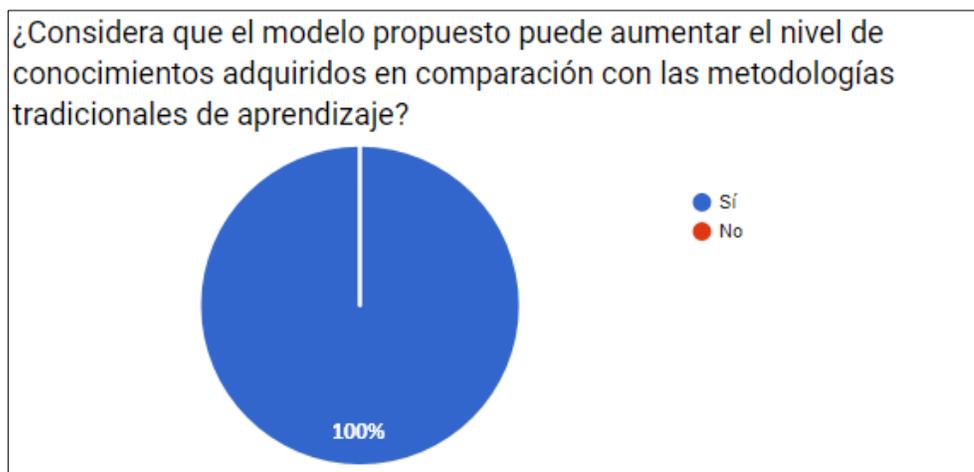
Aunque no se realizó una evaluación de conocimientos a otros equipos que no participaron en la actividad para comparar los conocimientos obtenidos con los dos modelos, sí se incluyó una pregunta relacionada con el nivel de adquisición de conocimientos en la encuesta de percepción para conocer la opinión de los estudiantes. Se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 5-7.

Tabla 5-7: Resultados de la encuesta de percepción asociados con el nivel de aprendizaje alcanzado al utilizar esta metodología.

PREGUNTA	RESPUESTAS
¿Considera que el modelo propuesto puede aumentar el nivel de conocimientos adquiridos en comparación con las metodologías tradicionales de aprendizaje?	-Sí (15) -No (0)

A partir de los resultados obtenidos con la pregunta anterior, se puede identificar que la totalidad de los estudiantes que participaron en el caso de estudio están de acuerdo con que de esta manera aprenden mucho más. Además, los estudiantes manifestaron que, al sentirse más motivados, su nivel de retención de información se ve aumentado y que los modelos tradicionales de aprendizaje no generan tanta motivación. A continuación, se presenta el resumen de resultados de la validación mencionada (ver Figura 5-26).

Figura 5-26: Medición de resultados de la encuesta de percepción asociada con el nivel de adquisición de conocimientos de los estudiantes en comparación con las metodologías tradicionales de aprendizaje.



5.6 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se presentaron todos los elementos que conforman la totalidad de la implementación del modelo propuesto. Específicamente, se expuso el detalle de cómo se llevó a cabo la implementación y validación del prototipo basado en el modelo propuesto para esta investigación, presentando y dejando en evidencia la viabilidad y posible desarrollo no como prototipo sino como producto final. En primera instancia, se especificaron los requerimientos funcionales del prototipo, para posteriormente diseñar y construir la base de datos del sistema. Seguidamente fueron diseñadas las pantallas y se desarrolló el aplicativo COLEGA en Laravel, aprovechando las ventajas de este Framework para desarrollo Web. Una vez se contó con el aplicativo Web, se dio paso a la integración de los servicios de awareness propuestos y del desarrollo e integración del SMA de

aprendizaje colaborativo basado en el Framework JADE. Finalmente, se procedió con la integración de la ontología, dejando en evidencia el proceso de almacenamiento de información ontológica y la generación de inferencias a partir de los datos e información recopilada.

Posteriormente, se procedió con la validación del modelo y del prototipo implementado. Para realizarla, se consideraron cinco enfoques diferentes a partir de una encuesta de percepción realizada a los estudiantes que participaron en el caso de estudio, así: (1) se validó de forma general el modelo y el prototipo implementados; (2) se validó la efectividad en la detección de fallas y asignación de recursos educativos recomendados para cada estudiante; (3) se validó la funcionalidad y el nivel de adaptación de la evaluación final acumulativa generada para cada estudiante; (4) se realizó una validación de los servicios de awareness implementados; (5) se validó la percepción por parte de los estudiantes acerca de los conocimientos obtenidos haciendo uso del juego en comparación con el uso de una metodología tradicional de aprendizaje.

6. Conclusiones y trabajo futuro

Este capítulo presenta las principales conclusiones que se derivan del desarrollo de la investigación asociada a esta tesis de maestría, presentando además el detalle de los aportes logrados con la investigación. Adicionalmente, se presenta una serie de elementos que por motivos de tiempo y alcance no pudieron ser incluidos en la tesis, sin embargo, se enumeran para tenerlos en cuenta y realizarlos en una etapa posterior como trabajo futuro.

6.1 Conclusiones y aportes de la investigación

La presente investigación asociada a la tesis de maestría permitió la definición y materialización de un modelo de aprendizaje colaborativo basado en ontologías, agentes inteligentes y servicios de awareness el cual brinda un conjunto de características que pueden llegar a satisfacer los requerimientos o necesidades de los docentes a la hora de implementar esquemas de trabajo colaborativo al interior de sus cursos en las aulas de clase. Por otro lado, a partir de la implementación del modelo propuesto se pudieron integrar diferentes herramientas y tecnologías que contribuyeron a generar un ambiente colaborativo más propicio y ameno para el aprendizaje.

Los resultados obtenidos muestran que la integración de las tecnologías propuestas aporta de manera positiva a la generación, transferencia y retención del conocimiento por parte de los estudiantes. Además, el modelo brinda mecanismos que motivan la colaboración y participación en la actividad, mientras que se genera una interdependencia positiva que hace que sea necesario y fundamental la participación y el involucramiento de cada estudiante en la actividad, la cual es desarrollada por equipos. En conclusión, el desarrollo de la presente investigación pudo alcanzar todos los objetivos específicos planteados en la sección 1.4.2 de esta tesis de maestría y de esta manera se ha logrado también el cumplimiento del objetivo general planteado. A continuación, se describe el cumplimiento de los objetivos específicos:

- Se caracterizaron los elementos de ontologías, servicios de awareness, perfiles de equipo, sensibilidad al contexto y sistemas de recomendación en el desarrollo del marco teórico y en la revisión de trabajos de investigación relacionados.
- Se identificaron los diferentes enfoques existentes para la representación del conocimiento a partir de ontologías mediante la revisión de trabajo de otros autores, escogiendo como metodología de trabajo Methontology. Además, se propuso un modelo que integró los elementos de e-learning colaborativo permitiendo el diagnóstico de fallas cognitivas y la recuperación de recursos de aprendizaje.
- Se realizaron las etapas de especificación, análisis y diseño del SMA de aprendizaje colaborativo sensible al contexto basado en Servicios de Awareness y recomendación de recursos educativos haciendo uso de la metodología Prometheus.
- Se Implementó un prototipo funcional basado en el modelo de e-learning colaborativo propuesto, integrando el SMA con la ontología y los servicios de awareness en el desarrollo de un juego serio colaborativo que optimizara el proceso de aprendizaje.
- Se realizó una validación del prototipo desarrollado a través de un caso de estudio que fue ejecutado al interior del curso de Inteligencia Artificial dictado en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Posteriormente, a través de la utilización de encuestas de percepción y satisfacción que permitieran generar métricas cualitativas y cuantitativas, se evaluaron los resultados de la validación y la utilidad tanto del modelo propuesto, como del prototipo implementado.

Finalmente, se listan los principales aportes realizados durante el desarrollo de esta investigación:

- Un modelo multi-agente de aprendizaje colaborativo que permite la detección de fallas cognitivas en el proceso de ejecución del mismo, y que ofrece servicios de awareness para generar consciencia tanto a nivel individual, como a nivel de equipo para mejorar el aprendizaje.

- Una ontología de dominio específico que permite representar el conocimiento relacionado con los entornos de aprendizaje colaborativo, perfiles de equipo y fallas cognitivas.
- Un juego serio colaborativo que potencializa fuertemente al modelo.

6.2 Trabajo futuro

Como trabajo futuro, se plantea en primera instancia lograr la construcción funcional completa del sistema, es decir, se espera desarrollar un aplicativo que integre todas las funcionalidades propuestas en el esquema para el desarrollo de actividades colaborativas propuesto en la sección 4.1. Por otra parte, si bien los resultados de percepción y satisfacción del prototipo fueron bastante buenos, se buscará mejorar el sistema de tal manera que pueda ser accedido como una herramienta más robusta de aprendizaje colaborativo en línea. Lo anterior, se refiere específicamente a que se desea contar con un sistema que permita acceder a cada estudiante en un computador independiente tanto para interactuar con sus compañeros de manera remota, como para seguir todos los pasos del flujo de actividades y la ejecución del juego serio colaborativo.

Teniendo en cuenta que el nivel de motivación, participación, involucramiento y compromiso aumentaron en gran medida gracias a la inclusión de los servicios de awareness, se espera implementar otros servicios que puedan mejorar mucho más el rendimiento de los equipos de trabajo, así como potenciar el nivel de aprendizaje, adquisición y transferencia de conocimientos. En ese sentido, se espera incluir en un futuro un servicio que posea características similares al presentado por Matazi et al. en [35], el cual esté en la capacidad de calcular indicadores como: número de mensajes, número de discusiones, número de conexiones realizadas, número de interacciones con los compañeros de equipo, número de aportes realizados y, por lo tanto, poder evaluar el grado de colaboración, el grado de presencia y el nivel de participación de cada estudiante en su equipo.

A partir de lo anteriormente mencionado, se pretende brindar fuerza a la utilización del concepto de perfil de equipo, pudiendo de esta manera describir los equipos no solo por sus fallas cognitivas y fortalezas, sino también por el nivel de colaboración de cada uno de

sus integrantes. De esta manera, se espera poder tomar acciones y adaptar funcionalidades y contenidos a los perfiles de cada equipo.

Por último, se busca agregar robustez al modelo integrando otras técnicas y tecnologías asociadas a Machine Learning que puedan hacer que el modelo aprenda del comportamiento de los estudiantes y en el mismo sentido el sistema se pueda acoplar para adaptar contenidos, evaluaciones y recomendaciones a cada equipo. Además, se espera poder integrar técnicas de agrupamiento para la conformación de equipos en actividades posteriores, a partir de los indicadores generados durante la ejecución de las actividades colaborativas utilizando el modelo.

A. Anexo: Caso de estudio para el desarrollo del proceso de validación

Para el desarrollo de la validación del prototipo, se construyó y desplegó un caso de estudio en un ambiente controlado en el curso de Inteligencia Artificial dictado en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Este caso de estudio contó con la información presentada a continuación:

TEMAS ARTÍCULOS PARA CONSTRUCCIÓN DE PREGUNTAS:

- Tema 1: 2017 - CheXNet: Radiologist-Level Pneumonia Detection on Chest X-Rays with Deep Learning.
- Tema 2: 2015 - Challenges and Opportunities in Game Artificial Intelligence Education Using Angry Birds.
- Tema 3: 2017 - Machine Learning and Data Mining Methods in Diabetes Research.

ACTIVIDAD:

- Papers IA, IoT, Videogames y Machine Learning.

EQUIPOS:

- **Nombre equipo 1:** CheXNet.
- **Nombre equipo 2:** AngryBirds.
- **Nombre equipo 3:** Data Mining.

PROFESOR:

- Demetrio Arturo Ovalle Carranza

ESTUDIANTES POR EQUIPO:

- **Nombre estudiante:** Andrés Felipe Aguilar Rendón

E-mail: afaguilarr@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 1 - Tema 1

- **Nombre estudiante:** Daniel Alexander Cano Cuartas

E-mail: dacanoc@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 1 - Tema 1

- **Nombre estudiante:** Diana Judith Medina González

E-mail: dijmedinago@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 1 - Tema 1

- **Nombre estudiante:** Andrés Felipe Mejía Quintero

E-mail: afmejiaq@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 1 - Tema 1

- **Nombre estudiante:** Eider Alejandro Peña Dagua

E-mail: eapenad@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 1 - Tema 1

- **Nombre estudiante:** José Manuel Álvarez Suarez

E-mail: jomalvarezs@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 2 - Tema 2

- **Nombre estudiante:** Santiago Cardona Urrea

E-mail: sacardonaur@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 2 - Tema 2

- **Nombre estudiante:** Daniel Herrera Gómez

E-mail: daherrerago@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 2 - Tema 2

- **Nombre estudiante:** Juan Fernando Misas Marín

E-mail: jfmisasm@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 2 - Tema 2

- **Nombre estudiante:** Jhonier Santiago Serna Cardona

E-mail: jhssernaca@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 2 - Tema 2

- **Nombre estudiante:** Sergio Andrés Arboleda Zuluaga

E-mail: saarboledaz@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 3 - Tema 3

- **Nombre estudiante:** Sebastián Chavarría Gómez

E-mail: schavarriag@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 3 - Tema 3

- **Nombre estudiante:** Daniel Vélez Santamaría

E-mail: danvelezsan@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 3 - Tema 3

- **Nombre estudiante:** Jeisson Murillo Pabón

E-mail: jmurillop@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 3 - Tema 3

- **Nombre estudiante:** Jorge Mario Quintero Ocampo

E-mail: jmquintero@unal.edu.co

Equipo y tema: Equipo 3 - Tema 3

OBJETIVOS EDUCACIONALES:

- Diferenciar las tipologías de redes neuronales.
- Comprender el funcionamiento de F1 score.
- Identificar aplicaciones de las redes neuronales.
- Comprender el funcionamiento del aprendizaje no supervisado.
- Identificar elementos de importancia relacionados con la aplicación de conceptos.
- Identificar elementos de aprendizaje por refuerzo.
- Comprender e identificar etapas de la visión artificial.
- Comprender el funcionamiento del aprendizaje por refuerzo.
- Comprender los métodos de filtrado en machine learning.
- Identificar aplicaciones de Random Forest.
- Comprender aplicaciones de machine learning.
- Identificar los pasos para realizar descubrimiento de conocimiento en una base de datos.
- Diferenciar árboles de regresión y clasificación.
- Comprender la minería de datos de patrones secuenciales.

PREGUNTAS

A continuación, se presentan las preguntas generadas por los estudiantes. Se resalta en negrita la opción de la respuesta correcta.

1. **Enunciado:** ¿Qué diferencia hay entre una red neuronal profunda (DNN) y una red neuronal convolucional (CNN)?

Objetivo educacional: Diferenciar las tipologías de redes neuronales.

Opciones de respuesta:

- a. Una red neuronal profunda (DNN) realiza pooling en todas sus capas y la red neuronal convolucional (CNN) no lo hace.
 - b. Una red neuronal profunda (DNN) no realiza pooling mientras que la red neuronal convolucional (CNN) lo hace en todas sus capas.
 - c. Una red neuronal convolucional (CNN) realiza pooling en las capas ocultas, y la red neuronal profunda (DNN) lo hace en todas sus capas.
 - d. Una red neuronal convolucional (CNN) realiza pooling en las capas ocultas, y la red neuronal profunda (DNN) no lo hace.**
2. **Enunciado:** ¿Qué tipo de resultados se ignora por completo en la métrica F1 para medir el rendimiento de una prueba?

Objetivo educacional: Comprender el funcionamiento de F1 score.

Opciones de respuesta:

- a. Los resultados verdaderos negativos se ignoran completamente en la métrica F1 ya que no se incluye para calcular la precisión.
 - b. Los resultados falsos positivos se ignoran completamente en la métrica F1 ya que no se incluye para calcular la precisión ni el recall.
 - c. Los resultados verdaderos negativos se ignoran completamente en la métrica F1 ya que no se incluye para calcular la precisión ni el recall.**
 - d. Los resultados falsos positivos se ignoran completamente en la métrica F1 ya que no se incluye para calcular la precisión.
3. **Enunciado:** ¿Hay posibilidad de utilizar redes neuronales en procesos radiológicos?

Objetivo educacional: Identificar aplicaciones de las redes neuronales.

Opciones de respuesta:

- a. Es posible realizarlo en fracturas de huesos, detección de tumores y enfermedades cancerígenas.**
 - b. No es posible realizarlo.
 - c. Es posible realizarlo en fracturas de huesos, sin embargo, la detección de tumores aún no es posible.
4. **Enunciado:** ¿Cuál es la metodología que se utiliza en el aprendizaje no supervisado?

Objetivo educacional: Comprender el funcionamiento del aprendizaje no supervisado.

Opciones de respuesta:

- a. El aprendizaje no supervisado no utiliza estrategias de clasificación.
- b. El aprendizaje no supervisado, utiliza algoritmos que le permiten analizar un conjunto de datos y encontrar en los mismos patrones diferenciadores que utiliza como estrategia de clasificación.**
- c. El aprendizaje no supervisado, utiliza algoritmos que le permiten segmentar un conjunto de datos e identificar en los mismos datos diferenciadores para realizar inferencias.

5. **Enunciado:** ¿Cuál es el propósito del sistema ChexNet?

Objetivo educacional: Identificar aplicaciones de las redes neuronales.

Opciones de respuesta:

- a. Es una red neuronal profunda (DNN) que detecta cáncer de pulmón.
- b. Es una red neuronal profunda (DNN) que detecta neumonía.
- c. Es una red neuronal convolucional (CNN) que detecta neumonía.**
- d. Es una red neuronal convolucional (CNN) que detecta cáncer de pulmón.

6. **Enunciado:** ¿Las redes neuronales convolucionales son sólo efectivas para detectar diagnósticos a partir de radiografías?

Objetivo educacional: Identificar aplicaciones de las redes neuronales.

Opciones de respuesta:

- a. No, se ha mostrado que este tipo de redes neuronales tienen mayor precisión que otros métodos usados en la visión artificial para la detección y clasificación de objetos.**
- b. Si, se ha mostrado que este tipo de redes neuronales solo son válidas en detección de diagnósticos a partir de radiografías.
- c. Si, las redes neuronales convolucionales solo sirven en visión artificial para la detección y clasificación de objetos.
- d. Ninguna de las anteriores.

7. **Enunciado:** ¿Qué se detectó en el artículo “Challenges and Opportunities in Game Artificial Intelligence Education Using Angry Birds” con respecto a la visión artificial en el desarrollo e implementación del proyecto propuesto para la competición de Angry Birds?

Objetivo educacional: Identificar elementos de importancia relacionados con la aplicación de conceptos.

Opciones de respuesta:

- a. El API proporcionado reconoce de manera óptima objetos tales como los tipos de aves y puede reconocer obstáculos irrompibles.
 - b. El API proporcionado a veces, reconoce objetos incorrectos, como los tipos de aves y no puede reconocer obstáculos irrompibles.**
 - c. Ninguna de las anteriores.
8. **Enunciado:** ¿Qué estrategias utiliza el agente de software en el que se basaron los estudiantes para realizar el proyecto sobre el juego Angry Birds?

Objetivo educacional: Identificar elementos de importancia relacionados con la aplicación de conceptos.

Opciones de respuesta:

- a. Apunta a un objetivo al azar, eligiendo el ángulo de disparo más alto para alcanzarlo.
 - b. Apunta a un objetivo en específico, eligiendo siempre el ángulo perfecto para alcanzarlo.
 - c. Apunta a uno de los objetivos al azar y elige ángulos de disparo entre el ángulo más alto y el más bajo al objetivo.**
9. **Enunciado:** ¿Cuáles son las acciones dentro del modelo de aprendizaje por refuerzo?

Objetivo educacional: Identificar elementos de aprendizaje por refuerzo.

Opciones de respuesta:

- a. Tomar acciones y entregar recompensa.
 - b. Identificar estado, tomar acciones, obtener recompensa.**
 - c. Recibir y entregar recompensas.
 - d. Ninguna de las anteriores.
10. **Enunciado:** ¿En qué consiste la política de control para los agentes de software de Angry Birds?

Objetivo educacional: Identificar elementos de importancia relacionados con la aplicación de conceptos.

Opciones de respuesta:

- a. Consiste en definir la forma de desplazarse del agente.

b. Consiste en definir la forma de comportarse del agente en un cada uno de los estados.

c. Ninguna de las anteriores.

11. **Enunciado:** ¿Cuál no es una etapa básica de una aplicación de Visión Artificial?

Objetivo educacional: Identificar elementos de importancia relacionados con la aplicación de conceptos.

Opciones de respuesta:

a. Construcción del sistema de captura de las imágenes.

b. Preprocesamiento.

c. Segmentación.

d. Representación y descripción.

e. Reconocimiento e interpretación.

f. Ninguna de las anteriores.

12. **Enunciado:** Para un agente de software, ¿En qué consiste el proceso de aprovechar acciones?

Objetivo educacional: Comprender el funcionamiento del aprendizaje por refuerzo.

Opciones de respuesta:

a. Consiste en inferir las acciones futuras que permiten producir una recompensa.

b. Consiste en preferir las acciones que ha intentado en el pasado y que han demostrado ser eficaces para producir una recompensa.

c. Consiste en aprovechar las acciones que ha intentado en el pasado para producir una recompensa.

d. Ninguna de las anteriores.

13. **Enunciado:** ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es falsa respecto a los métodos de envoltura y los de filtrado?

Objetivo educacional: Comprender los métodos de filtrado en machine learning.

Opciones de respuesta:

a. Los métodos de envoltura hacen uso de estadísticas univariadas.

b. Los métodos de envoltura suelen proporcionar el conjunto de características de mejor comportamiento para el modelo, mientras que los métodos de filtrado suelen proporcionar un conjunto de características más general, normalmente dan un rendimiento de predicción más bajo.

- c. Los métodos de envoltura son computacionalmente más intensivos que los métodos de filtrado.
- d. Ninguna de las anteriores.

14. **Enunciado:** Haciendo uso de Random Forest, ¿se puede predecir el precio de una acción de la bolsa de valores tomando en cuenta los datos históricos?

Objetivo educacional: Identificar aplicaciones de Random Forest.

Opciones de respuesta:

- a. Con este algoritmo si se puede predecir el valor de una acción de la bolsa ya que este es un algoritmo de regresión.
- b. Con este algoritmo no se puede predecir el valor de una acción de la bolsa ya que este es un algoritmo de clasificación.**
- c. Con este algoritmo si se puede predecir el valor de una acción de la bolsa ya que según la forma en cómo se utilice es posible obtener datos cercanos.
- d. Con este algoritmo no se puede predecir el valor de una acción de la bolsa ya que este es un algoritmo de regresión.

15. **Enunciado:** ¿Por qué se usan más soluciones de aprendizaje de máquina supervisados que no supervisados para la diabetes?

Objetivo educacional: Comprender aplicaciones de machine learning.

Opciones de respuesta:

- a. Porque los conjuntos de datos utilizados en estas soluciones corresponden a personas ya diagnosticadas con diabetes en cualquiera de sus niveles.**
- b. Porque la gran parte de las soluciones propuestas tienen como objeto la prevención y diagnóstico por medio de la clasificación.
- c. Falso, se utilizan más soluciones no supervisadas.

16. **Enunciado:** Los pasos para el descubrimiento de conocimiento a partir de una base de datos corresponden a: (a) Minería de datos, (b) Selección de datos, (c) Obtención del conocimiento a partir de los modelos, (d) Separación en subconjuntos, (e) Pre-procesamiento y transformación. El orden correcto es el siguiente:

Objetivo educacional: Identificar los pasos para realizar descubrimiento de conocimiento en una base de datos.

Opciones de respuesta:

- a. a, d, c, b, e
- b. b, d, e, a, c**
- c. b, e, c, a, d
- d. e, b, d, a, c

17. **Enunciado:** Es una diferencia entre las variables objetivo de un árbol de regresión y uno de clasificación:

Objetivo educacional: Diferenciar árboles de regresión y clasificación.

Opciones de respuesta:

- a. El árbol de regresión utiliza variables discretas, mientras que un árbol de clasificación utiliza variables continuas.
- b. El árbol de regresión utiliza variables continuas, mientras que un árbol de clasificación utiliza variables discretas.
- c. El árbol de regresión utiliza variables continuas, mientras que un árbol de clasificación utiliza variables categóricas.**
- d. Ninguna de las anteriores.

18. **Enunciado:** Teniendo en cuenta que hay algoritmos o técnicas de clasificación y selección de datos, ¿Es posible predecir algún tipo de dato o característica con la técnica de minería de datos de patrones secuenciales?

Objetivo educacional: Comprender la minería de datos de patrones secuenciales.

Opciones de respuesta:

- a. Sí es posible ya que la técnica de minería de datos de patrones secuenciales se utiliza para extraer patrones de datos, donde los valores se entregan en una secuencia.**
- b. No es posible ya que, aunque la técnica de minería de datos de patrones secuenciales se utiliza para extraer patrones de datos, estos patrones deben ser procesados con una red neuronal para lograr obtener predicciones.
- c. Algunas veces, depende de la secuencia esperada.
- d. Ninguna de las anteriores.

NOMBRES RECURSOS DE APRENDIZAJE:

- The basics of Deep Neural Networks.
- Convolutional Neural Network.
- Artificial Neural Networks.

- Accuracy, Precision, Recall & F1 Score: Interpretation of Performance Measures.
- CheXNet: Radiologist-Level Pneumonia Detection on Chest X-Rays with Deep Learning
- Los 2 tipos de aprendizaje en Machine Learning: supervisado y no supervisado.
- Técnica de Machine Learning para crear modelos predictivos a partir de datos de entrada y respuesta conocidos.
- Conceptos de inteligencia artificial: qué es el aprendizaje por refuerzo.
- Stanford desarrolla CheXNet, un algoritmo de IA capaz de diagnosticar la neumonía mejor que los radiólogos.
- CheXNet: an in-depth review.
- Redes neuronales convolucionales.
- Aprendizaje profundo (deep learning).
- Visión artificial - Conceptos generales.
- Challenges and Opportunities in Game Artificial.
- Intelligence Education Using Angry Birds.
- Aprendizaje mediante Juegos basados en Principios de Gamificación en Instituciones de Educación Superior.
- Agentes de software.
- Métodos de Selección de Características.
- Comenzando con Weka: Filtrado y selección de subconjuntos de atributos basada en su relevancia descriptiva para la clase.
- Understanding Random Forest.
- Aprendizaje automático (machine learning).
- El proceso de descubrimiento de conocimiento en bases de datos.
- Árboles de clasificación y regresión.
- Introducción a los árboles de regresión y clasificación, random forests y redes neuronales con R.
- ¿Qué es la Minería de Datos y cómo funciona?
- Machine Learning and Data Mining Methods in Diabetes Research.

Referencias bibliográficas

- [1] J. D. Peña, “El aprendizaje cooperativo y las competencias”, *Rev. d’Innovació Docent Univ.*, vol. 2, pp. 1–9, 2010.
- [2] R. D. Johnson y H. G. Gueutal, “Transforming HR through technology: The use of E-HR and HRIS in organizations”, *Soc. Hum. Resour. Manag. Eff. Pract. Guidel. Ser. Alexandria, VA*, 2011.
- [3] A. Garrido, L. Morales, y I. Serina, “On the use of case-based planning for e-learning personalization”, *Expert Syst. Appl.*, vol. 60, pp. 1–15, oct. 2016.
- [4] J. L. Moore, C. Dickson-Deane, y K. Galyen, “E-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?”, *Internet High. Educ.*, vol. 14, núm. 2, pp. 129–135, mar. 2011.
- [5] V. D. Yannibelli y A. Amandi, “Forming well-balanced collaborative learning teams according to the roles of their members : An evolutionary approach”, pp. 265–270, 2011.
- [6] A. Gómez Mujica y H. Acosta Rodríguez, “Acerca del trabajo en grupos o equipos”, *Acimed*, vol. 11, núm. 6, p. 0, 2003.
- [7] V. Diaz, M. Brown, y J. Salmons, “Assessment of Collaborative Learning Project Outcomes”, *Educ. Learn. Initiat.*, pp. 1–11, 2010.
- [8] H.-Y. Y. Hong y F. R. Sullivan, “An idea-centered, principle-based design approach to support learning as knowledge creation”, *Educ. Technol. Res. Dev.*, vol. 57, núm. 5, pp. 613–627, 2009.
- [9] C. C. Sing, L. Wei-Ying, S. Hyo-Jeong, y C. H. Mun, *Advancing Collaborative Learning with ICT: Coception, Cases and Design*. Ministry of Education, Educational Technology Division, 2011.
- [10] A. K. Larsen y G. O. Hole, *Collaborative learning in e-learning*. Virtual book e-pedagogy for teachers in higher education, 2009.
- [11] R. F. Herrera, F. C. Muñoz, y L. A. Salazar, “Diagnóstico del Trabajo en Equipo en Estudiantes de Ingeniería en Chile”, *Form. Univ.*, vol. 10, núm. 5, pp. 49–58, 2017.
- [12] D. R. Krathwohl y L. W. Anderson, *A taxonomy for learning, teaching, and assessing:*

- A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman, 2009.
- [13] Learning Technology Standards Committee of the IEEE, "1484.12.1-2002 - IEEE Standard for Learning Object Metadata", *IEEE*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, p. 32, 2002.
- [14] P. Raju y V. Ahmed, "Enabling technologies for developing next-generation learning object repository for construction", en *Automation in Construction*, 2012, vol. 22, pp. 247–257.
- [15] T. Berners-Lee y J. Hendler, "Publishing on the semantic web", *Nature*, vol. 410, núm. 6832. Nature Publishing Group, pp. 1023–1024, 26-abr-2001.
- [16] K. A. De Graaf, P. Liang, A. Tang, W. R. Van Hage, y H. Van Vliet, "An exploratory study on ontology engineering for software architecture documentation", *Comput. Ind.*, vol. 65, núm. 7, pp. 1053–1064, sep. 2014.
- [17] A. Feroso, A. Salvador, y M. Sicilia, "Una ontología en OWL para la representación semántica de objetos de aprendizaje", *V Simp. Pluridiscip. sobre Diseño y Evaluación Contenidos Educ. Reutil.*, SPDECE08, pp. 1–9, 2008.
- [18] N. F. Noy y D. L. McGuinness, "Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology", *Stanford Knowl. Syst. Lab.*, p. 25, 2001.
- [19] O. Corcho, M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez, y A. López-Cima, "Building legal ontologies with METHONTOLOGY and WebODE", en *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2005, vol. 3369 LNAI, pp. 142–157.
- [20] C. Caicedo y M. Weiss, "The viability of spectrum trading markets", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, núm. 3, pp. 46–52, 2011.
- [21] D. A. Ovalle, O. M. Salazar, y N. D. Duque, "Modelo de recomendación personalizada en cursos virtuales basado en computación ubicua y agentes inteligentes", *Inf. Tecnol.*, vol. 25, núm. 6, pp. 131–142, 2014.
- [22] Á. Carrera, C. a. Iglesias, J. García-Algarra, y D. Kolařík, "A real-life application of multi-agent systems for fault diagnosis in the provision of an Internet business service", *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 37, núm. 1, pp. 146–154, 2014.
- [23] K. Cañar y J. Heredia, "Diseño e implementación de un sistema adaptivo de recomendación de información basado en mashups", *Tecnol_ogica ESPO*, 2009.
- [24] S. C. Cazella, M. Nunes, y E. Reategui, "A Ciência da Opinião: Estado da arte em Sistemas de Recomendação", *André Ponce Leon F. Carvalho; Tomasz*

- Kowaltowski..(Org.). Jorn. Atualização Informática-JAI*, pp. 161–216, 2010.
- [25] J. Vera, A. O. Mamani, y K. Villalba, “Modelo de sistema de recomendación de Objetos de Aprendizaje en dispositivos móviles, caso: Desarrollo del pensamiento computacional”, en *XX Congreso Internacional de Informática Educativa, TISE 2015. Nuevas Ideas en Informática Educativa (Santiago, Chile, 1-3 de diciembre de 2015)*, 2015, pp. 730–734.
- [26] P. A. Rodríguez, N. D. Duque, y D. A. Ovalle, “Método Híbrido de Recomendación Adaptativa de Objetos de Aprendizaje basado en Perfiles de Usuario”, *Form. Univ.*, vol. 9, núm. 4, pp. 83–94, 2016.
- [27] T. S. Chen, C. S. Chang, J. S. Lin, y H. L. Yu, “Context-aware writing in ubiquitous learning environments”, en *Proceedings - 5th IEEE International Conference on Wireless, Mobile, and Ubiquitous Technologies in Education, WMUTE 2008*, 2008, pp. 67–73.
- [28] M. Vlădoiu, “U-learning scenarios within context aware ubiquitous learning environments”, *IJRRAS*, vol. 8, núm. 2, 2011.
- [29] M. M. Phahlane y R. M. Kekwaletswe, “Contextualized Framework for Ubiquitous Learning Support Using a Learning Management System”, *Int. J. Comput. Inf. Technol.*, vol. 01, núm. 02, pp. 109–112, 2012.
- [30] K. Palfreyman y T. Rodden, “A protocol for user awareness on the World Wide Web”, en *Proceedings of the 1996 ACM conference on Computer supported cooperative work - CSCW '96*, 1996, pp. 130–139.
- [31] A. Aguilera, C. A. Fúquene, y W. F. Ríos, “Aprende jugando: el uso de técnicas de gamificación en entornos de aprendizaje”, *IM-Pertinente*, vol. 2, núm. 1, pp. 125–143, 2014.
- [32] S. K. Babu, M. L. McLain, K. Bijlani, R. Jayakrishnan, y R. R. Bhavani, “Collaborative Game Based Learning of Post-Disaster Management: Serious Game on Incident Management Frameworks for Post Disaster Management”, *2016 IEEE Eighth Int. Conf. Technol. Educ.*, pp. 80–87, 2016.
- [33] L. El-ghouli y F. Khoukhi, “Contributions of Serious Games on Adaptive Learning Systems”, *2016 11th Int. Conf. Intell. Syst. Theor. Appl.*, pp. 1–6, 2016.
- [34] A. Samadi, E. F. Hanaa, M. Qbadou, M. Youssfi, y F. Akef, “A syntactic and semantic multi-agent based question answering system for collaborative e-learning”, en *Proceedings of the 2018 International Conference on Optimization and Applications*,

- ICOA 2018*, 2018, pp. 1–4.
- [35] I. Matazi, A. Bennane, R. Messoussi, R. Touahni, I. Oumaira, y R. Korchiyne, “Multi-Agent System Based on Fuzzy Logic for E-Learning Collaborative System”, en *International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies, ISAECT 2018 - Proceedings*, 2018, pp. 1–7.
- [36] K. Mizukoshi, T. Oshima, Y. Mizuochi, y K. Yatsushiro, “A portable CSCL system ‘edutab box’ with an autonomous wireless network”, en *SII 2016 - 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, 2016, pp. 640–645.
- [37] R. W. X. Ee, K. Z. Yap, y K. Y. L. Yap, “Herbopolis – A mobile serious game to educate players on herbal medicines”, *Complement. Ther. Med.*, vol. 39, pp. 68–79, ago. 2018.
- [38] I. Champsas, I. Leftheris, T. Tsiatsos, T. Terzidou, y A. Mavridis, “OpenGames: A framework for implementing 3D collaborative educational games in OpenSim”, en *Proc. 6th Eur. Conf. Games Based Learning*, 2012, pp. 82–92.
- [39] I. Leftheris, I. Champsas, T. Tsiatsos, T. Terzidou, y A. Mavridis, “Design and evaluation of a 3D collaborative game to support game based learning”, en *Proceedings of the 6th European Conference on Games Based Learning*, 2012, pp. 269–277.
- [40] A. Mavridis y T. Tsiatsos, “Improving collaboration between students exploiting a 3D game”, en *2014 IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 2014, pp. 671–675.
- [41] T. Terzidou, T. Tsiatsos, C. Miliou, y A. Sourvinou, “Agent Supported Serious Game Environment”, *IEEE Trans. Learn. Technol.*, vol. 9, núm. 3, pp. 217–230, jul. 2016.
- [42] C. S. González-González, P. A. Toledo-Delgado, V. Muñoz-Cruz, y P. V. Torres-Carrion, “Serious games for rehabilitation: Gestural interaction in personalized gamified exercises through a recommender system”, *J. Biomed. Inform.*, vol. 97, p. 103266, sep. 2019.
- [43] R. Proffitt, M. Seveck, C.-Y. Chang, y B. Lange, “User-centered design of a controller-free game for hand rehabilitation”, *Games Health J.*, vol. 4, núm. 4, pp. 259–264, 2015.
- [44] P. Rego, P. M. Moreira, y L. P. Reis, “Serious games for rehabilitation: A survey and a classification towards a taxonomy”, en *5th Iberian conference on information systems and technologies*, 2010, pp. 1–6.

- [45] F. Orooji y F. Taghiyareh, "Supporting participants in web-based collaborative learning activities from a holistic point of view: a tale of seven online and blended courses", *J. Comput. Educ.*, vol. 2, núm. 2, pp. 183–210, jun. 2015.
- [46] I. S. Lin, T. Y. Li, F. C. Liang, y Y. T. Lin, "A Collaborative Learning System for Sharing 3D Models: 3D Model Co-learning Space", en *Proceedings - IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2017*, 2017, pp. 502–506.
- [47] M. Freeman, "Peer Assessment by Groups of Group Work", *Assess. Eval. High. Educ.*, vol. 20, núm. 3, pp. 289–300, dic. 1995.
- [48] O. M. Salazar, S. Álvarez, y D. A. Ovalle, "EOLo: A Serious Mobile Game to Support Learning Processes", en *Methodologies and Intelligent Systems for Technology Enhanced Learning*, 2017, pp. 118–125.
- [49] R. Poy-Castro, C. Mendaña-Cuervo, y B. González, "Diseño y evaluación de un juego serio para la formación de estudiantes universitarios en habilidades de trabajo en equipo", *RISTI - Rev. Ibérica Sist. e Tecnol. Informação*, núm. E3, pp. 71–83, mar. 2015.
- [50] S. Esnawy, "EFL/EAP Reading and Research Essay Writing Using Jigsaw", *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 232, pp. 98–101, oct. 2016.
- [51] D. Johnson, R. Johnson, y M. B. Stanne, "Cooperative learning methods: A meta-analysis", 2000.
- [52] A. Churches, "Bloom's Taxonomy blooms digitally", *Tech Learn.*, vol. 196605124, pp. 1–6, 2008.
- [53] S. Álvarez, O. M. Salazar, D. A. Ovalle, S. Álvarez, O. M. Salazar, y D. A. Ovalle, "Modelo basado en Agentes para la Detección de Fallas Cognitivas en Entornos de Aprendizaje Colaborativo", *Inf. tecnológica*, vol. 29, núm. 5, pp. 289–298, oct. 2018.
- [54] C. A. Valencia, P. A. Gaona-García, C. E. Montenegro-Marín, y A. C. Gómez-Acosta, "Modelo ontológico basado en web of confianza para analizar el uso de recursos en entorno de aprendizaje", *Iteckne*, vol. 14, núm. 1, pp. 34–45, 2017.
- [55] O. Corcho, M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez, y A. López-Cima, "Construcción de ontologías legales con la metodología METHONTOLOGY y la herramienta WebODE", en *Web Semántica y ontologías jurídicas. Aplicaciones para el derecho en la nueva generación de la red*, 2005, pp. 1–17.
- [56] E. Ramos y H. Nuñez, "Ontologías: componentes, metodologías, lenguajes,

- herramientas y aplicaciones”, *Caracas Lect. en Ciencias la Comput.*, 2007.
- [57] U. Yadav, G. S. Narula, N. Duhan, V. Jain, y B. K. Murthy, “Development and Visualization of Domain Specific Ontology using Protege”, *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 9, núm. 16, may 2016.
- [58] F. Lhafiane, A. Elbyed, y M. Bouchoum, “Multi-Agent System Architecture Oriented Prometheus Methodology Design for Reverse Logistics”, *Int. J. Comput. Electr. Autom. Control Inf. Eng.*, vol. 9, núm. 8, pp. 1914–1920, 2015.
- [59] H. Sun, J. Thangarajah, y L. Padgham, “Eclipse-based Prometheus Design Tool”, *Proc. 2013 Int. Conf. Auton. agents multi-agent Syst.*, pp. 1769–1770, 2010.
- [60] L. Padgham y M. Winikoff, *Developing intelligent agent systems : a practical guide*. John Wiley & Sons, 2004.