



## Modelado de un sistema multi-agente para monitorear indicadores de eficiencia de una institución de educación basado en la metodología INGENIAS

### Modeling of a multi-agent system to monitor efficiency indicators of an educational institution based on the INGENIAS methodology

**Christian Mauricio Castillo Estrada**

Universidad Autónoma de Chiapas, Tapachula, Chiapas, México  
cmce@unach.mx  
ORCID: 0000-0002-4540-9980

**Karina Cancino Villatoro**

Universidad Politécnica de Tapachula, Tapachula, Chiapas, México  
karina.cancino@uptapachula.edu.mx  
ORCID: 0000-0002-7467-9082

**Luis Antonio Álvarez Oval**

Universidad Autónoma de Chiapas, Tapachula, Chiapas, México  
loval@unach.mx

doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.10.22.010>

Recibido: Agosto 09, 2022

Aceptado: Noviembre 15, 2022

**Resumen:** La verificación y seguimiento a los indicadores de eficiencia terminal y titulación en las Instituciones de Educación Superior, en ciertas ocasiones suele ser una tarea compleja; no obstante, estos indicadores resultan ser factores relevantes en el cumplimiento de los criterios de calidad que permiten evaluar el funcionamiento de un programa educativo y la eficiencia escolar de una institución educativa. Por lo anterior, y con la finalidad de cumplir con estos objetivos se ha modelado un sistema multi-agente que facilite la planificación, monitoreo y seguimiento a estos indicadores coadyuvando en el proceso de toma de decisiones estratégicas. Los agentes resultan ser un software que cumple con una función específica, para que otros agentes puedan lograr sus metas; en virtud de ello, los agentes han demostrado ser una solución eficiente al interactuar como un conjunto de entes autónomos que colaboran y se benefician entre ellos, para la solucionar problemas mediante el cumplimiento de tareas de forma colaborativa. De acuerdo a lo anterior, este artículo expone una propuesta basada en multi- agentes para modelar un sistema que permita un monitoreo permanente de los indicadores de eficiencia señalados para apoyar a los directivos, basado en los principios de la metodología de INGENIAS.

**Palabras clave:** *Sistema Multi-agente, INGENIAS, Indicadores de Eficiencia, Gestión de Calidad.*

**Abstract:** The verification and follow-up of the indicators of terminal efficiency and degree in Higher Education Institutions, on certain occasions is usually a complex task; however, these indicators turn out to be relevant factors to meet the quality standards of educational programs and improve the school efficiency of an educational institution. Due to the above, and in order to meet these objectives, a multi-agent system has been modeled to

facilitate the planning, monitoring and follow-up of these indicators, contributing to the strategic decision-making process. The agents turn out to be software that fulfills a specific function, so that other agents can achieve their goals; By virtue of this, agents have proven to be an efficient solution by interacting as a set of autonomous entities that collaborate and benefit from each other, to solve problems by performing tasks collaboratively. According to the above, this article presents a proposal based on multi-agents to model a system that allows permanent monitoring of the efficiency indicators indicated to support managers, based on the principles of the INGENIAS methodology.

**Keywords:** *Multi-agent System, INGENIAS, Efficiency Indicators, Quality Management.*

## 1. Introducción

Uno de los ejes estratégicos fundamentales de las Instituciones de Educación Superior (IES) resulta ser la formación de recurso humano, en ese sentido, la eficiencia de la misma depende de los porcentajes de estudiantes que egresan o titulan, en relación a los estudiantes que ingresaron originalmente, es decir, por cohorte generacional. A este indicador se le conoce como eficiencia terminal (ET). Durante más de dos décadas del siglo pasado, se observó un crecimiento constante en la población escolar del nivel de educación superior en México, no obstante, en los últimos años del siglo anterior, el concepto de calidad educativa comenzó a considerarse como una prioridad. Para atender esta prioridad se fundaron ciertos organismos, por precisar algunos: Comités Interinstitucionales de Evaluación de Educación Superior (CIEES), Centro Nacional para la Evaluación de la Educación Superior (CENEVAL), y posteriormente el Consejo para la Acreditación de la Educación Superior A.C. (COPAES); este último autorizado por la Secretaría de Educación Superior del cual se derivan varios organismos responsables de evaluar la calidad de programas educativos con base al área de conocimiento correspondiente [1].

De acuerdo a lo manifestado en publicaciones internacionales, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura define el término de eficiencia de un programa educativo como: "*El grado en el cual un sistema educativo consigue optimizar la relación inversión–resultado en la educación*" [2]. En este enunciado se identifican dos variables correlacionadas; la primera depende del control administrativo y financiero, la segunda se relaciona con la medición del número de egresados o titulados aceptablemente terminados.

Con base a los lineamientos de la SEP, la eficiencia terminal es un indicador de gran relevancia para evaluar el funcionamiento de las instituciones educativas, reflejando el porcentaje de estudiantes que egresan de forma regular con respecto a los que egresan esporádicamente [3]. A menudo en las Instituciones de Educación Superior existe un Departamento de Control Escolar en cada centro educativo, responsable de dar cumplimiento a funciones sustanciales académico-administrativas consistentes en la aplicación de la normatividad vigente para lograr el correcto funcionamiento interno de los programas educativos; estas actividades son apoyadas mediante el uso de sistemas de información que tienen como objetivo recopilar información de las trayectorias escolares; sin embargo, la mayoría de estos sistemas presentan informes que no demuestran la evolución de cada programa educativo por cohorte generacional, ante esta situación, el seguimiento de los indicadores de eficiencia resulta ser un reto.

Es una realidad que en ocasiones no exista un monitoreo constante a estos indicadores de eficiencia en las instituciones, es decir, regularmente esta acción deriva de una orden o solicitud por parte de los directivos para la generación de reportes estadísticos que permitan el análisis del comportamiento de estos indicadores durante cierto periodo de tiempo y con ello identificar posibles problemáticas. Es evidente que estos sistemas de información no operan de manera automática, existe la necesidad de la intervención de una persona o usuario final, quien comúnmente desempeña diversas actividades administrativas provocando que el monitoreo o seguimiento no sea constante, es decir, no existe personal contratado específicamente para esas tareas.

La mayoría de las instituciones de educación superior públicas poseen diversos campus, y cada uno de ellos agrupan a varias unidades académicas, por tal motivo es común que exista al menos un responsable del área de control escolar por cada unidad académica; lo cual provoca una situación compleja para la correcta toma de decisiones e implementación de estrategias orientadas a solventar factores o situaciones que ponen en riesgo a los programas educativos; lo anterior obliga a mantener una comunicación constante entre directivos, coordinadores de carrera, profesores tutores y el personal de control escolar, para que la información relacionada con estos indicadores fluya de manera oportuna, sin embargo esto en ocasiones no sucede de acuerdo a lo esperado.

Derivado de lo anterior, en este trabajo se describe una propuesta de modelar una solución tecnológica basada en una arquitectura de Sistema Multi-agente. Este paradigma representa una analogía entre los sistemas de agentes

con interacción de propósito en comparación al comportamiento de un humano para pensar y actuar para llevar a cabo tareas que le permitan cumplir objetivos o metas [4]. Este tipo de sistemas resultan ser un caso particular de un sistema distribuido, con la principal particularidad que sus componentes son autónomos y egoístas, es decir, buscan satisfacer sus propios objetivos. Además, estos sistemas también destacan por ser abiertos, no hacen uso de una arquitectura centralizada [5].

Considerando lo manifestado, resulta de nuestro interés proponer en este trabajo un modelado de un sistema multi-agente orientado al monitoreo permanente de estos indicadores de eficiencia que resultan de vital importancia para las instituciones educativas. Además, este modelo permitirá alertar y tener al tanto a los directivos y personal académico-administrativo responsables, para intervenir a través de la toma de decisiones bajo el criterio de situaciones atípicas que afecten el desempeño de la institución; y coadyuve de manera autónoma a la promoción de las opciones de titulación.

## 2. Estado del arte

### 2.1. Marco referencial

Es evidente que, en los últimos años, el impulso a la calidad educativa resulta ser un tema relevante en las Instituciones de Educación Superior en México, el principal objetivo ha sido brindar atención a las demandas de un contexto globalizado mediante la formación de profesionistas que posean competencias, actitudes y valores para transformar el entorno productivo, social y económico de nuestro país [6]. Así también, es importante resaltar que el Sistema Educativo Nacional ha mostrado avances significativos con respecto a años anteriores; no obstante, el desafío de determinar las causas o factores que dificultan acrecentar los porcentajes de los indicadores de eficiencia terminal en las instituciones resulta ser complicado; lo anterior resulta necesario para poder dar el seguimiento correspondiente a estos indicadores que permitan establecer estrategias en tiempo y forma. La Comisión Nacional para la Mejora Continua de la Educación en México, ha manifestado que no basta con garantizar que las niñas, niños, adolescentes y jóvenes (NNAJ) accedan a la educación y aprueben cada grado; el desafío es que logren egresar de cada nivel educativo en los tiempos curriculares idóneos [7].

Por otro lado, el Consejo para la Acreditación de la Educación Superior (COPAES), asociación orientada a regular el otorgamiento de acreditaciones a instituciones educativas en el país, establece una serie de indicadores y parámetros de rendimiento escolar por cohorte generacional que deben ser evaluados. Para tal efecto, recomienda a sus diferentes organismos acreditadores que incluyan dentro de sus formatos de autoevaluación de programas educativos, la elaboración de tablas que integren información clasificada por generación (cohorte generacional) relacionados con: Rezago, Deserción, Eficiencia terminal y Titulación [8]. Así también, la Secretaría de Educación Superior ha impulsado la aplicación de cuestionarios 911 en las instituciones de nivel superior, resultando ser los medios oficiales para recopilar la información estadística básica de educación superior, en los cuales se captura el número de alumnos de primer ingreso, número de egresados y titulados.

#### 2.1.1. Indicador de eficiencia terminal

Para entender la aplicación de este indicador en México, es importante conocer su origen y definición normativa; estos indicadores derivan de la Dirección General de Planeación, Programación y Presupuesto de la Secretaría de Educación Pública (DGPPP), esta instancia puntualiza al término de Eficiencia Terminal como "*la relación porcentual entre los egresados de un nivel educativo dado y el número de estudiantes que ingresaron al primer grado de este nivel educativo n años antes*". Por tal motivo, es un indicador que fue creado con la finalidad de tener un referente en la evaluación del funcionamiento de las instituciones educativas, en otras palabras, la DGPPP lo considera como la manifestación de la eficiencia del sistema educativo a nivel nacional [9].

Existen otras definiciones del indicador denominado Eficiencia Terminal (ET), sin embargo, es posible concretar que este indicador expone los estragos del rendimiento escolar referente a la reprobación y deserción. Así también, cuando se combina los resultados de calcular la ET con otros parámetros o indicadores, tales como la duración promedio que invierten los egresados en concluir sus estudios, respecto a indicadores de gasto educativo, logrando con ello un panorama general respecto a los recursos financieros adicionales o pérdidas del centro educativo [10].

De acuerdo a lo manifestado por la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), el término Eficiencia Terminal se ha considerado como objeto de estudio en diversas investigaciones, proponiendo con ello múltiples definiciones, una de estas lo considera un instrumento que ayuda a percibir la cifra total de estudiantes que concluyen cierto nivel educativo en los tiempos curriculares establecidos y el porcentaje de estudiantes que lo finalizan extemporáneamente [11].

El COPAES considera al resultado de este indicador de eficiencia, como un referente del desempeño que posee una institución educativa para conseguir que sus estudiantes finalicen los estudios de nivel superior en los tiempos curriculares requeridos; por tal motivo, es la relación porcentual que se obtiene al dividir la cifra total de egresados de un nivel educativo entre la cifra total de estudiantes de nuevo ingreso matriculados al primer grado de una cohorte generacional. Primordialmente, es utilizado como una medida de rendimiento en términos de la relación insumo-producto. A continuación, se describe la fórmula para calcular este indicador:

**Fórmula de cálculo:**  $(\text{egresados de la generación TC} / \text{total de estudiantes que ingresaron de la generación}) * 100$

Analicemos la aplicación de esta fórmula, para ello consideremos el siguiente ejemplo: nos interesa conocer la eficiencia terminal de un programa educativo de pregrado con una duración de nueve semestres; por tal motivo, es equivalente a un período de cinco años. Al aplicar los lineamientos establecidos por la DGPPP/SEP en relación a una generación que egresó en el año 2017, tendríamos:

$$\text{Eficiencia\_Terminal (2017)} = (\text{Egreso (2017)} / \text{Ingreso (2011)}) * 100$$

Para los casos relacionados con instituciones de educación superior se han hecho algunas propuestas para unificar el criterio de cálculo en relación a otras dependencias de la misma Subsecretaría Educación Superior; por tal motivo, los programas educativos que poseen una duración de cuatro años o más, el criterio establecido es tomar el total de egresados de un año en particular, y dividirlo por el total de estudiantes de nuevo ingreso seis años antes, aumenta un año para corregir posibles errores en el resultado debido al sesgo en las generaciones [12]. En virtud de la importancia, en este trabajo se plantea la creación de un Agente responsable de efectuar las tareas de aplicar la fórmula de cálculo de este indicador, y analizar los resultados para generar notificaciones a los directivos de la institución educativa.

### 2.1.2. Indicador de eficiencia tasa de titulación

La Tasa de titulación o Eficiencia Terminal de Titulados por cohorte, es otro indicador relevante para evaluar el desempeño de las instituciones educativas, el cual representa la relación que existe entre la cifra total de estudiantes que logran su titulación en un año escolar en particular y la cifra total de estudiantes que ingresaron al programa educativo. Según Martínez Rizo, manifiesta que eficiencia terminal de titulados resulta ser una relación numérica entre la cifra de estudiantes que logran su titulación en un período de hasta dos años después del egreso y los estudiantes que ingresaron en esa generación [13]; usualmente se compara la cifra total de titulados de cierta cohorte con la cifra total de estudiantes que forman parte de la misma cohorte, con la característica particular de considerar el tiempo requerido para titularse posterior al egreso. El procedimiento aritmético utilizado es:

$$\text{Fórmula} = (\text{titulados de la generación} / \text{total de ingreso de la cohorte}) * 100$$

De acuerdo a los organismos acreditadores asociados al COPAES, por lo regular estos cálculos se deben realizar considerando información que corresponde a los tres últimos ciclos escolares del programa educativo a evaluar. Así también, otros consejos de acreditación consideran al indicador de Eficiencia de Titulación dentro de sus marcos de referencia de evaluación, como una proporción de estudiantes titulados respecto a los estudiantes que ingresando tomando en cuenta la normatividad institucional, cada IES ajustará este tiempo de acuerdo a sus reglamentos internos y propone usar la siguiente fórmula:

$$\text{ETT} = (\text{ETC} / \text{EC}) * 100$$

El cálculo se realiza dividiendo el valor de la variable  $ETC = \text{Total de estudiantes titulados de la cohorte}$ , entre el valor de la variable  $EC = \text{Total de estudiantes que conforman la cohorte o generación}$ , tomando en consideración el plazo máximo para titularse de un egresado con base a la normatividad de cada institución [14]. De igual forma que el indicador anterior, en este trabajo se propone la creación de un Agente encargado de efectuar estos cálculos para analizar sus resultados y dar el seguimiento correspondiente de manera autónoma.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. Sistema Multi-agente

El concepto de agente inteligente nace en el área de conocimiento de la inteligencia artificial. Una definición comúnmente aceptada relaciona a esta disciplina con el análisis y diseño de entidades autónomas capacitadas para exhibir un comportamiento inteligente. Desde esa perspectiva, se tiene la convicción que un agente inteligente sea capaz de percibir su entorno, razonar y actuar para alcanzar sus objetivos, mediante la aplicación de algún principio de racionalidad, e interactuar con otros agentes inteligentes humanos o artificiales, todo ello bajo un esquema de autonomía [15].

Los sistemas multi-agente se han distinguido por brindar una solución para problemas complejos que se presentan en contextos de tipología distribuida. Al abordar el desarrollo de sistemas multi-agente, sin duda nos encontraremos con un grado de complejidad alto, y con ello, existe la necesidad de adaptar las técnicas existentes, o incluso desarrollar nuevas técnicas y herramientas [16]. La construcción de un MAS requiere de la integración de diversas tecnologías y la aplicación de diferentes principios del área de las Ciencias de la Computación, tales como: Técnicas de ingeniería de software y de Inteligencia Artificial; esta integración les concede la habilidad o competencia de tomar decisiones ante situaciones inesperadas; y los principios de programación concurrente con la finalidad de aportar un marco de referencia enfocado a coordinar tareas que se ejecutan en varias máquinas independientes y definir correctamente el proceso de desarrollo [17]. De acuerdo a lo anterior, durante los últimos años, ha habido diferentes plataformas y herramientas de desarrollo que brindan soluciones para el modelado y diseño de sistemas basados en agentes.

Por otra parte, es importante señalar que los agentes poseen ciertas propiedades, tales como autonomía, Habilidad Social y Proactividad [18]; las cuales permiten que operen sin la intervención directa de humanos, comunicándose unos con otros haciendo uso de un propio lenguaje de comunicación, sin necesidad que exista ciertos controles relacionados con estados internos y acciones; son ellos mismos, quienes toman la iniciativa para lograr sus propios objetivos, en otras palabras son proactivos al anticiparse a las ciertas necesidades de los usuarios.

Un sistema multi-agente se define por su arquitectura, que determina la estructura y topología de sus agentes. Las arquitecturas de sistemas multi-agente se han clasificado en general en cuatro tipos: centralizada, jerárquica, heterárquica y distribuida [19]. La propuesta que se describe en este trabajo, considera una arquitectura distribuida, considerando una estructura de interacción concurrente y colaborativa entre los agentes.

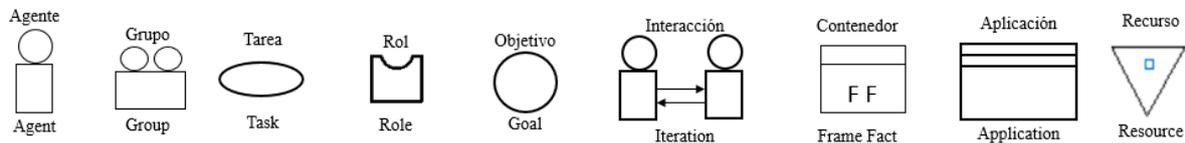
## 3. Metodología INGENIAS

Dentro del ámbito de la Ingeniería de Software, INGENIAS es considerada una metodología orientada al desarrollo de sistemas que involucran el uso de agentes, creada inicialmente para trabajar con el *Rational Unified Process (RUP)*; la cual proporciona una notación para el modelado de sistemas multi-agentes y una colección de actividades para guiar el proceso de desarrollo del mismo en las tareas de análisis, diseño, verificación y generación de código, con el apoyo de un conjunto integrado de herramientas. Estas herramientas, así como la notación INGENIAS, se basan en cinco meta-modelos que definen las diferentes vistas y conceptos desde los que se puede describir un sistema multi-agente [20]. Así también, retoma conceptos de ingeniería de software tales como: encapsulación de las funcionalidades mediante la incorporación de objetivos, tareas, roles, organizaciones, grupos, y flujos de trabajo.

Para el modelado de la propuesta del SMA que se aborda en este trabajo, hemos seleccionado la metodología INGENIAS en virtud de ser una metodología bastante sencilla, fácil de aprender y completa, la cual provee un lenguaje visual para diseñar modelos o vistas. Así también, INGENIAS concibe al desarrollo del sistema como un conjunto de modelos, en donde cada uno representa una visión parcial de todo el sistema multi-agente [21]; todas estas características facilitan la comprobación automática de inconsistencias durante el proceso de diseño [22].

### 3.1. Notación para representar modelos

La notación INGENIAS se utiliza para representar al agente y su objetivo. Depende del desarrollador elegir cuál usar. Cada agente tiene un estado mental, cuya configuración inicial se puede incluir en la especificación. En este caso, tiene una sola entidad que representa un hecho sobre el mundo. La Figura 1 muestran los símbolos que corresponden a la notación de la metodología INGENIAS, mismos que fueron utilizados para modelar el SMA propuesto que se describe en este trabajo.



**Figura. 1.** Notación para representar modelos usando la metodología INGENIAS.

Durante el proceso de diseño la notación que propone INGENIAS, resulta ser bastante útil para plasmar las piezas relevantes que componen al sistema multi-agente. De forma parecida en que un desarrollador de software comprende los conceptos de clases, interfaces, objetos y herencia para construir una solución tecnológica; el desarrollador de software orientado a agentes debe comprender y aplicar los términos de agente, organización, tarea, estado mental, recurso, entre otros; mismos que son expresados a través de símbolos en esta notación.

### 3.2. Los meta-modelos de INGENIAS

La metodología INGENIAS se estructura por cinco meta-modelos que exteriorizan los puntos de vista que deben ser tomados en cuenta al definir un sistema de agentes, priorizando las entidades: agente y organización. Según lo manifestado por Gómez Sanz, el meta-modelo resulta ser la representación de un conjunto de entidades, relaciones y restricciones de aplicación que pueden existir en un modelo [23]. A continuación, se describen:

- **Meta-Modelo de Agente:** Permite describir a cada agente integrante del sistema, personalizando sus responsabilidades y comportamientos.
- **Meta-Modelo de Tareas y Objetivos:** Su objetivo es definir los subobjetivos derivados de la descomposición del objetivo general, en otras palabras, describe la relación entre el estado mental y las tareas a ejecutar por el agente.
- **Meta-Modelo de Interacción:** Define a los responsables de ejecutar las interacciones, considerando el listado de tareas a ejecutan y el resultado que producen en cada interacción.
- **Meta-Modelo de Entorno:** Define el conjunto de recursos consumibles o no consumibles, aplicaciones, y otros agentes; es decir, se refiere a lo que percibe el agente y al ambiente donde puede actuar.
- **Meta-Modelo de Organización:** Permite generar un panorama general a través de la definición de los flujos de trabajo, considerando normas sociales, es decir, restricciones en el comportamiento de los agentes y sus interacciones; asegurando que ciertos agentes obedecen las indicaciones de otros o se comprometen al cumplimiento de tareas bajo demanda respetando preferencias [24].

Este conjunto de meta-modelos de INGENIAS ofrecen una clase de gramática denominadas vistas, mismas que son un referente para construir a los modelos y describir al sistema multi-agente. La relación que existe entre las entidades principales y los meta-modelos, se logra visualizar en el esquema presentado en la Figura 2.

### 3.3. El comportamiento del Agente

El estado mental determina en muchas ocasiones el comportamiento de los agentes, mismo que se representa mediante serie de objetivos y creencias que posee en determinado momento. Cada agente requiere de gestor de estado mental para crear, eliminar o modificar elementos; y de un procesador de estado mental enfocado a la decisión de tareas que debe ejecutar [25]. Es evidente la existencia de un paradigma de control donde el agente desempeña un rol que le brinda la autonomía para perseguir y cumplir los objetivos. En la Figura 3, se puede observar que las encargadas de producir esta modificación resultan ser las tareas, mismas que se relaciona con la creación de evidencias, conformadas por eventos disparados por el entorno o nuevas entidades mentales [26].

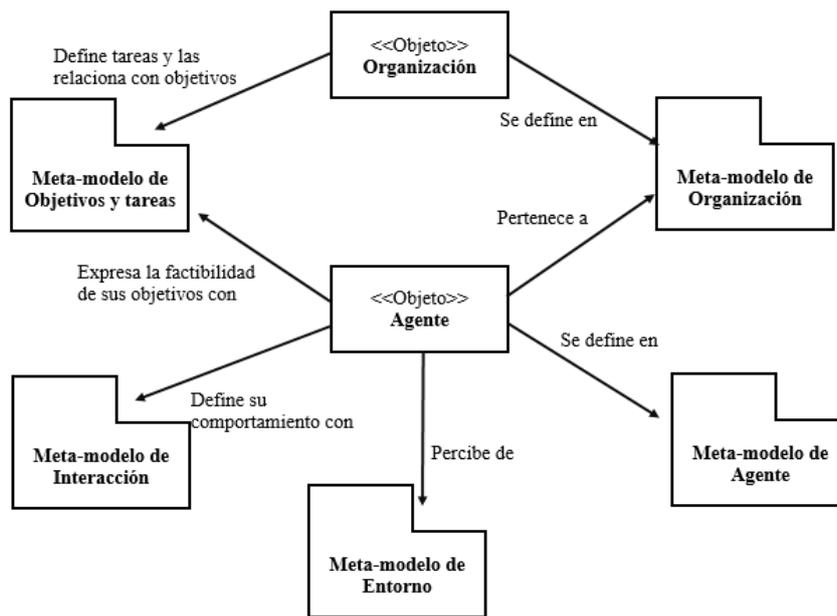


Figura. 2. Relación entre meta-modelos y las entidades (agente y organización).

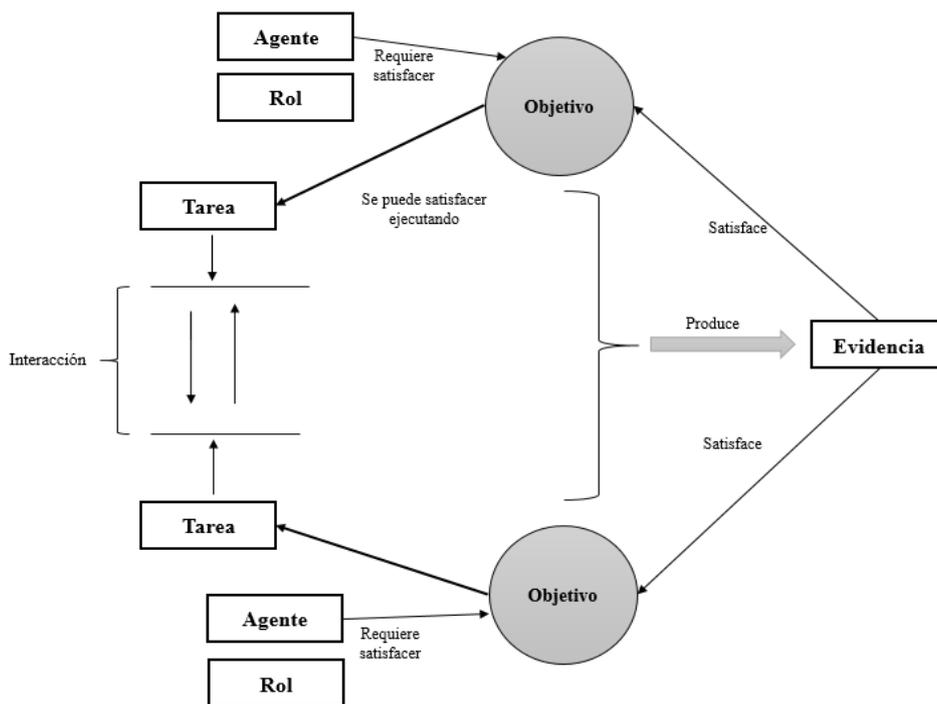


Figura. 3. Elementos del paradigma de control de un agente.

#### 4. Modelado de la arquitectura multi-agente

De acuerdo Changjian y Yao, una arquitectura define los mecanismos que establecen la interconexión entre componentes de software y/o hardware [27]. El concepto de arquitectura tiene como propósito dividir un sistema en módulos, efectuando la descripción de los mismos y especificación de la interrelación que pueda existir entre ellos. La interconexión que pueda existir entre los módulos que conforman al agente es descrita por la arquitectura. A continuación, se mencionan las arquitecturas orientadas a la construcción de sistemas basados en agentes de mayor trascendencia, siendo estas:

- **Arquitectura deliberativa**, posee un modelo simbólico del mundo y lógico del mismo, las decisiones son tomadas con base a ciertos mecanismos de razonamiento lógico; suelen basarse en la teoría clásica de planificación, es decir, un agente debe poseer un mecanismo de planificación para determinar los pasos a realizar para conseguir su objetivo. Para utilizarla es necesario buscar la descripción simbólica apropiada al problema, misma que se debe integrar al agente para que pueda razonar con autonomía [28].
- **Arquitectura reactiva**, su principal característica es no tener un modelo simbólico como elemento central de razonamiento, se enfoca en reaccionar a los eventos que ocurren dentro del entorno bajo un procesamiento ascendente, en virtud de ello mantiene un conjunto de patrones que se activan al cumplirse ciertas condiciones [29]. Una ventaja es la rápida respuesta del agente; por el contrario, resulta complicada al momento de diseñar agentes reactivos.
- **Arquitectura híbrida**, se identifica por el uso de capas organizadas jerárquicamente con información sobre el entorno, en las que se combinan las principales características de las arquitecturas anteriores [30].

Así también, es importante mencionar que una arquitectura establece los elementos que un agente utiliza para actuar, comunicarse y reaccionar a los estímulos, etc. El siguiente apartado proporciona una descripción de los modelos que integran la arquitectura del sistema multi-agente propuesto, considerando los principios de INGENIAS. Cabe señalar que la arquitectura del SMA que se describe en los siguientes apartados corresponde a un centro educativo en particular, no engloba una arquitectura distribuida en red de los campus o sedes que pueda tener una institución de educación superior.

#### 4.1. Modelado de agentes

Los agentes son entes deliberados o intencionales, lo cual significa que persiguen ciertos objetivos. Además, son entidades sociales, interactúan con otros para lograr alcanzar los objetivos de una organización. Por tal motivo, durante el proceso de diseño de un SMA es importante iniciar con la identificación de los principales objetivos de la organización o del sistema; posteriormente descomponer estos en otros más sencillos, y repetir esta acción hasta identificar objetivos más específicos que faciliten la definición de tareas orientadas a cumplir estos últimos.

- **Agente AMonitorET**: La responsabilidad de este agente es supervisar el indicador de eficiencia terminal de las generaciones que se le instruya y poseer la información actualizada cuando se le requiera; para ello, este agente deberá calcular la eficiencia terminal por cohorte generacional con base a las fechas y parámetros de control que proporcione el agente controlador. El agente **AMonitorET** se describe en el diagrama de la Figura 4, el rol principal que desempeña es la supervisión del indicador ET para la identificación de situaciones de riesgo o estados de alerta relacionadas con los porcentajes del indicador para un conjunto determinado de generaciones de estudiantes. El objetivo es monitorear situaciones de riesgo que permitan enviar los estados de alerta. A continuación, se describen las tareas que realiza el agente:
  - **CalcularET**: Esta tarea consiste en calcular el valor de eficiencia terminal de una generación de estudiantes en particular; este procedimiento consiste en la aplicación de una fórmula matemática que requiere como variables: el número de alumnos que concluyen sus estudios en n trimestres y el total de alumnos que ingresaron.
  - **IdentificaRiesgoET**: Realiza la validación e identificación de las generaciones de estudiantes que se encuentra en situación de riesgo al no cumplir con los rangos aceptables establecidos por los directivos de la institución.
  - **EnviarNotificador**: Si este agente detecta que los valores de eficiencia terminal no son los apropiados, se ejecuta la tarea de enviar un mensaje de alerta al agente Mensajero para dar el seguimiento respectivo.
- **Agente AMonitorETT**: Posee características parecidas al agente anterior, este agente tiene la responsabilidad de calcular la eficiencia o índice de titulación (ET) por cohorte generacional, para ello requiere de información de egresados titulados por cohorte, tendrá como tarea principal efectuar el cálculo por generación tomando como base las fechas y parámetros de control que proporcione el agente planificador. El modelo del agente **AMonitorETT** de la Figura 5, se observa que su rol consiste en monitorear el indicador ETT para detectar situaciones de riesgo o estados de alerta relacionadas con los

porcentajes del indicador para un conjunto determinado de generaciones de estudiantes. El objetivo es monitorear situaciones de riesgo para la institución que permitan enviar los estados de alerta. A continuación, se describen las tareas que realiza el agente:

- CalcularETT: Esta tarea consiste en calcular el valor de eficiencia terminal de titulación de una generación de egresados por cohorte; este procedimiento consiste en la aplicación de una fórmula matemática que requiere como variables: el número de egresados titulados y la cifra total de estudiantes que ingresaron en esa cohorte.
- IdentificaRiesgoETT: Realiza la validación e identificación de las generaciones de estudiantes que se encuentra en situación de riesgo al no cumplir con los rangos aceptables establecidos por los directivos de la institución.
- EnviarControlador: Cuando este agente detecta que los valores de eficiencia de titulación no son apropiados, se ejecuta la tarea de enviar un mensaje de alerta al agente Mensajero para dar el seguimiento respectivo.

Cabe destacar la decisión de proponer el uso de dos agentes responsables de monitorear o supervisar de manera particular los indicadores de eficiencia terminal y de titulación, considerando el propósito primordial de este SMA.

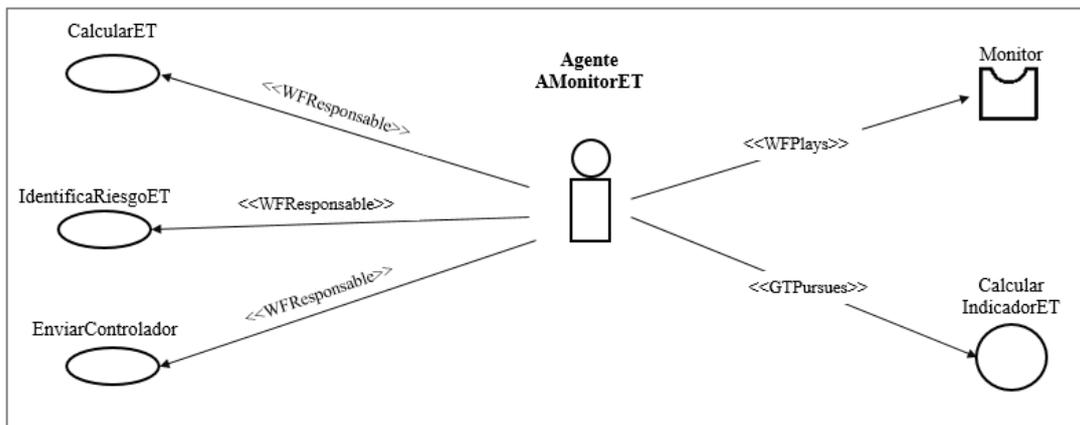


Figura. 4. Modelo de agente AMonitorET.

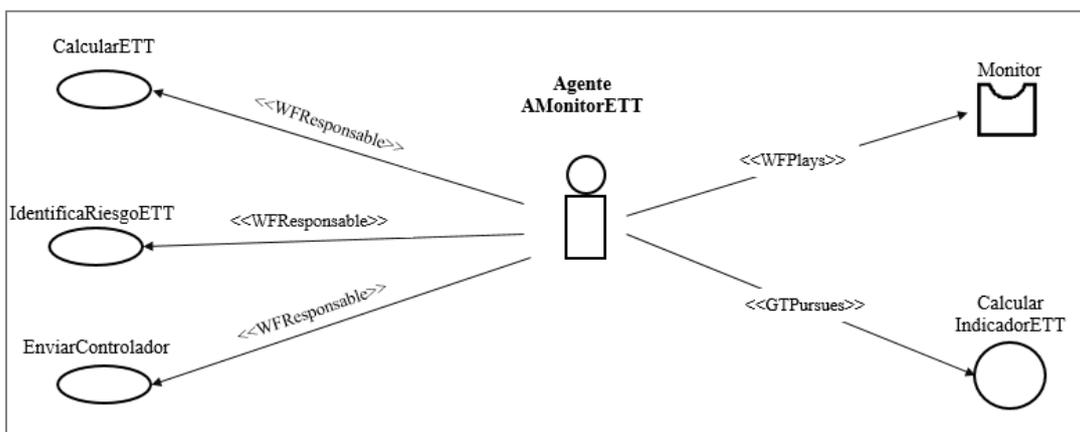


Figura. 5. Modelo de agente AMonitorETT.

- **Agente ARecolectorDatos:** Se encarga de recolectar la información, es decir, realiza las tareas de extraer y limpiar datos para proporcionarlo a los otros agentes que requieren de analizar la información relacionada con la base de datos del sistema de control escolar de la institución educativa; por tal motivo el rol que ocupa es de recolector, la estructura de este agente se visualiza en la Figura 6.
- **Agente ANotificador:** La Figura 7 muestra al agente responsable de notificar por correo electrónico a los coordinadores y directivos, situaciones de riesgo o avisos de alerta derivado de los análisis efectuados

a los indicadores de eficiencia calculados por cohorte generacional, su rol es notificar por tal motivo y su objetivo es emitir notificaciones.

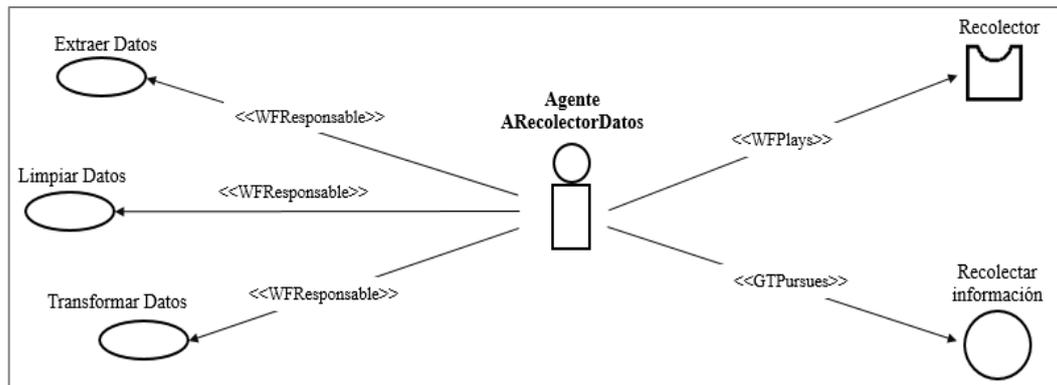


Figura. 6. Modelo de agente ARecolectorDatos.

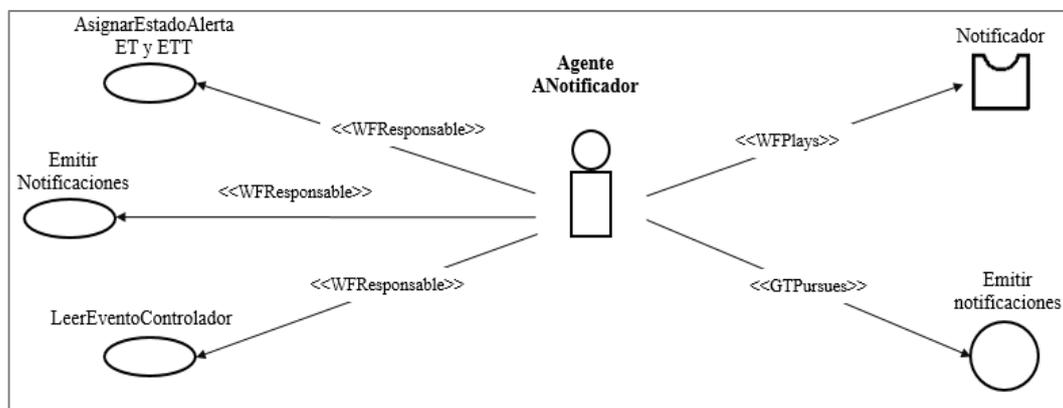


Figura. 7. Modelo de agente ANotificador.

- **Agente APromotor:** Este agente es el responsable de gestionar el envío de correos electrónicos a un conjunto de personas que han sido identificados como egresados no titulados, efectuando de manera autónoma una promoción de las opciones de titulación disponibles, proporcionando información de contacto de los coordinadores de carrera. Es importante señalar que la tarea “EnviarCorreosElectronicos”, requiere del uso de una aplicación externa siendo esta un servidor de correo institucional. Así también, existe otra tarea relevante en el agente APromotor, la cual consiste en leer un evento del agente AControlador, mismo que se encargada de evaluar las situaciones de riesgo detectadas por los agentes Monitores de los indicadores ET y ETT, y posteriormente emite un evento hacia el agente promotor para indicarle que existen egresados no titulados en una generación en particular con un bajo porcentaje de eficiencia, por tal motivo debe ejecutar las tareas necesarias que permitan cumplir con su objetivo promover las opciones de titulación; este agente es representado en la Figura 8.
- **Agente AReporteador:** La Figura 9 representa al agente responsable de generar de manera periódica reportes estadísticos relacionados con los indicadores de eficiencia terminal y titulación. El rol de este agente es generar reportes mediante una ventana gráfica para el usuario final, estos reportes resultan ser insumos para la toma de decisiones. A continuación, se describen las tareas que realiza el agente:
  - DesplegarReporteGráfico: Esta tarea consiste en generar y desplegar un gráfico que permita visualizar el comportamiento de los indicadores de eficiencia terminal y titulación para un determinado periodo de tiempo establecido por el usuario final del sistema.
  - MuestraTablaIndicador: Esta acción permite generar un reporte estadístico del comportamiento de los indicadores de eficiencia terminal y titulación, el formato de reporte toma en consideración los lineamientos que establecen los organismos acreditadores y cuestionarios 911.
  - MuestraReporteNotificaciones: Permite generar un listado de notificaciones enviadas a los

coordinadores de carrera y directivos de la institución, este reporte puede ser personalizado con base a parámetros de rangos de fecha o cargo que ocupa el directivo.

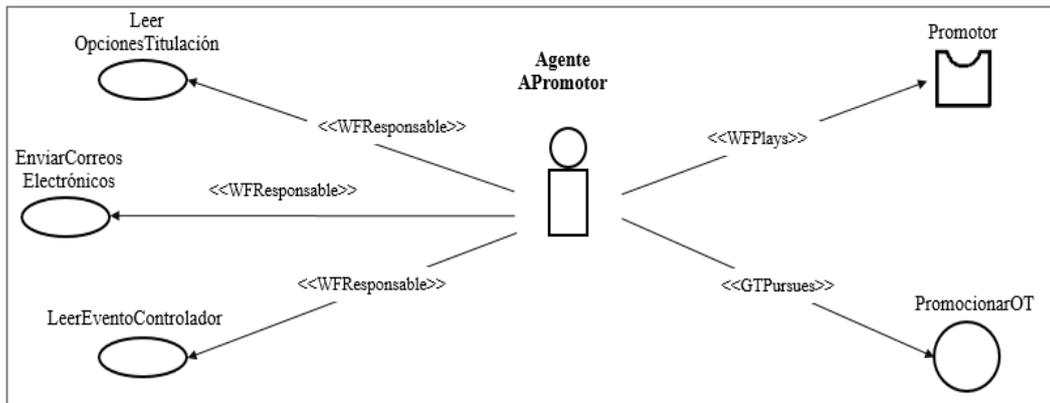


Figura 8. Modelo de agente APromotor.

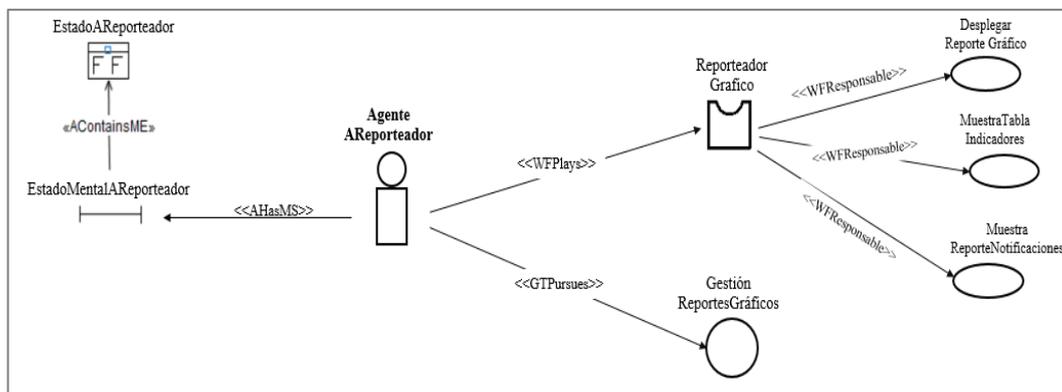


Figura 9. Modelo de agente AReporteador.

#### 4.2. Meta-modelo de organización

Este Meta-modelo describe el marco donde los agentes, tareas, objetivos y recursos conviven; se define por las relaciones estructurales referente a grupos de agentes y jerarquías. La estructura de organización define una descomposición del SMA en grupos y flujos de trabajo y la funcionalidad se encuentra definida por su propósito y tareas. Cabe señalar que cuando existen uno o más objetivos en la organización, dependerá del desempeño de los agentes para realizar las tareas necesarias que permita lograrlos.

Por lo anterior, en el diagrama de la Figura 10 se establecen cuatro grupos de trabajos. El primer grupo denominado Monitoreo lo integran agentes AMonitorET, AMonitorETT y ARecolectorDatos, mismos que se relacionan entre sí para cumplir con las tareas que les compete. Un segundo grupo llamado Controlador está conformado por los agentes AControlador, ANotificador y APromotor, mismos que se encargan de validar los avisos de riesgo, notificar avisos, enviar mensajes de correo electrónico a los egresados no titulados y planificar las tareas de acuerdo a los periodos oficiales de la institución educativa. Existe un tercer grupo denominado Visualizador que lo integra el agente AReporteador, responsable de generar y desplegar los reportes estadísticos referentes a los indicadores de eficiencia con base a los criterios establecidos por los directivos o usuarios finales.

Finalmente, se observa el cuarto grupo denominado Seguridad integrado por el agente AValidador, el cual es responsable de la asignación y verificación de permisos de los usuarios que interactúan con el sistema. Derivado de lo expuesto anteriormente, podemos puntualizar que el meta-modelo de organización define un esquema de ejecución de tareas a diferencia del meta-modelo de agente que muestra particularidades del SMA.

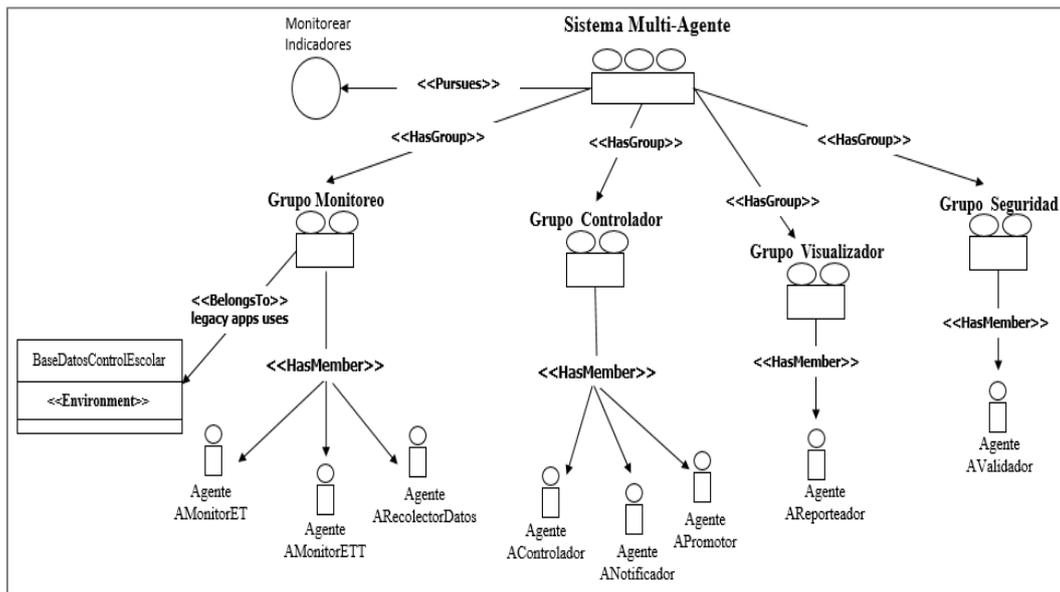


Figura. 10. Diagrama del modelo de organización.

### 4.3 Meta-modelo de objetivos y tareas

Los objetivos del meta-modelo consisten en recolectar motivaciones, delimitar las tareas localizadas en los modelos de agentes, organización o interacciones y describir cómo influyen las tareas a sus propietarios; para lograr esto, considera la descomposición de objetivos y tareas [31]. Una tarea se puede ver como una acción transformadora del estado global e incluir tareas que cumplen un rol importante en la evolución del estado mental de los agentes; para cada tarea, se determina qué elementos se requieren y qué resultados se esperan.

Los diagramas en este meta-modelo se pueden usar para explicar cómo funcionan el procesador y el administrador del estado mental. En INGENIAS, la forma en que una tarea afecta el estado mental de un agente se puede representar dentro de una vista de objetivo/tarea. Por lo tanto, un desarrollador puede definir tareas especiales que expresen qué hacer cuando aparecen nuevos elementos en el estado mental. La Figura 11 presenta un modelo de la tarea denominada “TCalcularETT” del agente “AMonitorETT”.

En la Figura 11, se observa cómo una tarea ejecutada satisface uno de los objetivos de la organización. La tarea “TCalcularETT” es una de las tareas que permiten cumplir el objetivo del agente “AMonitorETT”, para ello, se realiza una lectura de información de la cohorte generacional de estudiantes que se desea calcular, esta lectura corresponde a la tarea “TSeleccionaCohorte”. Los datos son filtrados según lo especificado en los requerimientos detallados de la cohorte que se desea analizar; finalmente los resultados se almacenan en una base de datos.

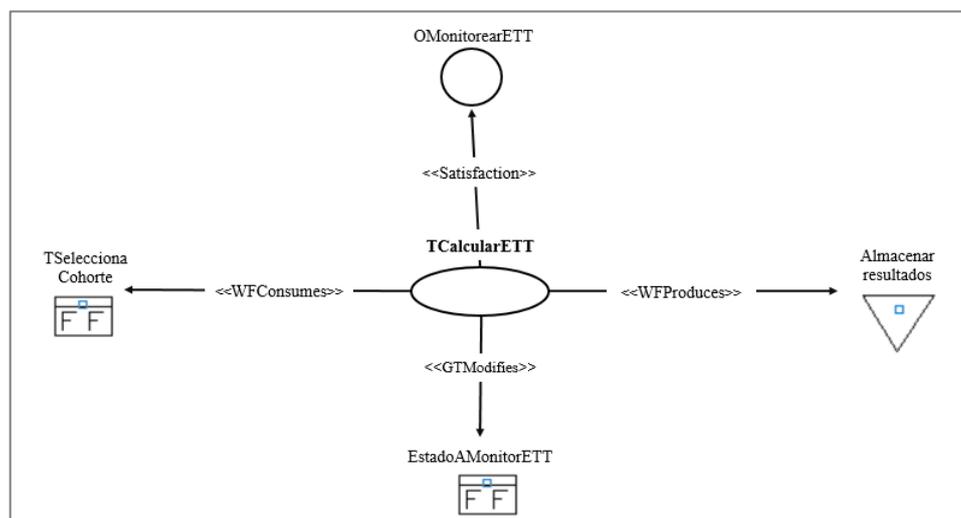


Figura. 11. Diagrama de meta-modelo de objetivos y tareas.

#### 4.4. Meta-modelo de Entorno

La representación visual de este meta-modelo inicia estableciendo los elementos que pueden ser representados en un diagrama, en ese sentido, se consideran tres tipos: agentes, recursos y aplicaciones. El elemento agente se utiliza cuando la entidad cumple con el principio de racionalidad; en lo que respecta al elemento denominado recurso hace referencia a todo objeto del entorno que no provee una funcionalidad, sin embargo, resulta necesario para ejecutar tareas, su propósito se limita a consumir o restituir; finalmente la aplicación es un elemento utilizado en situaciones de mayor complejidad, por ejemplo, la funcionalidad requerida de una base de datos

De acuerdo a lo manifestado por Gómez Sanz, las aplicaciones se distinguen por tener una agrupación de rutinas con una marca convencional. Cabe señalar que las precondiciones y postcondiciones son tomadas desde las especificaciones de la aplicación, cuando estas han sido desarrolladas previamente (software existente) por ejemplo una interfaz para poder interactuar con las mismas. En virtud de lo anterior, es posible aseverar que existen aplicaciones construidas con anterioridad al desarrollo actual (Aplicación\_Entorno) o bien construidas acorde a los propósitos actuales (Aplicación\_Interna). El primer tipo se obtienen de la captura de requisitos, caso contrario al segundo grupo, el cual se construye a través metodologías y técnicas de ingeniería del software.

Para la propuesta que se aborda en este trabajo, el sistema integral de control escolar que poseen la mayoría de las instituciones educativas corresponde a un software existente, es decir, una aplicación previamente desarrollada la cual posee una base de datos con información relacionada a estudiantes y egresados.

En el modelo de entorno de la Figura 12, se muestra claramente la dependencia del uso de una base de datos externa, la cual hacer referencia al sistema de control escolar de la institución. Así también, es necesario considerar el uso de un servidor de correo institucional para que el agente APromotor pueda enviar los avisos a los egresados no titulados derivado de las generaciones que poseen porcentajes negativos o de riesgo.

Las aplicaciones y los recursos pueden ser manejados por grupos, roles o agentes. Cuando un recurso o una aplicación se asignan a un agente, grupo o rol, estos son los responsables de controlar su uso y acceso. Si el SMA que se desea desarrollar convivirá con otro software, se recomienda identificar en primer lugar a la aplicación o software existente. El desarrollador puede considerar las dependencias del software heredado desde un inicio, se suele considerar a elementos como servidores de aplicaciones o bases de datos. En el caso de nuestra propuesta, el SMA coexistirá con dos aplicaciones externas, la primera resulta ser el sistema integral de control escolar que posea el centro educativo y la segunda corresponde un servidor de correo institucional.

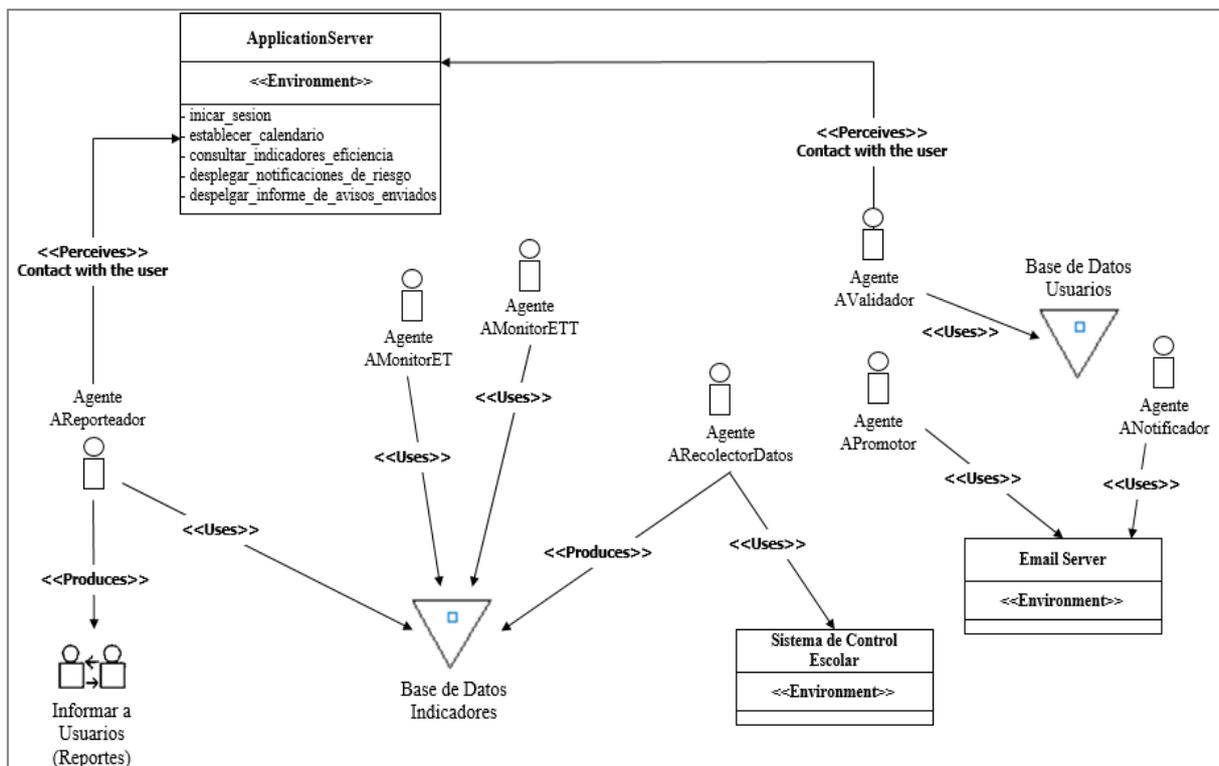


Figura 12. Modelo del entorno.

#### 4.5. Lenguaje de Comunicación de Agentes

En el contexto de los sistemas multi-agente, las interacciones y la organización resultan ser la base de comunicación entre estos entes computacionales (agentes). Según Mario Nieto ante el creciente uso de una nueva tecnología, comúnmente surgen cuestionamientos en relación a su aplicabilidad en un SMA: la interoperabilidad y la apertura, o posibilidad de extensión, razón por la cual se necesita disponer de estándares de desarrollo que consideren los aspectos señalados [32]. En este contexto sobresalen dos lenguajes de comunicación entre agentes: *KQML (Knowledge Query and Manipulation Language)*, y *FIPA ACL (FIPA Agent Communication Language)*; los cuales se basan en la Teoría de los actos del habla, la cual consiste en asignar una intención para cada acto comunicativo, en otro orden de ideas, en cada acto comunicativo es necesario transferir una intención o creencia para inducir determinados efectos relacionados al conocimiento del oyente [33]. Así también, se debe puntualizar que existe un estándar que posee gran aceptación en el contexto de los sistemas multi-agente denominado *FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents)*.

Por otro lado, es importante señalar que los agentes se comunican para conocer su estado mental o intentar modificar el estado mental de otros agentes; y para ello requieren del uso de un Lenguaje de Comunicación de Agentes (ACL), el cual se integra por los siguientes componentes: vocabulario, lenguaje de contenido denominado *KIF (Knowledge Interchange Format)* y el lenguaje de comunicación KQML [34]. Es necesario puntualizar que un mensaje de tipo ACL se integra por un contenido semántico expresado en términos del vocabulario y una directiva de comunicación, conformado por un conjunto de parámetros que facilitan la comunicación entre agentes.

##### 4.5.1. FIPA-ACL

El estándar de comunicación FIPA nace en el año de 1996 en el país de Suiza, siendo una iniciativa orientada al desarrollo de estándares relativos a sistemas de agentes. FIPA destaca por ser un estándar enfocado en la definición del comportamiento externo; en otras palabras, especificar la interfaz del sistema; por tal motivo, la responsabilidad de tomar decisiones relativas al diseño recae en el equipo de desarrollo, tal característica ha sido factor clave para ser considerado el estándar más extendido y utilizado [35].

Derivado del estándar mencionado, surge el lenguaje de comunicación entre agentes conocido como FIPA-ACL, el cual facilita la comunicación entre agentes mediante el intercambio de mensajes que representan actos de habla. Además, este lenguaje proporciona el soporte para el servicio de directorios y transporte de mensajes. El servicio de transporte de mensajes es bastante confiable; los mensajes llegan al destino sin alteraciones. Cada mensaje FIPA-ACL se integra por una serie de atributos o parámetros que pueden variar según sea la situación; el atributo *performative* permanece constante en la mayoría de los mensajes; sin embargo, es común que el mensaje incluya otros atributos tales como *sender*, *content* y *receiver*. En la Figura 13 se observa la estructura de un mensaje FIPA-ACL.

En este trabajo, se propone hacer uso del estándar FIPA considerando que se adapta perfectamente con los *framework* JADE y PADE, mismo que cumple con las especificaciones del estándar facilitando con ello la programación de un sistema multi-agente.

```
(FIPA-ACL-performative
  conversation-id: <valor>; //identificador único de una conversación
  performative: <valor>; //etiqueta de un mensaje
  sender: <valor>; //remitente de un mensaje
  receivers: <valor>; //receptor de un mensaje
  content: <valor>; //contenido de un mensaje
  protocol: <valor>; //protocolo de mensajes FIPA
  language: <valor>; //idioma utilizado en el contenido del mensaje
  encoding: <valor>; //codificación del mensaje
  ontology: <valor>; //ontología del mensaje
  reply-with:
  reply-by
  in-reply-to:
...)
```

**Figura 13.** Estructura de un mensaje FIPA-ACL.

#### 4.6. Ontología

Un concepto relevante que debe ser considerado dentro de la arquitectura del SMA es la Ontología, su utilidad radica en la definición de un conjunto de términos o vocabulario, y la respectiva semántica asociada al mismo vocabulario, ambos son indispensables para lograr la interoperabilidad entre sistemas informáticos en otras palabras, el contenido de cada mensaje posee un significado para ser interpretado por los agentes que participan en el acto de comunicación. En términos informáticos, una ontología se considera una entidad computacional, y es creada con la finalidad de constituir una forma común y compartida de conocimiento. Una ontología proporciona los medios para describir explícitamente la conceptualización detrás del conocimiento representado en una base de conocimiento. [36]. Según Gruber, una ontología debe estar integrada por los siguientes componentes: conceptos, relaciones, funciones, instancias, y axiomas de una determinada área de interés [37].

En diversas ocasiones el desarrollo de sistemas multi-agente requiere de la manipulación de expresiones complejas de contenido, con la finalidad de establecer una comunicación efectiva entre los agentes [38]. En virtud de ello, es necesario definir previamente un vocabulario o conjunto de términos, y la semántica correspondiente; esto se logra mediante la creación e incorporación de una ontología en el SMA [39]. Para concretar esta tarea, existen entornos de desarrollo como JADE que ofrecen la posibilidad de hacer uso de ontologías y lenguajes de contenido.

En el presente trabajo, se propone que las conversaciones entre los agentes que integran el SMA se realicen con base a las recomendaciones que establece el protocolo de comunicación *FIPA Request*. Así mismo, es necesario definir una Ontología, en otras palabras, utilizar un vocabulario común (semántica) con el objetivo que los agentes puedan leer e interpretar correctamente el contenido de cada mensaje. La Figura 14 muestra un diagrama que describe la definición de la ontología propuesta.

La definición de la ontología propuesta toma en cuenta la interacción entre los agentes, por tal motivo, incluye conceptos de mayor relevancia que se abordan en las diferentes metas y tareas especificadas en los meta-modelos correspondientes. De acuerdo a lo manifestado por Jaime Arturo Villaseñor debemos estar conscientes que lograr una semántica común entre los agentes inteligentes que interactúan en un entorno abierto y complejo, se requiere implementar una correcta especificación de ontologías; resultando ser un elemento clave para los SMA [40].

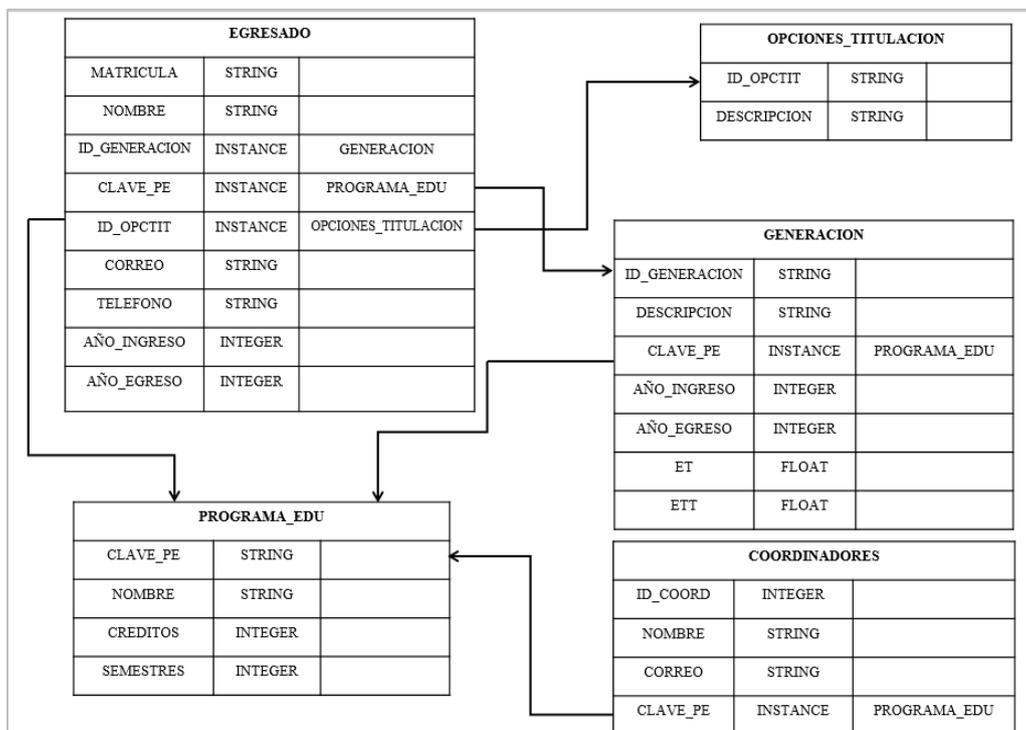


Figura 14. Definición de la ontología.

## 5. Plataformas orientadas a agentes

La tecnología *JADE* (*Java Agent DEvelopment Framework*) es considerado un entorno o plataforma de desarrollo orientado a la construcción de software basado en agentes, creada con el lenguaje de programación Java; tiene como objetivo facilitar la implementación de sistemas multi-agente mediante el uso de un middleware, que cumple con las especificaciones del estándar FIPA. Además, la plataforma *JADE* ofrece una serie de herramientas gráficas que apoyan al desarrollador o programador con tareas enfocadas a la depuración, implementación y ejecución de un SMA.

De acuerdo con Bellifemine, una arquitectura *JADE* se compone por uno o varios contenedores (*Container*) de agentes que comunican y colaboran entre sí. Estos contenedores suelen encontrarse distribuidos en una red de computadoras o en un mismo equipo [41]. Los agentes existen dentro de los contenedores, por tal motivo *JADE* provee el entorno en tiempo de ejecución (*run-time*) y los servicios para almacenar y ejecutar agentes [42]. De acuerdo a la documentación de *JADE*, cada plataforma posee un contenedor principal (*Main-Container*) que tiene como principal característica ser el primero en ejecutarse, y en el que los otros contenedores se registrarán al iniciar su ejecución. Además, este contenedor tiene la responsabilidad de alojar al *AMS* (*Agent Management System*) y *DF* (*Directory Facility*) de acuerdo a la especificación del estándar FIPA. Todos los demás contenedores deben unirse al contenedor principal, efectuando su registro a través de una tabla de contenedores (CT), para formar parte del sistema de manera oficial. Otro componente importante que requiere *JADE*, es el registro de *RMI* (*Remote Method Invocation*), mismo que es ejecutado en el host donde se ubica el contenedor principal.

Un agente *JADE* tiene la característica de ser autónomo, implementado como un hilo de ejecución independiente que posee la capacidad y libertad de decidir por sí mismo cuándo y qué mensajes leer. Este agente puede ejecutar distintas tareas de manera concurrente y atender varias conversaciones simultáneamente con otros agentes. Con base a las especificaciones del estándar FIPA, cada instancia de agente debe ser identificada por un único AID. Este identificador posee la siguiente sintaxis: `<local-name>@<platform-name>`.

Un ejemplo real podría ser: `xat7@Platform1:1099` donde el valor “xat7” corresponde al nombre-local del agente, el cual puede ser establecido por el mismo programador o en la línea de comandos al ser ejecutado. Cabe señalar que en una misma plataforma definida no pueden existir dos o más agentes con el mismo nombre. Por otro lado, el valor “Platform1” representa nombre-identificador que hace referencia a la plataforma origen, en ciertas ocasiones se acompaña de direcciones remotas.

En virtud de ser una tecnología bastante robusta y de código abierto, compatible con el lenguaje de comunicación y el estándar FIPA-ACL, se propone a *JADE* como entorno de desarrollo para la implementación del sistema multi-agente que se describe en este trabajo, para fortalecer el monitoreo de indicadores de eficiencia.

## 6. Discusión y trabajo a futuro

La propuesta del SMA presentado en este artículo, resulta ser funcional para cualquier Institución de Educación Superior (IES) independiente del número de campus o facultades que se posea; el único requisito se relaciona a la existencia de una normatividad vigente orientada los procesos de eficiencia terminal y titulación. Lo anterior permitirá tener certeza en el funcionamiento de los agentes, cumpliendo con las tareas y objetivos que se establezcan apegados a la normatividad de la institución.

Así también, existe la posibilidad de monitorear otros indicadores de calidad educativa o cálculos estadísticos que requieren de una supervisión constante; es una de las ventajas que ofrece la arquitectura multi-agente; los agentes persiguen ciertos objetivos, en ese sentido, se tendrían que crear e implementar nuevos agentes o añadir nuevas tareas u objetivos a los agentes considerandos en la presente propuesta. Según Blanca Carballo, los indicadores son considerados como herramientas de medida que permite comprender el funcionamiento de la calidad de un sistema, efectuar comparaciones e identificar áreas de oportunidad; para ello, es necesario monitorear los indicadores y tener información respaldada para proporcionar como evidencia confiable que coadyuve a la toma de decisiones [43]; en virtud de ello, se recomienda que exista una normativa de los indicadores que se desean monitorear.

Una de las ventajas que ofrece la arquitectura multi-agente; los agentes persiguen ciertos objetivos, en ese sentido, se tendrían que crear e implementar nuevos agentes o bien añadir nuevas tareas u objetivos a los agentes que se observan en la propuesta del SMA.

Derivado de la propuesta presentada y reflexionando hacia un trabajo a futuro, podemos manifestar que una de las potencialidades de una solución basada en SMA facilitaría la generación de simulaciones basados en el

análisis de comportamientos de acuerdo a los datos que derivan del monitoreo de indicadores, quizás llegar a un nivel de emitir una alerta respecto a una generación desde los primeros semestres o llegar al punto de realizar predicciones ajustando valores de entrada a los agentes; la relevancia del modelo propuesto en este trabajo radica en la posibilidad de analizar de manera individual el comportamiento de cada agente, y con ello efectuar una replanificación local con cambios mínimos o ajustes muy particulares.

## 7. Conclusiones

Derivado del trabajo presentado en este artículo, consideramos que este tipo de soluciones basadas en la incorporación de un Sistema Multi-agente (SMA), permite extender la aplicación del conocimiento del área de la inteligencia artificial hacia otros entornos de trabajo que requieren de la automatización de tareas, considerando acciones de monitoreo, análisis, cálculos y generación de reportes; en otras palabras, en la presente propuesta se describen los pasos para modelar un sistema autónomo basado en agentes capaz de lograr ciertos objetivos, sin necesidad de tener una interacción constante con un usuario final. Cabe señalar que el SMA propuesto no reemplaza a una persona en relación al cargo o puesto que ocupa, por el contrario, complementa y agiliza actividades académico-administrativas al desempeñar tareas concretas.

Otra contribución que deriva de este trabajo es la implementación de una metodología de software especializada orientada a sistemas multi-agentes denominada INGENIAS, la cual ofrece una curva de aprendizaje corta y sencilla; esta metodología entiende al sistema multi-agente como la descripción informática de un grupo de modelos, mismos que ofrecen una visión detallada y parcial del SMA permitiendo modelar una solución basada en el uso de agente en un periodo corto de tiempo al utilizar de manera correcta los meta-modelos. Es importante señalar que durante el desarrollo del modelado del SMA fueron considerados la serie de pasos lógicos que establece la metodología INGENIAS, y en todo momento la simbología oficial fue respetada para diseñar los diagramas.

Así también, manifestamos que en la actualidad existen las plataformas de desarrollo adecuadas para transformar esta propuesta en una implementación real dentro de un centro educativo; puntualizando que los *frameworks* como JADE, PADE, JACK o ZEUS no requieren de altos requerimientos tecnológicos o de una fuerte inversión económica. Además, la mayoría de las instituciones educativas poseen un sistema integral de control escolar, por todo lo anterior, consideramos que implementar la propuesta resultar ser factible y viable.

Como trabajo futuro pretendemos fortalecer el modelo propuesto bajo un esquema de comunicación distribuida en red, con finalidad poder realizar un monitoreo de indicadores de eficiencia terminal a nivel global, es decir, que contemple a todas las unidades académicas que integran a una Institución de Educación Superior, las cuales regularmente se encuentran organizadas por Campus o Sedes. Esta segunda etapa permitirá tener un *dashboard* de indicadores en tiempo real, facilitando a los altos directivos la generación estrategias institucionales que coadyuven a incrementar los porcentajes de eficiencia terminal y titulación, en busca de mejorar su desempeño como institución de calidad en pro del sistema educativo nacional.

## 9. Referencias

- [1] López Suárez, A., Rodríguez, A., Ramírez Revueltas, L. (2008). Eficiencia terminal en la educación superior, la necesidad de un nuevo paradigma. *Revista de la educación superior*, 37 (146), 135-151. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-27602008000200009](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-27602008000200009)
- [2] UNESCO (2007). *Thesaurus, United Nations Education, Science and Culture Organization*. <http://databases.unesco.org/thesaurus>
- [3] SEP. (2005). *Lineamientos para la formulación de indicadores educativos*. [http://www.seg.guanajuato.gob.mx/Ceducativa/SIIE/Normativa/Lineamientos\\_para\\_la\\_formulacion\\_de\\_indicadores\\_educativos.pdf](http://www.seg.guanajuato.gob.mx/Ceducativa/SIIE/Normativa/Lineamientos_para_la_formulacion_de_indicadores_educativos.pdf)
- [4] Greenberg, S., Mercer, S. (2001). *A multi-agent architecture for knowledge sharing*. Sixteenth European Meeting on Cybernetic and Systems Research, Viena.
- [5] Wooldridge, M. (2009). *An Introduction to MultiAgent Systems* (2nd Ed.). Wiley Publishing.
- [6] Toscano de la Torre, B. A., Ponce Gallegos, J. C., Gómez Meza, J. I., Olivares Granados, S. A. (2015). Análisis de la Eficiencia Terminal en un Programa Educativo de Tecnologías de Información. Caso: Universidad Autónoma de Nayarit. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 2 (3), 1-27. <https://www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/view/535>

- [7] Comisión Nacional para la Mejora Continua de la Educación. (2020). *Indicadores nacionales de la mejora continua de la educación en México 2020. Anexo técnico*.  
<https://www.mejoredu.gob.mx/images/publicaciones/indicadores-nacionales-anexo.pdf>
- [8] Consejo para la Acreditación de la Educación Superior. (2016). *Marco General de Referencia para los Procesos de Acreditación de Programas Académicos de Tipo Superior*.  
[https://www.copaes.org/documentos/Marco\\_de\\_Referencia\\_V\\_3.0\\_0.pdf](https://www.copaes.org/documentos/Marco_de_Referencia_V_3.0_0.pdf)
- [9] Pérez-Reveles, M. (2016). Impacto de la eficiencia terminal de la educación superior en México en la economía educativa. *Revista Eseconomía*, 11 (45), 133-156.
- [10] Toscano, B. (2015). La eficiencia terminal como un indicador de la calidad en la educación superior en México. En R. Enciso (Ed.), *La universidad y sus estrategias de vinculación* (pp. 6-11). Universidad Tecnocientífica del Pacífico.
- [11] López Suárez, A., Albiter Rodríguez, Á., Ramírez Revueltas, L. (2008). Eficiencia Terminal en la Educación Superior, La necesidad de un nuevo Paradigma. *Revista de la Educación Superior*, 2 (146), 135-151. [http://publicaciones.anuies.mx/pdfs/revista/Revista146\\_S5A1ES.pdf](http://publicaciones.anuies.mx/pdfs/revista/Revista146_S5A1ES.pdf)
- [12] Domínguez Pérez, D., Sandoval Caraveo, M. C., Cruz Cruz, F., Pulido Téllez, A. R. (2016). Problemas Relacionados con la Eficiencia terminal desde la Perspectiva de Estudiantes Universitarios. *REICE. Revista Iberoamericana Sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 12 (1), 25-34.  
<https://revistas.uam.es/reice/article/view/2862>
- [13] Martínez Rizo, F. (2001). *Estudio de la eficiencia en cohortes aparentes*.  
<https://www.coepesguajuato.mx/press/Documentos/5parte/5.4/estudio.PDF>
- [14] CACEI. (2020). *Marco de Referencia 2018 para la acreditación de programas de Ingeniería*.  
[http://cacei.org.mx/docs/marco\\_ing\\_2018.pdf](http://cacei.org.mx/docs/marco_ing_2018.pdf)
- [15] Russell, S., Norvig, P. (2009). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (3rd Ed). Prentice Hall Press.
- [16] Shehory, O., Sturm, A. (2014). *Agent-Oriented Software Engineering: Reflections on Architectures, Methodologies, Languages, and Frameworks*. Springer.
- [17] Kravari, K., Bassiliades, N. (2015). A Survey of Agent Platforms. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18 (1), 1-18. <https://doi.org/10.18564/jasss.2661>
- [18] Wooldridge, M., Jennings, N. (1995). Intelligent Agents: Theory and Practice. *The Knowledge Engineering Review*, 10 (2), 115-152. <http://www.cs.ox.ac.uk/people/michael.wooldridge/pubs/ker95.pdf>
- [19] Leitão, P., Karnouskos, S. (2015). *Industrial agents: Emerging applications of software agents in industry*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-15269-5>
- [20] Pavón, J., Gómez-Sanz, J., Fuentes, R. (2005). The INGENIAS Methodology and Tools. En B. Henderson-Sellers, P. Giorgini (Ed.), *Agent-Oriented Methodologies* (pp. 236-276). IGI Global.  
<https://doi.org/10.4018/978-1-59140-581-8.ch009>
- [21] Gómez-Sanz, J., Fuentes, R., Pavón, J., García-Magariño, I. (2008). *INGENIAS development kit: a visual multi-agent system development environment*. 7th Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems, Berlin. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1402744.1402760>
- [22] Gascuena, J., Navarro, E., Fernández-Sotos, P., Fernández Caballero, A., Pavón, J. (2014). IDK and ICARO to develop multi-agent systems in support of Ambient Intelligence. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, (28) 1, 3-15. <https://doi.org/10.3233/IFS-141200>
- [23] Gómez-Sanz, J. J., Fuentes, R., Pavón, J., García Magariño, I. (2008). INGENIAS Development Kit: a visual Multi-Agent System development environment. 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS), Estoril, Portugal. <https://dblp.org/rec/conf/atal/Gomez-SanzFPG08.html>
- [24] Peñarando-Guevara, L. A., Reyes-Vera, J. M., Machuca-Villegas, L. E. (2013). Modelo de un sistema multiagente para proveer ayudas adaptativas en ambientes virtuales de aprendizaje. *Respuestas*, 18 (2), 102–111. <https://doi.org/10.22463/0122820X.431>
- [25] Arroyo, M., Menéndez, H., Pavón, J. (2006). Simulación de sistemas sociales con agentes software. En A. Fernández-Caballero, M. F. Manzano Arjona, E. Alonso González, S. M. Tomé (Eds.) *Una perspectiva de la inteligencia artificial en su 50 aniversario* (pp. 389-400). Universidad de Castilla-La Mancha.  
<https://www.dsi.uclm.es/personal/AntonioFdez/download/papers/conference/cmpi2006-volumeI.pdf>

- [26]Ferber, J., Gutknecht, O. (1998). *A Meta-Model for the Analysis and Design of Organizations in Multi-Agent Systems*. Third International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS).  
<https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/551984.852257>
- [27]Changjian, D., Yao, L. (2008). *Architecture of knowledge retrieval based on multi-agent systems*. IEEE International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling Workshop, Wuhan, China.  
<https://doi.org/10.1109/KAMW.2008.4810681>
- [28]Corchado, J. M., Molina, J. M. (2002). *Introducción a la teoría de agentes y sistemas multiagente*. Edite Publicaciones Científicas.
- [29]Brooks, R. A. (1991). *Intelligence without reason*. <https://people.csail.mit.edu/brooks/papers/AIM-1293.pdf>
- [30]Callejas Cuervo, M., Parada Prieto, L. M., & Alarcón Aldana, A. C. (2012). Modelado e implementación de un sistema multiagente para el diagnóstico de enfermedades de transmisión sexual. *Entramado*, 8 (1), 190-208.
- [31]Fodor, J., Marichal, J., Roubens, M. (1995). Characterization of the ordered weighted averaging operators. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 3 (2), 236–240. <https://doi.org/10.1109/91.388176>
- [32]Nieto Pérez, M. (2020). *Modelado de un sistema multiagente para coordinación de dispositivos IoT* [Tesis de Grado]. Universidad de Alicante. <http://hdl.handle.net/10045/109321>
- [33]Casado Corral, C. (2015). *Buscador de Información de Restaurantes mediante un Sistema Multiagente* [Proyecto de Fin de Carrera]. Universidad Carlos III de Madrid. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/25823>
- [34]Palomares Carrascosa, I. (2010). *Desarrollo de un Sistema Multi-Agente para automatizar Procesos de Consenso en Problemas de Toma de Decisión en Grupo* [Trabajo de Investigación]. Universidad de Jaén. [https://sinbad2.ujaen.es/sites/default/files/publications/TTII\\_IvanPalomares.pdf](https://sinbad2.ujaen.es/sites/default/files/publications/TTII_IvanPalomares.pdf)
- [35]FIPA. (2005). *FIPA specifications*. <http://www.fipa.org/specifications/index.html>
- [36]Gómez-Pérez, A. (1999). *Ontological Engineering: A state of the Art*. Expert Update: Knowledge Based Systems and Applied Artificial Intelligence, 2(3), pp.33-43. <https://oa.upm.es/6493/>.
- [37]Gruber, T. R. (1993). A Translation approach to portable ontologies. *Knowledge Acquisition*, 5 (2), 199-220. <https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008>
- [38]Kacprzyk, J., Zadrozny, S. (2010). Soft computing and web intelligence for supporting consensus reaching. *Soft Computing*, 14, 833–846. <https://doi.org/10.1007/s00500-009-0475-4>
- [39]Staab, S., Studer, R. (2009). *Handbook on Ontologies*. Springer.  
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-92673-3>
- [40]Villaseñor-Marcial, J. A., Rodelo-Moreno, J. A., German, E. (2013). Herramienta para la especificación del espacio de interacción de agentes de la plataforma CAPNET. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información (RITI)*, 1 (1), 1-6. <https://www.riti.es/ojs2018/inicio/index.php/riti/article/view/106/0>
- [41]Bellifemine, F., Greenwood D. (2007). *Developing Multi-Agent Systems with JADE*. John Wiley.
- [42]Gómez Sanz, J. J. (2002). *Modelado de sistemas multi-agente* [Tesis Doctoral]. Universidad Complutense de Madrid. <http://grasia.fdi.ucm.es/jorge/tesis.pdf>
- [43]Carballo Mendivil, B., Rodríguez Hernández, E. M. (2019). Information system supporting the measurement of school history indicators in higher education. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información (RITI)*, 7 (14), 58-75. <https://doi.org/10.36825/RITI.07.14.006>