

# MiR-EO: Middleware Reflexivo para la Emergencia Ontológica en Ambientes Inteligentes

## MiR-EO: Reflective Middleware for Ontological Emergency in Intelligent Environments

Mendonça Maribel, Aguilar Jose, Perozo Niriaska

**Resumen**— En un Ambiente Inteligente (AmI), los dispositivos que participan deben intercambiar conocimiento permanentemente, para lo cual deben entenderse y manejar un lenguaje común, para el logro de la interoperabilidad semántica. Las ontologías en un AmI constituyen una herramienta ideal para ello, posibilitando la comunicación entre los objetos inteligentes que forman parte del ambiente. Estas ontologías deben ser distribuidas, heterogéneas y dinámicas ya que deben adaptarse a los cambios, necesidades y servicios del AmI. Este artículo propone la implementación de un middleware que permite la emergencia ontológica, con el fin de gestionar todo el conocimiento que se puede generar en un AmI. El middleware, llamado MiR-EO, se implementa como un middleware reflexivo, que maneja su propio marco ontológico, conformado por meta-ontologías que modelan los elementos que deben contener las ontologías de un AmI, y posibilitan el proceso de emergencia ontológica.

**Palabras Claves**— Emergencia ontológica, middleware reflexivo, ambientes inteligentes.

**Abstract**— In a Smart Environment (AmI), the devices that participate must exchange knowledge permanently, for which they must understand and manage a common language. The ontologies in an AmI are an ideal tool for this, making possible the communication between the intelligent objects that are part of the environment. These ontologies must be distributed, heterogeneous and dynamic, since they must adapt to the changes, needs and services of the AmI. This article proposes the implementation of a middleware that allows the ontological emergence, to manage all the knowledge that can be generated in an AmI. This middleware,

called MiR-EO, is implemented as a reflective middleware, which manages its own ontological framework, made up of meta-ontologies that model the elements that must contain the ontologies of an AmI, and enables the ontological emergence process.

**Index Terms**— Ontological emergence, reflective middleware, smart environments.

### I. INTRODUCCION

n conjunto de dispositivos inteligentes o no, que interactúan entre sí, con el objetivo de ofrecer al usuario servicios en apoyo a la realización de sus actividades, constituyen la esencia de un AmI. Estos dispositivos ubicados en el AmI, intercambian datos, información y conocimiento, permanentemente. Para ello, es necesario que puedan tener la capacidad de entenderse, de conocer su contexto, manejar un lenguaje común, entre otras cosas, lo que implica lograr la interoperabilidad semántica [3], [4]. Las ontologías en un AmI constituyen una herramienta ideal para ello, posibilitando la comunicación entre los objetos inteligentes que forman parte del AmI, y la conceptualización del mismo.

Un AmI se puede ver como un entorno donde los diferentes dispositivos que lo componen, y que brindan servicios, usan múltiples fuentes de información, las cuales eventualmente, están en diferentes formatos. La gran cantidad de servicios y dispositivos que se pueden manejar en un momento dado en los AmI, puede generar un gran aumento en el volumen y en la diversidad de los datos, por lo tanto, se necesitan nuevas estrategias que permitan enfrentar de forma eficiente, esta heterogeneidad y dinamismo.

M. Mendonca is with Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Lara, Venezuela (e-mail: [mmendonca@ucla.edu.ve](mailto:mmendonca@ucla.edu.ve))

N. Perozo is with Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Lara, Venezuela (e-mail: [nperozo@ucla.edu.ve](mailto:nperozo@ucla.edu.ve))

Dr Aguilar has been partially supported by the Prometeo Project of the Ministry of Higher Education, Science, Technology and Innovation of the Republic of Ecuador.

J.L. Aguilar is with CEMISID, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Additionally, it is Premeteo Researcher at the Escuela Politécnica Nacional, Quito, and the Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador (e-mail: [aguilar@ula.ve](mailto:aguilar@ula.ve))

Las ontologías que participan en un AmI pueden estar distribuidas (varios servidores) y ser heterogéneas (diversas estructuras de datos, lenguajes y tipos de datos), pero además, deben ser dinámicas, es decir, deben adaptarse a los cambios, necesidades y servicios del AmI.

En los trabajos previos desarrollados [23], [27], hemos podido constatar que los algoritmos tradicionales de minería ontológica por sí solos, no pueden hacer frente a estas necesidades. Para ello se propone, la implementación de un proceso de emergencia ontológica, a través de un middleware reflexivo. El objetivo de la emergencia ontológica, en este caso, es gestionar toda la información y conocimiento que se puede generar o aparecer en un AmI, creando nuevos modelos de conocimiento, que permitan gestionar eficientemente las necesidades del ambiente. Estos nuevos modelos emergentes son usados por los servicios del AmI, para ser más eficientes en el apoyo de las actividades de los usuarios en el ambiente. En particular, lo anterior permite dar respuesta a los requerimientos emergentes en un AmI.

A través de procesos de monitoreo, análisis y enriquecimiento semántico de las diferentes ontologías que se pueden manejar en un AmI, es posible generar modelos de conocimiento emergentes, acordes a su dinámica, y así manejar la escalabilidad presente en un AmI, como también, las necesidades de interoperabilidad semántica.

En este artículo se presenta una arquitectura para el manejo de servicios ontológicos para AmI, que funciona como un KaaS (“Knowledge as a Service”, por sus siglas en Inglés) [20], donde el conocimiento que se genera en este caso son ontologías. A diferencia de los OaaS (“Ontology as a Service”, por sus siglas en Inglés) propuestos en [17][18][19], nuestra arquitectura, además de integrar, extender o refinar ontologías, es capaz de generar (hacer emerger) ontologías con nuevos conceptos, provenientes del análisis de las necesidades en el AmI y de la información de contexto. La Arquitectura se basa en un marco ontológico compuesto por meta-ontologías, que encaminan el proceso de generación de ontologías (emergencia ontológica), usando conceptos generales y reglas que se deben cumplir, para facilitar la agregación de conceptos provenientes de otras ontologías, de datos capturados del AmI, entre otras cosas.

De esta manera, el objetivo de esta arquitectura es posibilitar procesos de emergencia ontológica, basados en la posibilidad de detectar, almacenar y organizar los modelos ontológicos usados por los múltiples dispositivos del AmI, procesarlos, y generar nuevos modelos ontológicos que se adapten a las necesidades del AmI. Algunas de las utilidades de la arquitectura propuesta son:

- Ofrecer servicios para la auto-gestión de las ontologías del AmI.
- Gestionar de forma inteligente la semántica del AmI, a través de servicios de minería ontológica.
- Modelar los nuevos objetos y comportamientos en el AmI.
- Mantener la consistencia y evolución semántica que el AmI requiera.

En particular, gestionar las necesidades semánticas y las necesidades de nuevas ontologías en un AmI, es una de las tareas fundamentales del middleware. Por ejemplo, el modelado del contexto basado en ontologías es ampliamente usado en la

computación pervasiva para obtener el conocimiento del entorno, y en un AmI constituye un poderoso enfoque para lograr razonamiento sobre el contexto [5]. Las ontologías de contexto son por naturaleza dinámicas, y pueden ser generadas por el middleware en base al análisis del comportamiento del AmI.

La arquitectura propuesta del MiR-EO (Middleware Reflexivo para la Emergencia Ontológica) se implementa como un middleware reflexivo, el cual analiza los requerimientos ontológicos en un AmI, y activa los servicios específicos necesarios para que el AmI pueda obrar coherentemente. A través del monitoreo y análisis de lo que ocurre en el AmI, MiR-EO provee servicios ontológicos que realizan los ajustes necesarios del marco ontológico del AmI. Para ello, el middleware maneja un propio marco ontológico interno, conformado por un grupo de meta-ontologías que modelan de forma genérica los elementos (conceptos) que deben contener las ontologías del AmI. Inicialmente, estas meta-ontologías son: la meta-ontología de componentes, la meta-ontología de contexto y la meta-ontología del dominio. Las meta-ontologías de dominio juegan un papel fundamental para la actualización automática de las ontologías de dominio del AmI (en [14] se propone un servicio para esto).

En este artículo se presentan los detalles arquitectónicos, y los componentes, del middleware propuesto. Específicamente, el artículo se estructura de la siguiente manera: la sección II presenta los trabajos relacionados, la sección III las bases teóricas, la sección IV detalla la arquitectura propuesta, la sección V presenta los casos de estudio, y finalmente, la sección VI presenta las conclusiones.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

El manejo de la semántica en un AmI es determinante para el entendimiento del contexto, y para lograr la interoperabilidad semántica entre sus componentes. A continuación, se presentan algunos trabajos donde se considera el diseño de arquitecturas para el manejo semántico en un AmI:

En [6] se propone un middleware para la creación de un entorno inteligente colaborativo en el área de transporte, que se centra básicamente en el manejo inteligente de la información, a través de la ontología del dominio. Ellos proponen un servicio semántico para el descubrimiento dinámico de la información. Además, interopera con servicios implementados en los dispositivos, embebidos en los sistemas de transporte inteligente, para evitar la información redundante y excesiva entre dispositivos, y el ahorro de tiempo. Entre los servicios con los que interactúan el servicio semántico están: vigilancia de tráfico, gestión de semáforos, aviso en paneles, etc. El servicio semántico permite almacenar referencias a objetos y servicios, haciéndolas accesibles de manera semántica, a los dispositivos y aplicaciones del sistema que lo requieran, organizándolas en base a categorías y sub-categorías.

En cuanto a arquitecturas conscientes del contexto para AmI, en [5] se hace referencia a un middleware con capacidad de auto-gestión, apoyado en ontologías de contexto, basadas en tecnologías de la web semántica: OWL (Ontology Web Language, por sus siglas en inglés) y SWRL (Semantic Web Rule Language, por sus siglas en Inglés). Para soportar la auto-gestión, proponen un conjunto de ontologías, estructuradas en

forma de estrella, donde la ontología central es la “Ontología de Dispositivos”, que comparte conceptos con la “Ontología de Hardware”, “Ontología de Fallas”, “Ontología de Calidad” y “Ontología de Servicios”, entre otras. La “Ontología de Dispositivos” es la que posee los conceptos generales para la clasificación de los dispositivos del AmI. Cuando hay cambios de estado o llamada a servicios, la información dinámica se introduce en la ontología de contexto auto-gestionada, la cual dispara la ejecución de reglas de auto-gestión como: comprobación de los servicios requeridos por un componente, comprobación de la plataforma de un componente, limitar el número de componentes de un tipo específico de acuerdo a una configuración, entre otras, todo esto, para permitir la adaptación, monitoreo, diagnóstico, y otras tareas propias de la auto-gestión del sistema.

Otra propuesta es [7], donde se propone un middleware para AmI capaz de razonar sobre diversos contextos, modelado en base a ontologías, para lograr una representación semántica del contexto, y así realizar razonamiento en base a ella. Ellos definen en un nivel superior una ontología común, para manejar la información general del contexto, es decir, información sobre: personas, localización, componentes computacionales y actividades. Los detalles de un contexto, se manejan en un conjunto de ontologías en un nivel inferior, para los diferentes dominios, como por ejemplo, el hogar, el vehículo, la oficina, entre otros, las cuales se adaptan o incorporan, dependiendo del ambiente que corresponda.

Una arquitectura orientada a servicio de varias capas para hogares inteligentes, se muestra en [8], donde se modela el contexto en base a: habitantes, localizaciones de los objetos, habitaciones, sensores y actuadores. Además, se monitorea continuamente el ambiente, realizando inferencias sobre el contexto en base a reglas SWRL, para ofrecer los servicios y adaptaciones requeridas por los usuarios. Las reglas son las que determinan qué acciones llevarán a cabo los actuadores del ambiente, y en qué momento, de acuerdo a ciertas condiciones que deben cumplirse, lo que define las capacidades adaptativas al ambiente.

En [9] se presenta una estructura ontológica para AmI, que consiste en tener por un lado los conceptos y sus definiciones, que representan el conocimiento sobre un dominio que no está sujeto a cambios, y por otro lado, las sentencias construidas usando esos conceptos, que representan conocimiento de un problema en específico. Esto permite que la estructura pueda adaptarse al ambiente, y que los agentes en vez de definir en tiempo de diseño como se comunicarán y con qué agentes, sólo especifiquen sus necesidades de información. Posteriormente, aplicando razonamiento ontológico en tiempo de ejecución, pueden inspeccionar la estructura de sus propias ontologías, y de ser necesaria, la de otros agentes, a través de mapeos, para comunicarse.

En cuanto a la aplicación del paradigma de “conocimiento como servicios”, en [16] se presenta una propuesta de una arquitectura KaaS para el manejo de datos relacionados a desastres naturales, con el objetivo de ofrecer información eficiente para enfrentar estas situaciones. En la realidad existen una gran cantidad de datos relacionados a desastres disponibles, sobre planes, registros de incidentes, simulaciones y estadísticas. Sin embargo, las soluciones actuales ofrecen muy poca capacidad de integración. El objetivo de aplicar KaaS en

este caso, es almacenar la gran cantidad de datos de diversas fuentes, facilitar la generación de conocimiento, y permitir la interoperabilidad. Con respecto a modelos donde se ofrecen ontologías como servicios, se tienen los trabajos [17][18][19] donde se introduce la noción de OaaS (“Ontology as a Service”, por sus siglas en inglés). Allí proponen un proceso de adaptación ontológica, como un servicio en la nube. En particular, se proponen servicios de extracción, reemplazo y fusión de ontologías, mediante los cuales múltiples sub-ontologías se extraen desde diferentes ontologías de origen, y luego estas sub-ontologías se fusionan y se extienden, para formar una ontología completa.

En los trabajos revisados se proponen arquitecturas, donde se puede observar el uso de ontologías para la definición conceptual de AmI y para el manejo del contexto. Sin embargo, no se encontraron propuestas que permitan la auto-gestión y adaptación del marco ontológico de AmI, donde las ontologías se puedan actualizar y evolucionar, o puedan emerger, de acuerdo a los cambios del AmI, lo que representa el aporte principal de nuestra propuesta. En [15] se presentó una propuesta inicial de una arquitectura para dar servicios semánticos en AmI basado en 3 ontologías: una Ontología de Componentes, una Ontología de Contexto y una Ontología del Dominio. La arquitectura fue diseñada para ofrecer un conjunto de servicios semánticos, que puedan dar soporte a los procesos que requieren producir y obtener información con contenido y caracterización semántica significativa en el ambiente inteligente.

### III. BASES TEÓRICAS

#### A. *Ambientes Inteligentes*

Un Ambiente Inteligente (AmI) se define como “aquel que utiliza tecnología computacional para controlar en forma automática su funcionamiento, de manera tal de optimizar el confort del usuario, el consumo de recursos, la seguridad y la eficiencia del trabajo”. Se puede decir que son ubicuos o pervasivos, ya que los elementos tecnológicos se insertan en los objetos de uso común, haciendo que la interacción usuario-sistema sea natural y desinhibida [2]. El objetivo de las infraestructuras de computación de un AmI es proporcionar servicios inteligentes a los usuarios, de una manera adaptativa, adecuada a sus necesidades [1]. Para ello, es necesario que los dispositivos sean capaces de entender su contexto, y por su naturaleza heterogénea, necesitan también manejar un lenguaje común, para el logro de la interoperabilidad semántica con los demás componentes del AmI [3] [4].

#### B. *KaaS y OaaS*

El paradigma KaaS (Knowledge as a Service, por sus siglas en Inglés), es un modelo de computación en la nube, donde un proveedor de servicios de conocimiento responde a requerimientos de algunos consumidores de conocimiento [20]. El servidor de conocimientos ofrece sus servicios de generación de modelos de conocimiento, que pueden ser costosos e imposibles de obtener por los consumidores de conocimiento. En base a técnicas de minería de datos y de descubrimiento de conocimiento, se ofrecen estos tipos de servicios, basados en el conocimiento extraído de grandes volúmenes de datos, proveniente de múltiples fuentes y con diversos formatos. El

modelo KaaS involucra tres tipos de participantes: proveedores de datos, proveedores de servicios, y consumidores de conocimiento. Los proveedores o propietarios de datos recolectan los datos de sus propios procesos particulares. Los proveedores de servicios ofrecen su servidor de conocimiento, y extraen el conocimiento del conjunto de datos, a través de, por ejemplo, algoritmos de minería de datos. El consumidor de conocimiento consulta un servicio de conocimiento para sus procesos de toma de decisiones. En el caso del modelo OaaS (Ontology as a Service, por sus siglas en Inglés), ellos proveen servicios de adaptación de ontologías en la nube, basadas en procesos de extracción, sustitución y reemplazo de ontologías [25].

### C. Minería Semántica y Minería Ontológica

La minería semántica se encarga de extraer conocimiento semántico desde diferentes fuentes semánticas, como por ejemplo: páginas web, contenidos estructurados y no estructurados en la web, grafos anotados, ontologías, entre otros [22]. La minería semántica se divide en tres grandes grupos: minería de datos semántica, minería web semántica y minería ontológica. La minería ontológica se refiere a la extracción de patrones de comportamiento y modelos de conocimiento desde un conjunto de ontologías, para lograr un dominio de conocimiento más amplio, enriqueciendo, o construir nuevas ontologías. Actualmente, con el gran crecimiento en las cantidades de ontologías disponibles, es necesaria la minería ontológica, para explorar técnicas que puedan extraer conocimiento global de ellas. Algunas de las técnicas que se han venido desarrollando son de enlazado, mezcla y alineamiento entre ontologías.

### D. Middleware Reflexivo

Un Middleware Reflexivo es una capa intermedia entre diversas aplicaciones o servicios, donde, a través de la auto-conciencia y auto-referencia, una aplicación puede cambiar su comportamiento según los requerimientos y necesidades del entorno de ejecución. Consta de dos procesos: La introspección, que es la habilidad de observar y razonar sobre su propia ejecución; y la Intersección, que permite la modificación de su propio estado o estructura, como mecanismo de adaptación [12]. Para su implementación se deben considerar dos niveles:

- *Nivel Base:* En el nivel base se encuentran las aplicaciones, donde se ejecutan las funcionalidades propias de las aplicaciones, y los servicios que las conforman. En este nivel es donde se realiza el proceso de intersección, para realizar los ajustes necesarios para modificar el estado de ejecución (estructura), o alterar la interpretación o significado de los datos (comportamiento).
- *Nivel Meta:* En el nivel meta es donde el middleware tiene su capacidad de reflexión, para observar y razonar acerca de los estados de ejecución de las aplicaciones, y determinar cómo adaptar sus estructuras y comportamientos a las necesidades del entorno. La reflexión que se da en este nivel, le confiere al middleware

la capacidad de desarrollar sistemas computacionales que pueden ser sensibles a su ambiente.

### E. Computación Autónoma

La Computación Autónoma es un modelo computacional de auto-gestión inspirado en el sistema nervioso autónomo de los seres humanos [13]. Este paradigma crea sistemas capaces de auto-administrarse, con un alto nivel de auto-gestión transparente para los usuarios. La arquitectura del modelo de computación autónoma se compone de 6 niveles:

- *Recursos Gestionados:* Son los recursos (hardware o software) que son gestionados.
- *Puntos de Enlace:* Conjunto de sensores y actuadores que se incorporan al sistema para gestionar los recursos.
- *Gestor Autónomo:* Implementa el lazo de control inteligente, que automatiza las tareas de autorregulación de la aplicación. Se compone de cuatro fases identificadas como MAPE: Monitoreo (obtiene datos y eventos de los sensores), Análisis (donde se da el diagnóstico), Planificación (se definen las acciones a hacer sobre el proceso) y Ejecución (se envían las órdenes a los componentes a través de los actuadores).
- *Orquestador de Gestores Autónomos:* Si existen varios gestores autónomos que necesitan trabajar en conjunto, proporciona el canal de comunicación para la coordinación entre ellos.
- *Manejador Manual:* Permite a los usuarios configurar los gerentes autónomos, para realizar sus tareas de autogestión, a través de interfaces hombre-máquina.
- *Fuentes de Conocimiento:* Proporciona el acceso a los conocimientos requeridos para la gestión del sistema.

## IV. ARQUITECTURA PROPUESTA

La arquitectura propuesta adopta un enfoque basado en la idea de un KaaS. El conocimiento generado, en este caso, se refiere a “modelos de conocimiento”, específicamente a “Ontologías”. Esta arquitectura busca la generación de nuevas ontologías, a partir de la recolección y procesamiento de modelos de conocimiento heterogéneos presentes en el AmI, para ponerlas a disposición como un servicio. La idea de basarse en el modelo del KaaS (Ver Fig. 1) es para hacer frente a la variedad de conceptos que manejan los distintos dispositivos que interactúan en el AmI, que comparten el mismo contexto, los cuales serían los proveedores de conocimiento. Este conocimiento, que debe registrarse en el middleware, se integra y procesa en la arquitectura, para ofrecer nuevos modelos conceptuales para el AmI.

En el estudio presentado en [15], se dan unas ideas iniciales de la arquitectura, particularmente, del proceso de emergencia ontológica, donde el contexto es un factor determinante para la generación de ontologías. La arquitectura propuesta (ver Fig. 3) será capaz de hacer emerger ontologías, integrando, enriqueciendo o transformando diversas ontologías, y otros modelos conceptuales, así como datos sensados (captados) y procesados en el AmI, por los dispositivos y servicios que interactúan en él. Para ello, se usaran los servicios ontológicos ofrecidos por nuestra arquitectura, que permiten procesar las diferentes fuentes de información en el AmI, a través de tareas de minería ontológica. Esto permite obtener modelos de

conocimientos adaptables a las necesidades y a la dinámica del AmI, que serán usados por los servicios y dispositivos que en ella subyacen.

#### A. Arquitectura del MiR-EO

La arquitectura propuesta MiR-EO (Middleware Reflexivo para la Emergencia Ontológica) está inspirada en el paradigma de computación autónoma [13], por lo que se diseña como un middleware reflexivo y autónomo.

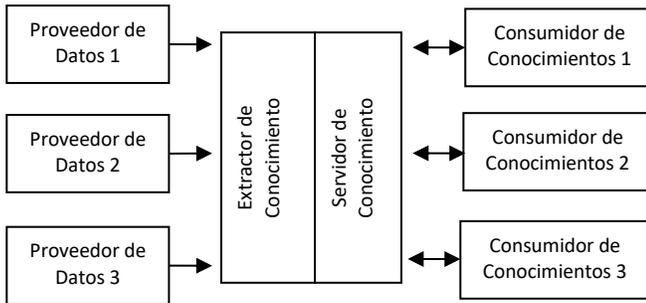


Fig. 1. Paradigma KaaS [21].

La propiedad de reflexión le da la posibilidad de monitorear, tanto los eventos ontológicos (nuevos modelos conceptuales, nuevos conceptos y propiedades), como los servicios que dan soporte al AmI, para adaptarlos y adecuarlos a nuevos requerimientos. Para ello usa su propio marco ontológico, basado en meta-ontologías, que le permite realizar ajustes y auto-gestionar el proceso evolutivo del marco ontológico del AmI. Se está hablando entonces de dos marcos ontológicos: uno que contiene todo el modelo conceptual del AmI, y que se gestiona con MiR-EO, y otro interno del middleware, formado por meta-ontologías, que permiten definir de forma genérica, los conceptos y las reglas que rigen las ontologías del AmI, para apoyar el proceso evolutivo de esas ontologías. En la Fig.2 se puede observar el uso de los dos marcos ontológicos en el gestor autónomo.

En particular, la arquitectura propuesta (ver Fig. 3) consta de los dos niveles propios de los middleware reflexivos:

- *Nivel Base:* En este nivel están todos los componentes del AmI, tanto los recursos (materiales, objetos, usuarios) como los dispositivos (sensores y actuadores). En este nivel se encuentran las aplicaciones y los agentes que ejecutan las funcionalidades del AmI. Tomando como referencia la arquitectura de un AmI propuesta en [28], éste se compone de una Capa Física (CF), una Capa de gestión del SMA (CSMA), una Capa de Gestión de Servicios (CGS), una Capa de gestión del AmI Lógico (CAL) y una capa de gestión del AmI Físico (CAF). Se tiene un modelo conceptual de este nivel, que se define en el marco ontológico de MiR-EO, para la gestión del AmI. A través de los puntos de enlace (sensores y actuadores desplegados en el AmI), es posible gestionar los recursos del AmI (por ejemplo, las ontologías), para realizar los procesos

adaptativos que requieran (tales como la inclusión de nuevos conceptos).

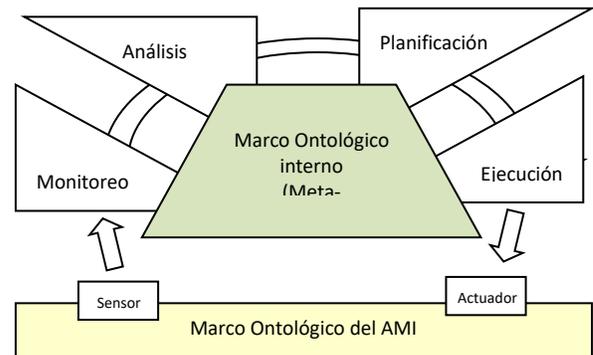


Fig. 2. Marcos ontológicos en el Gestor Autónomo del MiR-EO.

- *Nivel Meta:* En este nivel es donde el middleware tiene su capacidad de reflexión sobre el funcionamiento de sus servicios, y sobre el comportamiento ontológico del AmI, para entre otras cosas, razonar y adaptar su estructura a las necesidades conceptuales del AmI, y de ser necesario, realizar las adaptaciones que requieran las ontologías del AmI. Todo ello es realizado a través de sus servicios ontológicos. Además, es el responsable del proceso de introspección del nivel base. Este nivel se divide en 2 sub-niveles meta:
  - En el Sub-Nivel Meta 1 se encuentran los servicios ontológicos, que de forma colaborativa contribuyen en la generación, actualización y enriquecimiento de las diferentes ontologías que conforman el marco ontológico del AmI, por consiguiente, es donde se ejecutan las funcionalidades de registro semántico, actualización, integración y verificación de ontologías, entre otras. Estos servicios se detallan en la sección D. Además, es donde se da el proceso de emergencia ontológica del AmI. En este nivel es donde se realiza el proceso de monitoreo, a través del registro semántico, para detectar los eventos semánticos en el sistema, y a través del proceso de intersección, realiza las adaptaciones o ajustes necesarios del marco ontológico del AmI.
  - En el Sub-Nivel Meta 2 es donde se estructura el modelo MAPE del Gestor Autónomo del Middleware. A través del monitoreo se detectan necesidades (por ejemplo, la necesidad de generar una nueva meta-ontología). Después se realiza el análisis, para la composición inteligente de los conceptos, propiedades y relaciones que conforman las ontologías del AmI, apoyándose en axiomas y reglas de razonamiento. En este proceso de reflexión juega un papel determinante la meta-ontología que se encuentran en la base de

conocimientos del middleware, que almacenan la información básica sobre la estructura del marco ontológico del AmI.

En esta arquitectura existen un conjunto de componentes distribuidos entre el nivel base y el nivel meta, que trabajan en conjunto para lograr el modelo autónomo del middleware. El manejador autónomo y la base de conocimientos (marco

ontológico compuesto por meta-ontologías) trabajan de manera conjunta para realizar la gestión inteligente de sus servicios y de las ontologías del sistema. El marco ontológico, a través de sus meta-ontologías, provee la base de conocimientos necesaria para los procesos de detección de necesidades a nivel semántico, así como para el análisis y planificación de las acciones más adecuadas a realizar.

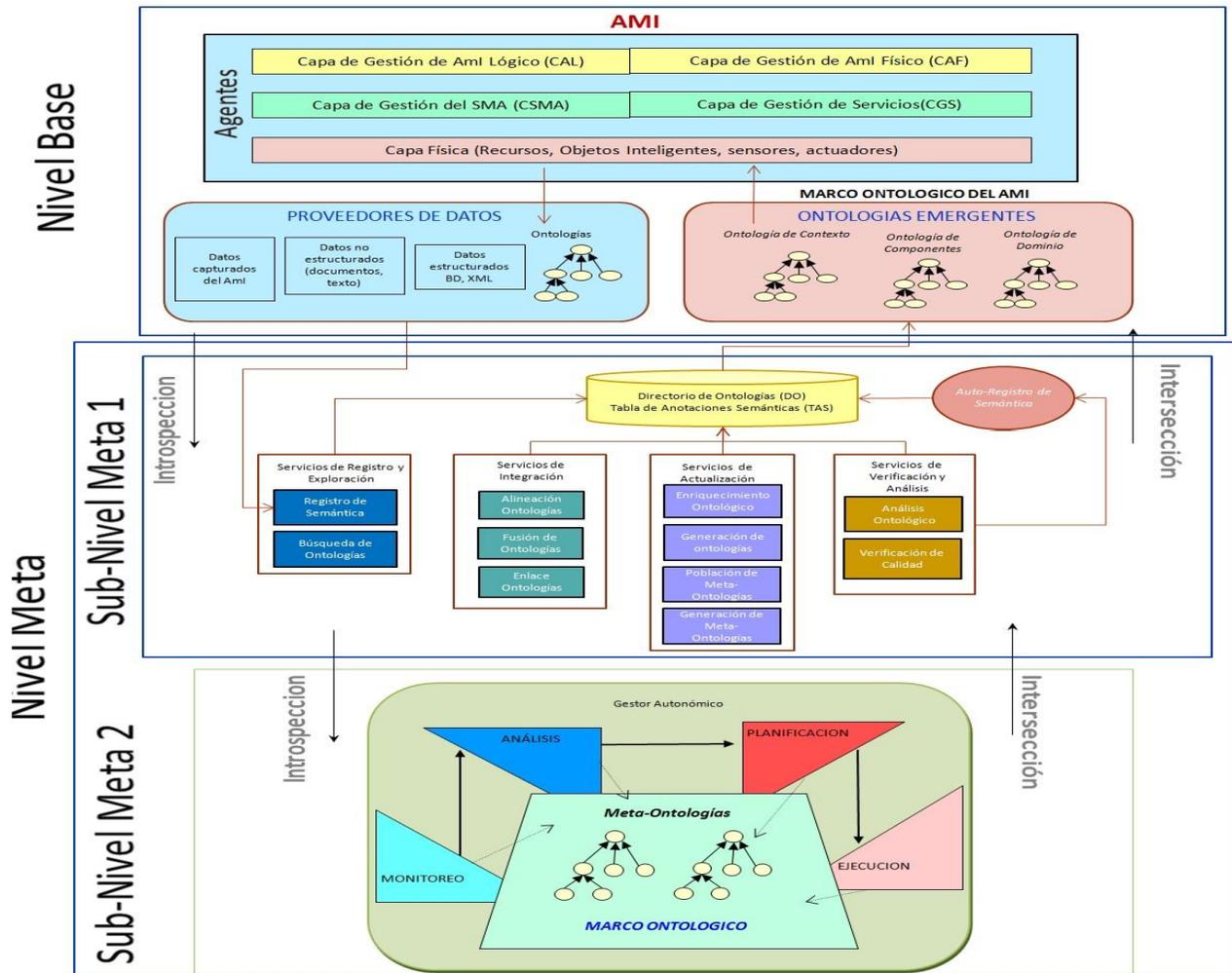


Fig. 3. Middleware Reflexivo para Servicios de Ontologías Emergentes.

### B. Estructura del Gestor Autónomo (Modelo MAPE)

El gestor autónomo del modelo propuesto está compuesto por los 4 elementos del modelo MAPE. A continuación se especifican cada uno de los elementos del modelo.

- **Monitoreo:** Se verifican las solicitudes de servicio ontológicos de los dispositivos inteligentes que interactúan en el AmI. El monitoreo se encarga de detectar los eventos semánticos y comportamiento ontológico en tiempo real en el AmI, es decir, qué nuevos modelos conceptuales o qué ontologías están ingresando o saliendo del AmI, y determina la necesidad de registrarlos. Se implementa principalmente, a través del servicio de “Registro Semántico”, que genera un directorio semántico de los diferentes componentes que participan en el AmI. Ellos deben registrar sus eventos semánticos, es decir, sus modelos conceptuales (documentos, bases de datos, ontologías). De esta manera, se puede conocer cuál es el estado actual en el ambiente y sus necesidades ontológicas. Estos registros semánticos, así como los procesos de generación e integración de ontologías, se verifican luego, para detectar nuevas necesidades ontológicas, o inconsistencias y redundancias, y así poder gestionar la emergencia ontológica.
- **Análisis:** Se realiza un análisis de lo recogido por el monitor. Se invoca el servicio de “Análisis Ontológico”, el cual determina el tipo de necesidad ontológica, y con el servicio de “Verificación de Calidad”, se detecta cualquier inconsistencia o redundancia en las ontologías, para aplicar los criterios de calidad correspondientes, y realizar las adaptaciones necesarias. Con estos servicios, se analizan los datos del registro semántico, para detectar cambios en los patrones de comportamiento, así como necesidad de inclusión de nuevos conceptos, nuevas categorías y nuevos modelos conceptuales. Este proceso de análisis puede ser guiado por las meta-ontologías, que ofrecen una clasificación general de categorías de conceptos, y contiene las propiedades y los axiomas que rigen los modelos conceptuales correspondientes a las ontologías que intervienen en el AmI. Realiza también el diagnóstico de cuáles son los posibles nuevos modelos, categorías, comparando el registro semántico con las meta-ontologías.
- **Planificación:** Aquí se evalúan las acciones a seguir para la resolución de las situaciones detectadas en el análisis. En el proceso de planificación se determina cuáles servicios deben ejecutarse para suplir la necesidad de adaptación del marco ontológico del AmI. Determina el tipo de acción a realizar en las ontologías (que tarea de minería ontológica), así como la necesidad de agregar nuevas categorías en las meta-ontologías. Cuando el analizador detecta alguna necesidad se invoca al planificador, para que determine las actividades a realizar. Aquí se determinan las tareas de minería de datos o minería ontológica a realizar.
- **Ejecución:** Aquí se ejecutan los diferentes servicios requeridos que se han planificado, algunos propios del middleware, o de ser necesario se invocan servicios externos. Así, una vez que se ha analizado y se ha

planificado en la fase previa las tareas que se realizarán para cubrir las necesidades ontológicas del AmI, viene la fase de ejecución, donde se invocan los servicios necesarios, entre los cuales están los servicios de “Integración de Ontologías” y de “Actualización de Ontologías”.

### C. Marco Ontológico del Middleware

El marco ontológico del middleware debe ser capaz de modelar las nuevas señales, objetos y comportamientos en el AmI. Aquí se definen las reglas de comportamiento ontológico y las meta-ontologías, que constituyen la base de conocimientos a ser usada por los gestores autónomos, que permiten la gestión de las ontologías del AmI. Las meta-ontologías definen un conjunto de meta-conceptos o categorías, que pueden ser usados para anotar elementos. Las meta-ontologías son ontologías que contienen conocimiento semántico sobre otras ontologías [10]. Entre las meta-ontologías que se manejan en el marco ontológico se tienen 2 básicas: la meta-ontología de componentes y la meta-ontología de contexto, las cuales son predefinidas. La meta-ontología de dominio en cambio, no puede predefinirse, ya que varía de acuerdo al dominio donde se desenvuelve el AmI, y puede ser definida inicialmente por expertos, e incluso generarse o enriquecerse a partir de las ontologías que participan en el AmI.

#### 1) Meta-Ontología de Componentes

Esta meta-ontología provee la estructura genérica de categorías y relaciones que describen los componentes, los usuarios, las entidades (objetos y dispositivos) que están en el ambiente, que interactúan entre sí, para ofrecer sus servicios o realizar sus actividades y funciones en el AmI. La Fig. 4 muestra las entidades de la meta-ontología de componentes del AmI y sus relaciones. Entre los meta-conceptos que allí se observan se tienen:

- **Recursos:** objetos tangibles (sillas, mesas, computador, etc.) que se encuentran en el AmI. Los recursos pueden ser objetos o contenedores (un contenedor puede contener dentro de sí objetos, por ejemplo, un estante o biblioteca)
- **Espacios:** los recursos están ubicados en diferentes espacios o lugares, que conforman el ambiente (salón, laboratorio, cocina, etc.)
- **Dispositivos:** en los espacios del AmI hay diferentes dispositivos, los cuales eventualmente tienen sus propios sensores y actuadores (cámaras, teléfonos, pizarras inteligentes, etc.).
- **Servicios:** Son las diferentes funcionalidades que ofrecen los dispositivos, que pueden ser usados por los usuarios, recursos u otros dispositivos, en el ambiente.
- **Usuarios:** son los que hacen uso del AmI, de sus recursos, espacios y dispositivos, para la realización de sus actividades, por ejemplo: alumnos, profesores, médicos, entre otros.

#### 2) Meta-Ontología de Contexto

Esta meta-ontología se encarga de caracterizar los conceptos que conforman la información de la ontología de contexto: localización, tiempo, condiciones ambientales, actividades y

perfiles, entre otros. La información del contexto es fundamental, ya que caracteriza a todos los elementos del AmI (definidos en la ontología de componentes), y define los comportamientos y los servicios que deben activarse en el AmI, de acuerdo a la situación y condición actual de sus componentes (usuarios, objetos, entre otros.). La información de contexto es determinante también, para la ubicación de nuevos conceptos en una ontología, ya que por ejemplo, a través de medidas de similitud entre los objetos, en base a sus propiedades y comportamiento, se podrá ubicar en la taxonomía de una ontología de dominio un nuevo concepto. La Fig. 5 muestra los elementos de la meta-ontología de contexto del AmI, y sus relaciones. La meta-ontología de contexto propuesta se diseñó para afrontar la heterogeneidad y permitir la interoperabilidad entre las diferentes ontologías de contexto existentes para un AmI. Esta ontología permite la creación de modelos de conocimientos más precisos y adaptados a la situación cambiante del AmI, contribuyendo así a la unificación de conceptos compartidos entre las diferentes ontologías de contexto. Entre los meta-conceptos que se definen en la meta-ontología de contexto, además de los componentes del ambiente que también forman parte del contexto, se tienen:

- **Estado:** indica el estado en que se encuentra un dispositivo: encendido, apagado, activo, inactivo, en pausa, etc. así como sus propiedades: color, tamaño, temperatura, etc.
- **Perfil:** indica las características de los usuarios o participantes: estado, hábitos, necesidades, preferencias, rol, etc.
- **Condiciones Ambientales:** define características del entorno: iluminación, temperatura, humedad, ruido, presión, etc.
- **Actividad:** caracteriza las actividades que realizan los participantes: su duración, recursos usados, resultados, etc.
- **Tiempo:** determina el momento en que tiene lugar un determinado contexto, indicando día, hora y lapso.
- **Localización:** determina la localización de los usuarios y de los recursos en el ambiente, puede ser, por ejemplo, una localización relativa o absoluta (latitud, longitud).

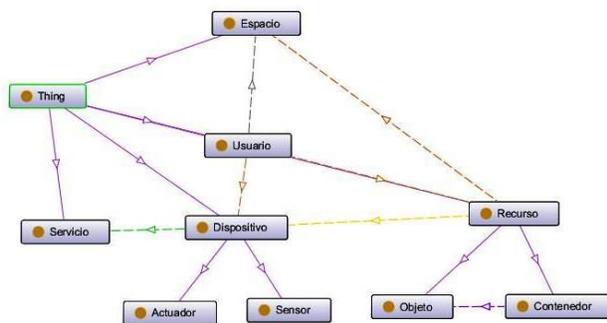


Fig. 4 Meta-Ontología de Componentes

### 3) Meta-Ontologías de Dominio

En cuanto a las meta-ontologías de dominio de un AmI, estas no pueden ser predefinidas para todos los AmI, ya que dependen de las funcionalidades y objetivos de ellos (por

ejemplo, un AmI educativo o médico). Estas meta-ontologías deben ser proporcionadas por fuentes externas (expertos del dominio).

Las Meta-Ontologías, son las que de alguna manera orquestarán todo el conocimiento generado, para mantener la integridad y la coherencia entre los conceptos, ya que ellas guardan dentro de sí la información global y la reglas, de cómo deben estructurarse las ontologías y como deben relacionarse los conceptos entre sí. Las meta-ontologías, pueden servir también para enlazar o localizar ontologías. En base a ellas, se pueden definir o activar, por ejemplo, las ontologías para modelar el contexto de cada uno de los elementos del AmI.

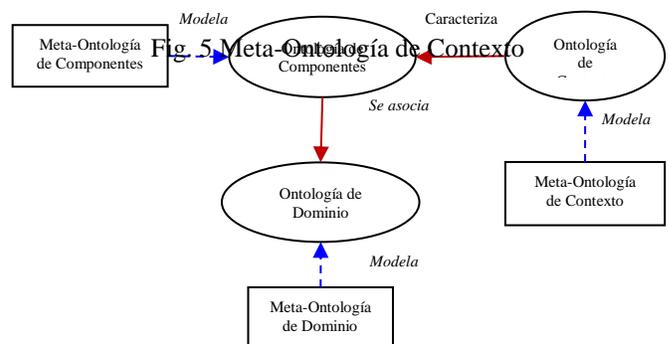
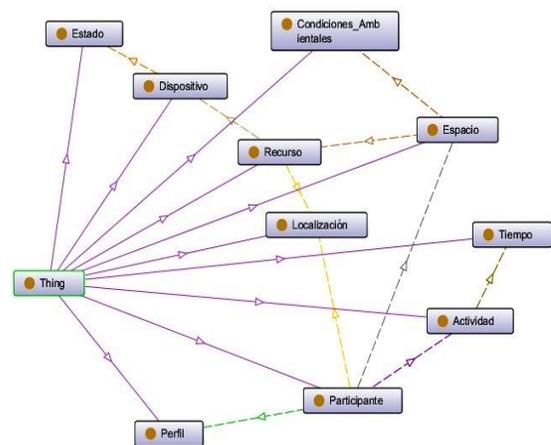


Fig. 6 Arquitectura meta-ontológica

En la Fig. 6 se presenta la arquitectura meta-ontológica que muestra la relación entre las meta-ontologías. Las meta-ontologías definen los conceptos que conforman las ontologías a través de las categorías que definen, es decir, las ontologías son instancias de las meta-ontologías. Por otro lado, la relación entre las ontologías de componentes, de contexto y de dominio es determinante para los servicios del AmI, ya que la ontología de contexto modela el estado en que se encuentran los componentes del ambiente, y a su vez, los componentes en el ambiente están asociados a algún concepto del dominio que caracteriza el AmI. Por ejemplo, el contexto de un usuario en un momento dado viene dado por su perfil, su localización y sus preferencias, lo que determinará los servicios que se pueden activar para ese usuario en ese momento.

#### 4) Reglas de Comportamiento Ontológico

Los axiomas que se definen en las meta-ontologías pueden establecer algunos lineamientos básicos para las ontologías del dominio. Los axiomas son afirmaciones o reglas que permiten restringir la definición de conceptos y sus relaciones, de modo que la definición de los términos del dominio sea más precisa (en este caso, de los conceptos de las ontologías). Los axiomas que se definen determinan: las categorías, las clases disjuntas, las clases complementarias. En la Fig. 7 se muestran un ejemplo de axioma en OWL. Allí se indica en la primera regla que “un sensor es un dispositivo”, el cual permite establecer que todos los conceptos que correspondan a “sensores” deben tener las propiedades que posee la clase “dispositivo”, definida en la meta-ontología. La segunda afirmación en este caso indica que “un individuo que es miembro de la clase contenedor, no puede ser miembro a la vez de la clase objeto”.

En cuanto a los lineamientos generales que determinan las acciones a seguir para lograr la emergencia ontológica, se definen un conjunto de reglas que guiarán el comportamiento ontológico del middleware, entre las cuales están las siguientes:

```

▼ <SubClassOf>
  <Class IRI="#Sensor"/>
  <Class IRI="#Dispositivo"/>
</SubClassOf>
▼ <DisjointClasses>
  <Class IRI="#Contenedor"/>
  <Class IRI="#Objeto"/>
</DisjointClasses>

```

Fig. 7. Axiomas en OWL.

- Los modelos conceptuales que participan en el AmI deben realizar el registro semántico, para lo cual cada concepto debe asociarse a alguna categoría o meta-concepto de las meta-ontologías, determinado por la similitud léxica.
- Si no puede determinarse la similitud léxica, se determina la similitud a través de sus propiedades comunes.
- Si algún concepto no puede ser ubicado o relacionado con ninguna categoría, quiere decir que es un concepto desconocido, por lo tanto, se requiere una posible adaptación de las meta-ontologías con una nueva categoría, lo que representa una evolución del marco conceptual del AmI.
- Si hay más de 2 ontologías del mismo dominio, se puede realizar un proceso de enriquecimiento ontológico (por ejemplo, un proceso de fusión).
- Si hay datos referentes a propiedades de nuevos objetos que participan en el AmI, obtenidos a través de los sensores, se puede determinar sus propiedades y comportamiento, para caracterizar el nuevo concepto y poblar la meta-ontología.
- Si existen más de 2 ontologías alineadas de un mismo dominio, se puede invocar el servicio de generación de meta-ontologías, para obtener nuevos meta-conceptos o categorías que puedan conformar las meta-ontologías.

TABLA I  
MACRO-ALGORITMO: SERVICIO DE REGISTRO DE SEMÁNTICA

<b>Entradas:</b> Eventos semánticos: nuevos modelos conceptuales (Bases de Datos, ontologías, documentos xml) .
<b>Procedimiento:</b>
1. Si es una ontología
1.1. Registrar en el Directorio Ontológico (DO) la ontología indicando una descripción y su ubicación.
2. Por cada evento semántico (concepto del modelo conceptual):
2.1. Consultar los meta-conceptos de las meta-ontologías registradas en el middleware (Servicio de Búsqueda de Ontologías)
2.2. Asociar los conceptos del modelo conceptual, con alguna de las categorías (meta-conceptos) presentes en la meta-ontologías. (Servicio de Alineación)
2.3. Registrar en la Tabla de Anotaciones Semánticas (TAS) el evento semántico, en la forma de tripleta: “sujeto”, “predicado”, “objeto. Ej. “Alumno”, “es un”, “Usuario”.
<b>Salidas:</b> “Directorio Semántico” (DS) conformado por: la “Tabla de Anotaciones Semánticas” (TAS) y el “Directorio Ontológico”(DO)

TABLA II  
EJEMPLO DE DIRECTORIO ONTOLÓGICO (DO)

Ontología	Ubicación
“Contenido Programático”	“<http://www.saoye/contenido_prog.owl/>”
“Contexto Auditorio”	“<http://www.saoye/contexto_auditorio.owl/>”

TABLA III  
EJEMPLO TABLA DE ANOTACIONES SEMÁNTICAS (TAS)

Sujeto	Predicado	Objeto	Fuente
“Alumno”	“es_un”	“Usuario”	Base de Datos: “Control Estudio”
“Programación”	“es_una”	“Asignatura”	Ontología: Contenido Programático

#### D. Servicios del Middleware

Los servicios definidos, permiten cumplir los objetivos de: detectar, almacenar y organizar los modelos ontológicos del AmI, dar soporte a los procesos de integración de ontologías, generar nuevos modelos ontológicos (ontologías emergentes), y realizar procesos de verificación de la calidad de las ontologías. El middleware pueden requerir en un momento dado, realizar procesos de auto-gestión, para lo cual, se basarán en las meta-ontologías que componen su base de conocimientos interna, como un modelo genérico, a la hora de componer y actualizar las ontologías requerida por los diferentes procesos del AmI. Los servicios que ofrece el middleware son los siguientes:

##### 1) Servicios de Registro y Búsqueda de Ontología

Estos servicios permitirán conocer y ubicar información semántica en el AmI:

- **Servicio de Registro Semántico:** los dispositivos que participan en el AmI deben, a través de este servicio, registrar información sobre los eventos semánticos, que en este caso se refieren, a los nuevos modelos conceptuales que manejan. De esta manera, se convierten en proveedores de semántica, y a través de este servicio, se suscriben al middleware, que ofrece un entorno de anotación colaborativo, para que los proveedores converjan en un modelo común del conocimiento (Ver Tabla I). Aquí se conforma un Directorio Ontológico (DO) y una Tabla de

TABLA V

MACRO-ALGORITMO: SERVICIO DE ALINEACIÓN DE ONTOLOGÍAS

Entradas: Dos ontologías (AyB).Procedimiento:

1. Se compara cada concepto de A con los conceptos de B.
2. Se determina si existe similitud morfo-sintáctica.
  - 2.1. Si es así se establece la correspondencia entre los conceptos.
3. Si no existe similitud morfo-sintáctica, se determina si existe similitud léxica.
  - 3.1. Si es así se establece la correspondencia entre los conceptos.
4. Si no existe similitud léxica, se determina si existe similitud semántica.
  - 4.1. Si es así se establece la correspondencia entre los conceptos.

Salidas: Una lista de correspondencias entre conceptos alineados

Anotaciones Semánticas (TAS). Un ejemplo de ellas se pueden ver en las Tabla II y Tabla III.

- **Servicio de Búsqueda de Ontologías:** los dispositivos o agentes que operan en el AmI, pueden requerir localizar ontologías que manejan otros elementos en el ambiente, para localizar conceptos similares o servicios apropiados a sus necesidades. Para ello, el servicio de búsqueda de ontologías le permite explorar el directorio de ontologías del AmI. En este caso, es una búsqueda directa a través del DO (Ver Tabla IV).

## 2) Servicios de Integración de Ontologías

Dentro del proceso de emergencia ontológica, se requiere llevar a cabo procesos de minería ontológica (alineación, mezcla, enlace), con el objetivo de extraer patrones y conocimiento de las ontologías ya existentes, para luego enriquecer o generar modelos conceptuales integrales y consistentes.

- **Servicio de Alineación de Ontologías:** Consiste en comparar dos o más ontologías, para encontrar correspondencias entre sus entidades (conceptos y relaciones). Busca realizar de forma automática procesos de alineación en base a medidas de similitud (morfo-sintáctica, léxica o semántica). Estas alineaciones permiten realizar procesos de fusión, verificar consistencia entre ontologías, así como encontrar información relevante para procesos de aprendizaje y enriquecimiento ontológico. Igualmente, a través de la alineación se puede realizar el enlazado de distintas ontologías (diferentes nombres con el mismo significado) y detectar similaridad léxica o semántica entre dos descripciones representadas a través de ontologías diferentes (Ver Tabla V).

TABLA VI

MACRO-ALGORITMO: SERVICIO DE FUSIÓN DE ONTOLOGÍAS

Entradas: Dos ontologías (AyB) del mismo dominio, una alineación entre ellas y el tipo de fusión (Débil ó Fuerte).Procedimiento:

1. Se copia la ontología A en C.
2. Por cada concepto alineado de A con B, se enriquece la ontología C con los nuevos conceptos hermanos y descendientes que no estén en C.
3. Si el tipo de fusión es "Fuerte".
  - 3.1. Se agregan a C todos los conceptos de B que quedaron por fuera.

Salidas: Una nueva ontología (C), producto de la fusión

TABLA VII

MACRO-ALGORITMO: SERVICIO DE ENLACE DE ONTOLOGÍAS

Entradas: Dos ontologías (AyB) del dominios diferentes, una alineación entre ellas.Procedimiento:

1. Por cada concepto alineado de A con B, se crea el concepto en C, que será el concepto enlace entre los conceptos de A y B alineados enriquece la ontología C con los nuevos conceptos hermanos, ancestros y descendientes que no estén en C.
2. Si no existe alineación entre conceptos, es necesario la intervención de un experto para enlazar conceptos.

Salidas: Una ontología intermedia con conceptos de enlace entre A y B.

- **Servicio de Fusión de Ontologías:** busca la combinación del conocimiento distribuido en varias ontologías, referente a un mismo dominio, para estandarizar el conocimiento o enriquecer el conocimiento ya existente en una ontología. Para ello, se indican cuáles son las ontologías a fusionar, y retornará una ontología con la fusión de ambas. La técnica de fusión también se puede indicar (fusión/mezcla fuerte o mezcla débil) (Ver Tabla VI).
- **Servicio de Enlace de Ontologías:** en el proceso de enlace lo que se busca es encontrar relaciones entre entidades que pertenecen a ontologías de diferentes dominios, para crear una conexión entre ellas sin necesidad de mezclarlas. Esto puede realizarse, identificando las entidades comunes en ellas que sirvan de enlace, y con la creación de una ontología intermedia que permita la navegación entre las ontologías que se están enlazando. En este proceso, si no existe una alineación previa entre conceptos, por lo general puede requerir la ayuda de expertos (Ver Tabla VII).

## 3) Servicios de Actualización de Ontologías

Estos servicios permitirán crear nuevas ontologías, o enriquecer las ya existentes, considerando que la dinámica del AmI demanda un marco ontológico actualizado.

- **Servicio de Población de Meta-Ontologías:** Durante este proceso se realiza un análisis del "Directorio Semántico", para detectar posibles nuevos conceptos que puedan enriquecer las ontologías existentes, o generar nuevas ontologías. Los nuevos conceptos pueden surgir de procesos de comparación y agrupamiento con conceptos de las meta-ontologías, y servirán para poblar las meta-ontologías con esos conceptos (Ver Tabla VIII).
- **Servicio de Generación de Ontologías:** con este servicio

TABLA IV

MACRO-ALGORITMO: SERVICIO DE BÚSQUEDA DE ONTOLOGÍAS

Entradas: Nombre ó palabras claves para la búsqueda.Procedimiento:

1. Se realiza la búsqueda en el DO por la descripción de la ontología, con las palabras claves suministradas.
  - 1.1. Si se consigue, retornar información de ontología.
2. Si no se consigue en el DO, se realiza la búsqueda en la TAS con las palabras claves, comparando con los conceptos (sujetos y objetos) para determinar alguna coincidencia.
  - 2.1. Si se consigue, retornar información de ontología.

Salidas: Información de referencia sobre ubicación de la ontología.

es posible la creación de nuevas ontologías, a partir de procesos de aprendizaje ontológico. Aquí se invocan

TABLA IX

## MACRO-ALGORITMO: SERVICIO DE GENERACIÓN DE ONTOLOGÍAS

<b>Entradas:</b> Fuente de aprendizaje: Texto, BD, xml, ontologías.
<b>Procedimiento:</b>
1. Si la fuente de aprendizaje son datos texto, se invocan procesos de aprendizaje ontológico para el análisis de texto.
2. Si la fuente de aprendizaje son datos :bd, xml, etc, se consulta tabla de anotaciones semánticas y se invoca el servicio de “Población de Meta-Ontologías”.
3. Si la fuente de aprendizaje son ontologías se determina si son de dominios diferentes o iguales.
3.1. Si son de iguales dominios
3.1.1. Se invoca el servicios de “Alineación de Ontologías”
3.1.2. Se invoca el servicios de “Fusión de Ontologías”
3.2. Si son de diferentes dominios
3.2.1. Se invoca el servicios de “Alineación de Ontologías”
<b>Salidas:</b> Una nueva ontología.

métodos y algoritmos, tanto para la generación de ontologías a partir de fuentes de datos estáticas, como bases de datos, documentos, consultas en lenguaje natural (como el desarrollado en [24]); como para la generación de ontologías emergentes a partir de la información dinámica del ambiente (por ejemplo, a partir de información de contexto [14]). La generación de nuevas ontologías emergentes es activado por el servicio de análisis ontológico, que se realiza sobre el DO y el TAS (Tabla IX).

- **Servicio de Enriquecimiento Ontológico:** en este servicio se busca alimentar las ontologías con nuevos conceptos. Esto se puede lograr a partir de un proceso de alineación y combinación múltiple entre ontologías, para buscar el mayor grado de enriquecimiento. Por ejemplo, usando un algoritmo de inteligencia colectiva como ACO (*Ant Colony Optimization*, por sus siglas en Inglés) [23] (Ver Tabla X).
- **Servicio de Generación de Meta-Ontologías:** si existen más de dos ontologías del mismo dominio alineadas, con

TABLA X

## MACRO-ALGORITMO: SERVICIO DE ENRIQUECIMIENTO DE ONTOLOGÍA

<b>Entradas:</b> Un ontología origen y dos o más ontologías alineadas.
<b>Procedimiento:</b>
1. Se aplica el algoritmo de inteligencia colectiva ACO para determinar cuáles son las mejores alineaciones [23].
2. Se selección los conceptos alineados que tienen un mayor medida de similitud
3. Se enriquece la ontología origen con los conceptos hermanos y ancestro de los conceptos alineados seleccionados.
<b>Salidas:</b> Una ontología enriquecida.

TABLA XI

## MACRO-ALGORITMO: SERVICIO DE GENERACIÓN DE META- ONTOLOGÍAS

<b>Entradas:</b> Un ontología origen y dos o más ontologías alineadas.
<b>Procedimiento:</b>
1. Se aplica el algoritmo de inteligencia colectiva para determinar propiedades comunes entre conceptos alineados y determinar posibles meta-conceptos[11].
2. Los meta-conceptos se estructuran para conformar la meta-ontología.
<b>Salidas:</b> Una Meta-Ontología.

TABLA XII

## MACRO-ALGORITMO: SERVICIO DE ANÁLISIS ONTOLÓGICO

<b>Entradas:</b> Directorio Ontológico (DO) y la Tabla de anotaciones semánticas (TAS).
<b>Procedimiento:</b>
1. Se procesa cada una de las entradas del DO
2. Si hay ontologías sin analizar
2.1. Se realiza la comparación de otras ontologías, para determinar si son de dominios similares o diferentes (Se invoca el servicio de “Alineación de Ontologías”)
2.2. Si hay 2 ontologías del mismo dominio se sugiere el servicio de “Fusión de ontologías”.
2.3. Si existen más de 2 ontologías del mismo dominio se sugiere el servicio de “Enriquecimiento Ontológico” y el servicio de “Generación de Meta-Ontologías”.
3. Se procesa cada una de las entradas del TAS.
4. Se realiza una comparación morfo-sintáctica por cada meta-concepto y los conceptos.
4.1. Si existe similitud, se sugiere servicio de “Población de Meta-Ontologías”
<b>Salidas:</b> Lista de posibles tareas de minería ontológica.

este servicio se puede realizar un proceso de generación de categorías o meta-conceptos para constituir una meta-ontologías (Ver Tabla XI).

## 4) Servicios de Análisis y Verificación

Al actualizar el directorio ontológico y la tabla de anotaciones semánticas, es fundamental realizar un análisis para determinar posible conocimiento nuevo, y también verificar la calidad de las ontologías generadas. En este caso, los servicios son:

- **Servicio de Análisis Ontológico:** el servicio de análisis opera sobre el directorio de ontologías para refinar la información semántica recolectada y descubrir nuevo conocimiento (nuevos patrones, conceptos o propiedades) relacionados al dominio, a partir de procesos de minería ontológica. Para detectar nuevo conocimiento, en algunos casos puede ser necesario la aplicación de procesos de aprendizaje semántico (agrupamiento, reconocimiento de patrones, etc.) o alguna técnica de aprendizaje no supervisado, que permita realizar el trabajo de minería semántica para el enriquecimiento de las ontologías. Luego del servicio de análisis se crea una lista de posibles tareas de minería ontológica a aplicar, lo que permite al middleware la generación de ontologías emergente (se orquesta con el servicio de generación de ontologías). Este nuevo conocimiento es registrado nuevamente usando el servicio de “Registro Semántico”, lo que representa un

TABLA VIII

## MACRO-ALGORITMO: SERVICIO DE POBLACIÓN DE META-ONTOLOGÍAS

<b>Entradas:</b> Una Meta-Ontología y la Tabla de anotaciones semánticas.
<b>Procedimiento:</b>
1. Por cada meta-concepto en la meta-ontología, se realiza la búsqueda en el TAS.
2. Se realiza una comparación morfo-sintáctica por cada meta-concepto y los conceptos
2.1. Si existe similitud, se puede poblar la meta-ontología.
<b>Salidas:</b> Una meta-ontología actualizada con sus instancias

auto-registro de semántica del middleware, para que el nuevo conocimiento pueda ser compartido y reusado por los consumidores de ontologías del middleware (Ver Tabla XII).

- **Servicio de Verificación de Calidad** : para verificar la calidad de una ontología se consideran dos aspectos:
  - *Coherencia*: detectar incoherencias a través de razonadores que permitan determinar si las ontologías son coherentes y no presentan contradicciones.
  - *Redundancia*: para medir el grado de redundancia o solapamiento semántico en una ontología (Ver Tabla XIII).

## V. CASO DE ESTUDIO PROPUESTO

### A. Definición

En esta sección se presenta el caso de estudio, con el fin de mostrar el funcionamiento de la arquitectura propuesta, y demostrar la capacidad de dar respuesta a situaciones impredecibles en el AmI. Para ello, los escenarios se desarrollarán en un AmI educativo, específicamente, un Salón de Clases Inteligente (SaCI) [26]. El SaCI ha sido modelado usando el paradigma multi-agentes, y ha sido caracterizado usando la arquitectura AmICL [28][29] para desplegarse. AmICL propone dos tipos de agentes, uno para caracterizar los componentes de software, y el otro para definir los componentes de hardware en el ambiente. Básicamente, estos agentes definen las siguientes capas:

- *Capa de AmI Físico (CAF)*: En esta capa se caracterizan los diversos dispositivos presentes en el SaCI (inteligentes o no) como agentes. Ejemplos de posibles agentes en CAF son Pizarra Inteligentes, Robots, etc.

- *Capa de AmI Lógico (CAL)*: En esta capa se caracterizan los diversos componentes de software en SaCI como agentes. Ejemplos de software es el sistema recomendador de contenidos digitales educativos, o el sistema académico.

Las actividades del SaCI son gestionadas por un conjunto de agentes definidos en [29], entre los cuales se tienen:

- *Agente de Visión (AV)*: La función principal de este agente es prestar servicios de identificación de los usuarios físicos y virtuales que se conecten (ingresen) o desconecten (salgan) del ambiente.

- *Agente de Dispositivos (AD)*: Representa una abstracción lógica de un dispositivo en el ambiente real, lo que permite modelar la interacción con estos objetos.

- *Agente de Gestión (AG)*: Modela las características de los diferentes tipos de sistemas de gestión de contenidos, de procesos de aprendizaje, etc. en un ambiente educativo.

- *Agente Tutor (AT)*: Este agente es una representación (abstracción) del Profesor o de un entorno de software gestor de procesos de aprendizaje (Sistema Tutorial Inteligente, Ambiente de aprendizaje personal, Entorno Virtual de Aprendizaje) que sirve de guía en el proceso de aprendizaje.

En este caso se propone el uso de la arquitectura, para integrar diferentes modelos conceptuales provenientes de los agentes que participan en el ambiente, para la generación de ontologías emergentes que permitan responder a los requerimientos emergentes del SaCI.

### B. Posibles Escenarios

*Escenario 1: adaptación de una ontología de contexto con un nuevo participante.*

En este primer escenario se quiere mostrar la capacidad de MiR-EO para adaptar una ontología de contexto, al momento

de ingreso de usuarios al SaCI. En este caso, al ingresar un tipo de usuario que no está definido en el modelo conceptual para SaCI, el MiR-EO considera el evento como un requerimiento de adaptación o evolución de su modelo conceptual, para la cual invoca los servicios necesarios para generar la emergencia ontológica.

A continuación se describe la secuencia de actividades que realizan los agentes que participan en SaCI en este escenario:

1. El AV supervisa la actividad de un dispositivo de identificación en la entrada del salón, a través de la lectura de código de barra de un AD, el cual autorizará o no el acceso a los usuarios, dependiendo de la actividad que corresponda en ese momento realizar en el SaCI.
2. Este agente, luego de obtener a través del dispositivo de identificación el código del usuario, solicita al AT un servicio de búsqueda de personas pertenecientes a la institución, para poder dar acceso al lugar. Este agente requiere conocer la información de contexto sobre: cuál actividad corresponde a ese ambiente, para ese momento, y cuáles son los usuarios autorizados a entrar.
3. Para ello, el AT requiere la ontología de contexto del SaCI para ese lugar y para ese momento, para lo cual solicita al MiR-EO el servicio de "Búsqueda de Ontologías".
4. La Ontología de Contexto es retornada. En la Fig. 8 se presenta parte esa ontología de contexto, donde se observa que entre las actividades del SaCI se define el concepto "práctica", donde participan "alumno" y "profesor".
5. Al momento de ingresar los usuarios, el AV realiza, a través del servicio de "Registro de Semántica", el registro de conceptos sobre los usuarios, y sus datos para realizar también la población de la ontología con las instancias respectivas (individuos). El registro de semántica tiene el siguiente formato: <Concepto, "IdentificaciónIndividuo">. Por ejemplo AV puede realizar los siguientes registro semánticos: <Alumno, "12322456">, <Alumno, "15678532">, <Profesor, "77996535">.
6. Al momento de ingreso de un tipo de usuario no definido en el modelo conceptual, el evento semántico es detectado (nuevo concepto no definido). El AV determina que está ingresando otro tipo de personal, lo que representa un nuevo concepto en el ambiente inteligente (por ejemplo un "AuxiliarDocente"), al consultar en el modelo ontológico del SaCI y determinar que este tipo de participante no está definido en la ontología de contexto.

TABLA XIII

MACRO-ALGORITMO: SERVICIO DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD

<b>Entradas:</b> Una ontología.
<b>Procedimiento:</b>
1. Se realiza el recorrido de la ontología desde el concepto raíz.
2. Se determina si hay conceptos repetidos.
2.1. Si hay conceptos repetidos se registra un tipo de redundancia.
3. Se determina la ruta de recorrido a cada concepto desde la raíz.
3.1. Si se obtiene más de una ruta a un concepto se registra un tipo de redundancia.
4. Se procesa la ontología a través de un razonador para determinar inconsistencia o incoherencia.
5. Si hay inconsistencia o incoherencia se registra
<b>Salidas:</b> Nivel de Redundancia e incoherencia y lista de observaciones.

Se podría simplemente enviar como respuesta, un error durante el "Registro de Semántica", ya que de acuerdo al

modelo definido para ese ambiente, no está definida la participación de este tipo de persona a esa sesión. Sin embargo, como la arquitectura tiene la capacidad de auto-regularse y auto-gestionar sus ontologías, se llevan a cabo las siguientes actividades en el gestor autónomo del nivel meta del middleware:

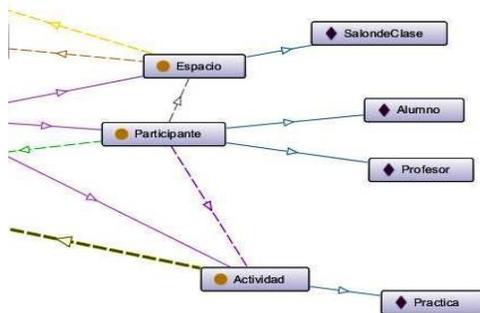


Fig. 8. Ontología de Contexto.

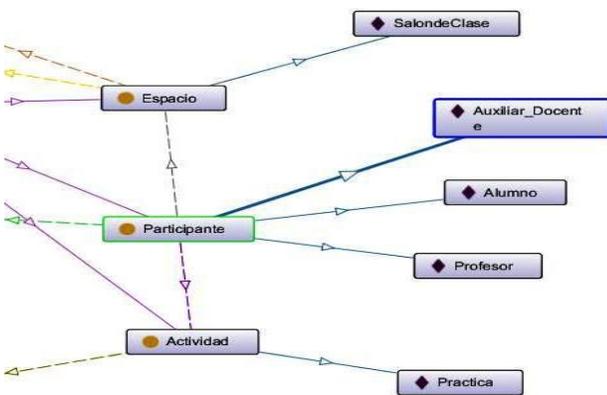


Fig. 9. Ontología de Contexto Actualizada.

- El “Monitor” detecta un evento de error durante el registro de semántica en la Tabla de Anotaciones Semántica, ya que no existe el concepto al que se hace referencia. Esto puede representar un nuevo evento semántico (nuevo concepto), por lo tanto, antes de emitir un mensaje de error, envía al “Analizador” la información para que el determine si ese participante debe ser agregado como un nuevo concepto al modelo ontológico del ambiente.
- El “Analizador” solicita al AT la información sobre el nuevo tipo de participante, para ello este agente debe consultar en la planificación de las sesiones del SaCI, si es posible la participación de este tipo de usuario (“Auxiliar Docente”) en esa sesión.
- De ser así, el “Planificador” determina que debe actualizar los conceptos del modelo, ya que “AuxiliarDocente” es un tipo de usuario permitido. Se realiza la consulta en la Meta-Ontología del MiR-EO para determinar la categoría del nuevo concepto, a través de la similitud de sus propiedades. En este caso, se determina que pertenece a la categoría “Participante” de ese AmI.

- El “Ejecutor” solicita el servicio de “Población de Meta-Ontologías”, quien realiza entonces la actualización de la Ontología de Contexto del SaCI con el nuevo tipo de participante (Ver Fig. 9).

*Escenario 2: adaptación de una ontología de contexto con un nuevo dispositivo*

En este segundo escenario se quiere mostrar la incorporación de un dispositivo especial para usuarios con discapacidad en el SaCI, de manera que el contenido que se esté desarrollando se pueda sincronizar de forma adecuada, y estos usuarios puedan participar sin problemas. El proceso se activa cuando MiR-EO detecta el dispositivo especial dentro del SaCI, lo que se considera un evento que requiere servicios de minería ontológica para su incorporación al modelos conceptual del ambiente.

A continuación se describe la secuencia de actividades que realizan los agentes que participan en el SaCI en este escenario:

1. El AD se crea por cada dispositivo que participa en el SaCI.
2. Al momento que un usuario ingresa al salón, y en su dispositivo móvil posee una tecnología especial para el apoyo a su discapacidad visual, el AD a través de algún tipo de sensor, determina el tipo de dispositivo.
3. El SaCI solicita realizar el “Registro semántico” para que pueda formar parte del modelo ontológico del ambiente.
4. El AD tiene que considerar este tipo de dispositivo como parte del contexto, para que en su funcionalidad pueda gestionar el despliegue del contenido de la clase en ese tipo de dispositivo. Para ello, debe usar una estrategia adecuada, para que la clase pueda ser entendido en su totalidad por los participantes con discapacidad visual (por ejemplo, agregar audio a cualquier texto que se presente en la pantalla inteligente, y enviarlo al dispositivo del usuario), activando para ello quizás servicios especiales externos.
5. Para poder adaptar el modelo ontológico se llevarían a cabo las siguientes actividades en el nivel meta del middleware:
  - El “Monitor” detecta en el registro de semántica que no existe el concepto “Dispositivo Especial”, en la ontología de contexto.
  - El “Analizador” determinar la necesidad de crear el nuevo concepto “Dispositivo Especial” en la ontología de contexto, y busca información sobre sus propiedades.
  - El “Planificador” determina que debe actualizar en los conceptos del modelo, ya que “Dispositivo Especial” es un tipo de “Dispositivo” de ese AmI.
  - El “Ejecutor” realiza entonces la actualización de la Ontología de Contexto del SaCI con el nuevo tipo de dispositivo.

*Escenario3: enriquecimiento ontológico*

En este último escenario se quiere mostrar cómo se pueden integrar varias aplicaciones al SaCI y sincronizarse, a través de un proceso de enriquecimiento ontológico. En este caso, el SaCI detecta la solicitud de las aplicaciones y solicita al MiR-EO su incorporación al modelo conceptual.

A continuación, se describe la secuencia de actividades que se realizan en el SaCI en este escenario:

1. Una aplicación para la gestión de aulas virtuales, por ejemplo Moodle, se ha configurado para que se actualice con las sesiones presenciales del SaCI.
2. El AG debe encargarse de coordinar el contenido del aula virtual con el SaCI.
3. Existe una ontología que maneja el SaCI para gestionar la planificación del contenido programático del salón, y otra que maneja el aula virtual para administrar sus cursos. El AG, a través del servicio de “Registro de Semántica”, registra las dos ontologías en el MiR-EO.
4. Al registrar las ontologías en el Directorio Ontológico, el MiR-EO en su proceso de gestión autónoma, puede determinar la necesidad de emergencia ontológica de la siguiente manera:
  - El “Monitor” detecta el registro de una nueva ontología en el directorio ontológico, por lo tanto es un evento semántico que debe ser analizado.
  - El “Analizador” determina a través del servicio “Análisis de Ontologías”, que en el directorio ontológico hay una ontología que también maneja conceptos de contenidos programáticos. Esta ontología es usada por una aplicación personal para dispositivos móviles, desarrollada por los alumnos para el control individual de sus materias y sus actividades. Se determina entonces que existen estas tres ontologías del mismo dominio, que pueden ser fusionadas. En la Fig.10 se observan las 3 ontologías.
  - El “Planificador” determina que se debe solicitar el servicio de “Alineación de ontologías”, y luego el servicio de “Enriquecimiento de Ontologías” entre la ontología del SaCI y las otras dos ontologías, para obtener una nueva ontología enriquecida. Igualmente, es posible invocar el servicio de “Generación de Meta-Ontologías”, para determinar si existen nuevas categorías o meta-conceptos.
  - El “Ejecutor” solicita el servicio de alineación y enriquecimiento de ontologías, y luego de generación de meta-ontologías. La nueva ontología enriquecida (Ver Fig.11) es registrada en el directorio ontológico, para ponerla a disposición de los servicios del SaCI.

## VI. CONCLUSIONES

En este artículo se propone una arquitectura para la emergencia ontológica en AmI, cuyo objetivo es ofrecer un conjunto de servicios que permiten generar ontologías de acuerdo a las necesidades del AmI. Se implementa como un middleware reflexivo, el cual analiza los requerimientos ontológicos, y activa los servicios de minería ontológica necesarios para que se dé el proceso de emergencia ontológica. Este middleware maneja su propio marco ontológico interno, conformado por un grupo de meta-ontologías que modelan de forma genérica los elementos (conceptos) que deben contener las ontologías del AmI. A través del proceso de reflexión sobre el funcionamiento del AmI, se puede interceder para realizar las adaptaciones y la auto-regulación que requiera el marco ontológico y así mantener la consistencia y evolución semántica que el AmI requiera.

La arquitectura propuesta fue validada a nivel de diseño, a través de 3 casos de estudio, los cuales permiten verificar las funcionalidades definidas en el middleware. Actualmente se viene trabajando en casos reales experimentales, y en la

definición de métricas que permitan evaluar el comportamiento del middleware, que serán reportados en próximos trabajos

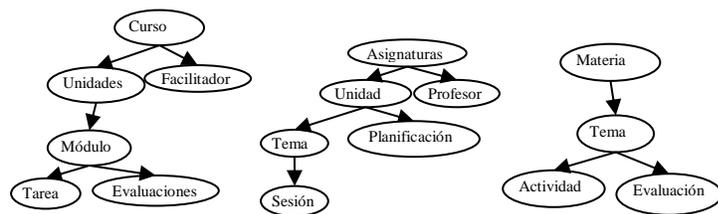


Fig. 10. Diferentes Ontologías del dominio educativo  
(a) Ontología de un Aula Virtual b) Ontología SaCI  
c) Ontología Disp. Personal

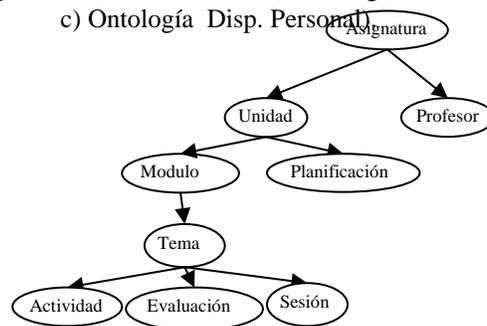


Fig. 11. Ontología enriquecida del SaCI.

La arquitectura propuesta, muestra una capacidad de reacción y adaptación a situaciones específicas donde se presenten necesidades particulares, que pueden ser resueltas a través de procesos de emergencia ontológica en los diferentes servicios que se ofrecen. El aporte más resaltante del artículo, es la propuesta del middleware reflexivo para la gestión de ontologías en un ambiente inteligente, el cual permite la emergencia de ontologías según las dinámicas que se van presentando en dicho ambiente.

## REFERENCIAS

- [1] J. Aguilar, “Introducción a los Sistemas Emergentes”, *Ira Edición, Talleres Gráficos*, Universidad de Los Andes, 2014.
- [2] D. Preuveneers, J. Van den Bergh, D. Wagelaar, A. Georges, P. Rigole, T. Clerckx, and K. De Bosschere, “Towards an extensible context ontology for ambient intelligence”, *Ambient intelligence*, pp. 148-159, 2004.
- [3] L. González and J. Echeverri, “Modelado Conceptual de Usuarios en Ambientes Ubicuos Mediante Agentes Y Ontologías”, *Revista EIA*, pp. 115-126, nro. 16, 2011.
- [4] J. Kiljander, A. Ylisaukko-oja, J. Takalo-Mattila, M. Eteläperä, and J. P. Soininen, “Enabling semantic technology empowered smart spaces”, *Journal of Computer Networks and Communications*, pp. 1-14, 2012.
- [5] T. G. Stavropoulos, D. Vrakas, D. Vlachava, and N. Bassiliades, “BOntSAI: a smart building ontology for ambient intelligence”, *Proc. of the 2nd International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics*, pp. 30-41, 2012.
- [6] K. Hansen, W. Zang, J. Fernandes and M. Ingstrup, “Semantic web ontologies for ambient intelligence”, *Proc. of the 1st International Research Workshop on The Internet of Things and Services*, pp. 1-6, 2008.

- [7] D. Gregor, "Desarrollo de un Servicio Middleware de Ontologías Cooperativas aplicado a Sistemas Embebidos de Transportes Inteligentes", *Tesis Doctoral*, Universidad de Sevilla, Sevilla, 2013.
- [8] T. Gu, X. H. Wang, H. K. Pung, and D. Q. Zhang "An ontology-based context model in intelligent environments", *Proc. of communication networks and distributed systems modeling and simulation conference*, vol. 2004, pp. 270-275, 2004.
- [9] V. Riquebourg, D. Durand, D. Menga, B. Marine, L. Delahoche, C. Loge, and A. M. Jolly-Desodt "Context inferring in the Smart Home: An SWRL approach", *Advanced Information Networking and Applications*, vol. 2, pp. 290-295, 2007.
- [10] J. Diggelen., R. Beun, R. van Eijk, and P. Werkhoven "Efficient semantic information exchange for ambient intelligence", *The Computer Journal*, pp. 1138-1151, 2010.
- [11] Guizzardi, G. "On ontology, ontologies, conceptualizations, modeling languages, and (meta) models", *Frontiers in artificial intelligence and applications*, vol. 155, pp. 18-28, 2007.
- [12] P. Maes "Concepts and Experiments in Computational Reflection", *Proc. of ACM Conference on Object-Oriented Programming*, vol. 22, pp. 147-155, 1987.
- [13] IBM Autonomic Computing Architecture Team, "An architectural blueprint for autonomic computing", Technical report, IBM Corporation, Hawthorne, NY, Fourth Edition, Junio 2006.
- [14] M. Mendonça, J. Aguilar, and N. Perozo, "Una Ontología Emergente para Ambientes Inteligentes basada en el Algoritmo de Optimización por Colonias de Hormigas", *Proc. of The Latin American Computing Conference*, pp. 596-606, 2014.
- [15] M. Mendonça, J. Aguilar, and N. Perozo, "Middleware Reflexivo Semántico para Ambientes Inteligentes", *Conferencia Nacional de Computación, Informática y Sistemas*, pp. 24-32, 2014.
- [16] K. Grolinger, M. Capretz, E. Mezghani, and E. Exposito, "Knowledge as a service framework for disaster data management", *Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE), 2013 IEEE 22nd International Workshop*, pp. 313-318, 2013.
- [17] K. Grolinger, E. Mezghani, M. Capretz and E. Exposito, "Collaborative knowledge as a service applied to the disaster management domain", *International Journal of Cloud Computing*, vol. 4, no 1, pp. 5-27, 2015.
- [18] A. Flahive, D. Taniar, and W. Rahayu, "Ontology as a Service (OaaS): a case for sub-ontology merging on the cloud", *The Journal of Supercomputing*, vol. 65, nro. 1, pp.185-216, 2013.
- [19] A. Flahive, D. Taniar, and W. Rahayu, "Ontology as a Service (OaaS): extracting and replacing sub-ontologies on the cloud", *Cluster computing*, vol.16, nro. 4, pp. 947-960, 2013.
- [20] A. Flahive, D. Taniar, and W. Rahayu, "Ontology as a Service (OaaS): extending sub-ontologies on the cloud", *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 27, nro. 8, pp. 2028-2040, 2015.
- [21] S. Xu, and W. Zhang, "Knowledge as a service and knowledge breaching", *In Services Computing, IEEE International Conference on*, vol. 1, pp. 87-94, 2015.
- [22] Q. Quboa, and M. Saraee, "A State-of-the-Art Survey on Semantic Web Mining", *Intelligent Information Management*, vol 5, pp. 10-17, 2013.
- [23] M. Mendonça, J. Aguilar, and N. Perozo, "An approach for Multiple Combination of Ontologies based on the Ants Colony Optimization Algorithm", *Proc. of Asia-Pacific Conference on Computer Aided System Engineering*, pp. 140-145, 2015.
- [24] T. Rodríguez, and J. Aguilar, J. "Ontological learning for a dynamic semantics ontological framework", *Dyna*, vol, 81, nro.187, pp. 56-63, 2014.
- [25] S. Sharma (2015). Evolution of as-a-Service Era in Cloud. Iowa State University, USA [Online]. Disponible: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1507/1507.00939.pdf>.
- [26] P. Valdiviezo, J. Cordero, J. Aguilar, and M. Sánchez, "Conceptual Design of a Smart Classroom Base on Multiagent System", *International Conference on Artificial Intelligence ICAI'15*, pp. 473-477, 2015.
- [27] C. Rangel, J. Aguilar, M. Cerrada, J. Altamiranda, "An Approach for the Emerging Ontology Alignment based on the Bees Colonies", *Intl. Conf. Artificial Intelligence (ICAI'15)*, pp. 536-541, Julio 2015
- [28] M. Sánchez, J. Aguilar, J. Cordero, and P. Valdiviezo, "A Smart Learning Environment based on Cloud Learning", *International Journal of Advanced Information Science and Technology (IJAIIST)*, vol. 39, nro.39, pp. 39-52, 2015.
- [29] M. Sánchez, J. Aguilar, J. Cordero, and P. Valdiviezo, "Basic features of a Reflective Middleware for Intelligent Learning Environment in the Cloud", *Asia-Pacific Conference on Computer Aided System Engineering (APCASE'15)*, pp. 1-6, 2015.



Maribel Mendonça es Ingeniero en Informática graduada en 1998 en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Venezuela. M.Sc. en Ciencias de la Computación en 2004 de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela. Actualmente es Profesora Agregada en el Departamento de Sistemas de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela. Su área de investigación incluye Inteligencia Artificial y Aprendizaje Ontológico.



José Aguilar es Ingeniero de Sistemas graduado en 1987 en la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. M.Sc. en Ciencias de la Computación en 1991 de la Universidad Paul Sabatier-Toulouse-Francia. Ph.D en Ciencias de la Computación en 1995 de la Universidad de René Descartes-Paris-Francia. Completó estudios de post-doctorado en la Universidad de Houston. Es investigador en el Centro de Microcomputación y Sistemas Distribuidos (CEMISID) en la Universidad de los Andes. Miembro de la Academia de Ciencias de Mérida y del Comité Técnico Internacional del IEEE-CIS en Redes Neuronales Artificiales.



Niriaska Perozo es Ingeniero en Informática graduada en 1997 en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Venezuela. M.Sc. en Ciencias de la Computación en 2004 de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Doctora en Ciencias Aplicadas (Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela) y Neurociencia, Cognición y Comportamiento Colectivo (Universidad Paul Sabatier, Toulouse, Francia) en 2011. Actualmente es Profesora e Investigadora en Inteligencia Artificial en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela.

