

Una Arquitectura de Sistema Recomendador para el desarrollo de Objetos de Aprendizaje para Ingenierías bajo el enfoque por Competencias

Bertossi, Valeria, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe;
Romero, Lucila, Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas;
Gutiérrez, Milagros, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe.

RESUMEN

Los objetos de aprendizaje son materiales educativos digitales que se adaptan a las diferentes configuraciones académicas de la actualidad –presencialidad, virtualidad, presencialidad remota, bimodalidad, hibridación. Además, son adecuados para contextos educativos que adhieren al enfoque de enseñanza por competencias y centrada en el estudiante. Pero su construcción entraña conocimiento y habilidades en diseño instruccional tecnológico, competencia que no es sencillo encontrar en docentes de carreras de Ingeniería, ya que la mayoría son ingenieros con poca o nula formación en didáctica universitaria. Una alternativa de solución a este problema podrían aportarla los sistemas recomendadores basados en conocimiento. Consisten en aplicaciones de Inteligencia Artificial capaces de encapsular en un conjunto de reglas lógicas computables el conocimiento experto de un dominio, en este caso, el del diseño instruccional de objetos de aprendizaje. En esta comunicación presentamos una arquitectura de un sistema recomendador basado en conocimiento destinado a asistir a docentes mientras desarrollan sus propios objetos de aprendizaje.

PALABRAS CLAVE: objetos de aprendizaje, sistema recomendador, diseño instruccional tecnológico, Ingeniería, enfoque basado en competencias

1. INTRODUCCIÓN.

Desde hace muy pocos años, algunas universidades argentinas en las que se enseñan Ingenierías comenzaron a introducir innovaciones en sus diseños curriculares en línea con el enfoque de enseñanza basada en competencias (EBC). Junto a este proceso se plantea la necesidad de estrategias que involucran no sólo las acciones a implementar por el docente, sino también la consideración de los materiales didácticos de los que éste se vale para hacer efectivo el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Entre esos materiales se encuentran los objetos de aprendizaje (OA), una tecnología surgida hacia fines de los '90 del siglo XX (Wiley, 2000) y que Bertossi y Gutiérrez (2020) los definen como “un tipo de material educativo, abierto y digital, compuesto por una estructura interna y otra externa. La primera está conformada por un objetivo de aprendizaje, un contenido alineado al objetivo, un conjunto de actividades para aprender el contenido y un instrumento de evaluación que mide el logro del objetivo planteado; la segunda, por un conjunto de metadatos que facilitan su almacenamiento, búsqueda y recuperación en repositorios de la

Web, con el objetivo de reutilizarlos en cualquier plataforma de software y en una diversidad de situaciones pedagógicas”. En esta oportunidad, siguiendo el EBC, es necesario introducir una sutil modificación en la definición. El cambio de *objetivo de aprendizaje* por el de *resultado de aprendizaje* (RA) ya que, bajo el EBC, *objetivo* refiere a la intencionalidad del docente al enseñar un contenido; mientras que RA alude al logro que se espera del alumno al aprender lo que se le enseña (Kowalski et al., 2016). Al respecto, Biggs y Tang (2007) definen los RA como “declaraciones, escritas desde la perspectiva de los estudiantes, que indican el nivel de comprensión y desempeño que se espera que alcancen como resultado de participar en la experiencia de enseñanza y aprendizaje”. Por su parte, el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI, 2017) los describe como “lo que se espera que sepan los estudiantes y sean capaces de hacer al final de un cierto período de aprendizaje (Ciclo, módulo, unidad, etc.) o cuando se gradúan. Se relaciona con las habilidades, conocimientos y conductas que los estudiantes adquieren a medida que avanzan en su carrera”. Un RA podría pensarse como el refinamiento de una *competencia*, concebida por el mismo CONFEDI (2017) como “la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales”.

Sin embargo, el inconveniente detectado en las facultades de Ingeniería reside en que sus profesores son mayoritariamente ingenieros que desempeñan la función docente, y aunque dominan sus disciplinas no cuentan con la suficiente formación didáctico-pedagógica para la elaboración de OA de calidad y, en algunos casos, tampoco con el conocimiento técnico necesario para programarlos. Sirva como ejemplo la composición de la planta docente de una facultad de Ingeniería argentina: 80% de ingenieros, 50% sin capacitación en enseñanza universitaria, y quienes la tienen, solamente un 14 % a través de carrera de posgrado (Kowalski et al. 2016).

Entre el abanico de posibilidades para dar respuesta a estas necesidades consideramos prometedor la utilización de sistemas de Inteligencia Artificial como los sistemas recomendadores (SR) basados en conocimiento. Adomavicius y Tuzhilin (2005) aseveran que son soluciones de software que dan sugerencias a los usuarios basándose en el conocimiento de un dominio. Ese conocimiento se estructura en una ontología donde la información está preparada para su procesamiento automatizado. Es así que creemos factible el desarrollo de un SR que utilice un conjunto de ontologías que encapsulan el conocimiento experto sobre diseño instruccional tecnológico para el desarrollo de OA, y, a través de reglas lógicas procesables en una computadora, brinde apoyo a los docentes durante su construcción. En esta comunicación presentamos una primera aproximación al diseño arquitectónico de dicho SR.

En la sección 2 enunciaremos el objetivo general planteado y detallamos las actividades para su consecución. En la sección 3 explicamos los avances obtenidos junto a un caso que ejemplifica el uso de la arquitectura y en la última sección compartimos nuestras conclusiones.

2. MÉTODO

La metodología se pensó a partir del siguiente objetivo general: proponer una arquitectura para

un SR que asista al docente de carreras de Ingeniería construir OA en base a RA alineados a las competencias de egreso de cada especialidad, recomendándole buenas prácticas pedagógicas y de carácter técnico.

Para cumplir con dicho objetivo definimos un conjunto de actividades que, si bien listamos secuencialmente, no implica que su ejecución lo sea. La eventualidad del caso puede involucrar varias iteraciones que conduzcan a la revisión y readecuación de formulaciones previas.

- *Revisión exhaustiva de la bibliografía.*

La búsqueda y análisis de la bibliografía realizada de manera sistemática permite introducir en la temática. Fundamentalmente, en la determinación de la problemática y los avances en relación al desarrollo de OA para educación superior.

- *Diseño del modelo conceptual de OA.*

El producto resultante de esta actividad es un modelo ontológico que refleja las principales propiedades de un OA bien construido.

- *Identificación de las etapas necesarias para el diseño de OA.*

Las recomendaciones que se prevé que realice el SR deben respetar una organización sistemática que guíe al docente tanto en el diseño técnico como instruccional.

- *Análisis de herramientas existentes para la generación de OA.*

Como se pretende que sea el docente quien elabore sus propios OA, es necesario el estudio de herramientas de autor disponibles para arribar a un balance entre bondades y falencias contemplando tanto las características técnicas del producto que generan como la facilidad de uso de la herramienta en sí.

- *Análisis y recopilación bibliográfica sobre pautas pedagógicas y métodos de diseño instruccional a considerar en el diseño de OA.*

Es necesario aprovechar la vasta literatura disponible sobre Teorías del Aprendizaje y Diseño Instruccional para extraer conocimiento sobre pautas pedagógicas y métodos instruccionales aplicables al diseño de OA. También es útil recurrir al auxilio de expertos que trabajan en el área de Orientación Educativa de la facultad de Ingeniería en la que se desarrolla esta investigación.

- *Diseño de un modelo conceptual de pautas pedagógicas y diseño instruccional en relación con las etapas de diseño de un OA.*

El resultado de esta actividad condensa en un modelo ontológico la relación de las diferentes etapas de diseño de un OA con las recomendaciones pedagógicas que impactan en cada una de ellas.

- *Análisis de técnicas de Inteligencia Artificial atendiendo a las que mejor se adaptan a la temática en cuestión.*

Involucra la indagación en técnicas de Inteligencia Artificial tales como aprendizaje automático, sistemas de inferencia de conocimiento, representación del conocimiento y filtrado de información.

- *Identificación y diseño de métricas a utilizar en el SR.*

Para cuantificar la calidad de las recomendaciones es necesaria la definición de una serie de indicadores estadísticos que muestren con datos objetivos la calidad técnica y pedagógica de dichas recomendaciones.

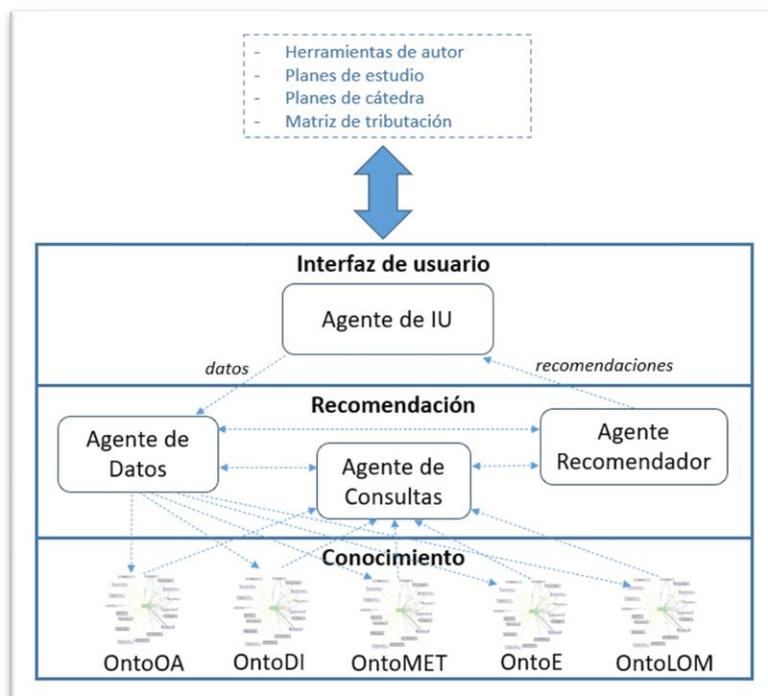
- *Diseño de la arquitectura del SR para asistir en el desarrollo de OA.*
 Consiste en la identificación y especificación de los principales componentes del SR delimitando funciones y relaciones que permitan guiar al usuario en la construcción de OA.

3. RESULTADOS

La arquitectura diseñada para el SR sigue un patrón por capas (Bass et al., 2003). Con este modelo se identifican y documentan los aspectos involucrados en el SR de modo que cada componente pueda desarrollarse y mantenerse en forma independiente para luego integrarse con una interacción mínima. Esta representación de la solución hace más sencilla la comprensión de las partes interesadas (desarrolladores de software, creadores de contenido educativo, etc.) y facilita su evolución, reutilización y portabilidad. Además, este patrón establece una relación entre las capas denominada *allowed to use*. Con ello, Agentes Inteligentes con el conocimiento propio de una capa podrán también interpretar y usar información contenida en los niveles adyacentes para obtener el máximo provecho de la solución. En orden descendente, las capas (figura 1) son:

Figura 1

Arquitectura del SR



- *Capa de interfaz de usuario (IU).* Tiene un *Agente de IU* que posibilita el diálogo con el usuario y la toma o adquisición de datos para alimentar las ontologías y obtener las recomendaciones.

- *Capa de recomendación.* Se compone de tres Agentes Inteligentes que se comunican entre sí –*Agente de Datos, Agente de Consultas y Agente Recomendador.* En esta capa entra en juego un conjunto de reglas lógicas que aplican sobre la información proveniente de la *capa de conocimiento* y de la *capa de IU* para generar las recomendaciones.
- *Capa de conocimiento.* Está conformada por las ontologías OntoOA, OntoDI, OntoMET, OntoE y OntoLOM que describen, respectivamente, la semántica del dominio de los OA, los métodos de diseño instruccional, la metodología de desarrollo de OA, los recursos de evaluación y los metadatos del estándar IEEE-LOM (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Learning Object Metadata) (IEEE, 2020). En ellas se expresan los diferentes términos de cada dominio y sus relaciones, se definen los axiomas de integridad que restringen cada dominio y las reglas de derivación que posibilitan la inferencia de nuevo conocimiento.

3.1. Especificación de la capa de IU

Las fuentes de información que utiliza el *Agente de IU* para captar los datos que pasará a la *capa de recomendación* son:

- *Plan de estudios de la carrera de Ingeniería.* Los datos capturados son: facultad de Ingeniería, competencias genéricas y específicas de la titulación, asignaturas y contenidos mínimos de cada una.
- *Plan de cátedra.* Los datos tomados de esta fuente son: RA de la asignatura y competencias que refinan, unidades en que se estructura la asignatura y temas de los que se compone cada una.
- *Matriz de tributación.* Cada carrera cuenta con una tabla que indica el nivel con que cada asignatura tributa a las competencias del plan de estudios.
- *Herramienta de autor.* Es el software elegido por el docente para elaborar su propio OA. El *Agente de IU* se comunica con dicha herramienta para recolectar los siguientes datos: texto, gráficos, tablas, imágenes, videos, animaciones, botones, etc., correspondientes al contenido de instrucción, las actividades de aprendizaje, evaluaciones diseñadas, y los metadatos del OA aportados por la herramienta.

El *Agente de IU* también solicita al usuario aquellos datos que la herramienta de autor no provee. En el caso de las estudiadas hasta el momento¹, no consideran, por ejemplo, la declaración del RA del OA en construcción, tampoco los conocimientos previos necesarios para abordar la experiencia de aprendizaje con el OA, ni ciertos metadatos del estándar IEEE-LOM. Por otro lado, esta capa es responsable de desplegar las recomendaciones recibidas del *Agente Recomendador*.

3.2. Especificación de la capa de recomendación

A continuación, se explica la funcionalidad de sus componentes:

¹DescartesJS: <https://descartes.matem.unam.mx/>
eXeLearning: <https://exelearning.net/>
H5P: <https://h5p.org/>

- *Agente de Datos*. Recibe del *Agente de IU* los datos del entorno del OA en construcción, instancia con ellos las entidades de las ontologías de la *capa de conocimiento* y le avisa al *Agente de Consultas* que ya están en condiciones de ser consultadas.
- *Agente de Consultas*. Realiza consultas sobre las ontologías en lenguaje SPARQL (Simple Protocol And RDF Query Language) para obtener la información que le solicite el *Agente Recomendador*.
- *Agente Recomendador*. Monitorea la actividad del usuario a partir de los datos que le pasa el *Agente de Consultas* y, mediante un conjunto de reglas de producción aplicadas sobre dichos datos realiza las inferencias para generar las recomendaciones. Las reglas de producción se agrupan en un conjunto de reglas didáctico-pedagógicas y otras de corte técnico. En el primer grupo están las reglas utilizadas para contribuir a la significatividad lógica y psicológica del OA (Ausubel, 1980) y para garantizar la correcta aplicación de los métodos de diseño instruccional. Al segundo grupo pertenecen las reglas relacionadas con el diseño de interfaz del OA (interactividad, presentación de información textual, gráfica y audiovisual, usabilidad, accesibilidad, etc.) y con la marcación automática de metadatos (esta tarea es transparente al usuario y lo libera de hacer el etiquetado manual).

3.3. Especificación de la capa de conocimiento

Las ontologías de esta capa están desarrolladas en lenguaje OWL (Web Ontology Language) y SWRL (Semantic Web Rule Language). Algunas aprovechan recursos ontológicos encontrados en la literatura y otras están construidas desde cero.

3.3.1. Reutilización de ontologías existentes

OntoDI, OntoE y OntoLOM están implementadas a partir de la reutilización de propuestas de otros investigadores:

- OntoDI. Reutiliza el catálogo de representaciones parciales de teorías de diseño instruccional desarrollado por Vidal (2011) para verificar la correcta aplicación de métodos instruccionales de las siguientes teorías: Elaboración² (Reigeluth, 1999), Aprender Haciendo³ (Schank et al., 1999), Inteligencias Múltiples⁴ (Gardner, 1999).
- OntoE. Reutiliza las ontologías *Assessment* e *Instrument* (Romero, 2015), que dan soporte a la generación de evaluaciones válidas y confiables en entornos e-learning. Válida es aquella evaluación que mide el logro de los RA previstos, y confiable la que utiliza instrumentos que siguen los principios básicos de construcción.
- OntoLOM. Readapta, según la versión actualmente vigente del esquema de metadatos IEEE-LOM (IEEE, 2020), las ontologías *LOM2OWL*⁵ (Fermoso et al., 2008) y *LOM* (Amorim, 2006, como se citó en Vidal, 2011). La utilidad de esta ontología es el correcto etiquetado del OA para facilitar su almacenamiento, búsqueda y recuperación de repositorios de la Web, en claro respeto al principio de reusabilidad del paradigma OA (Sicilia, 2016).

² <https://storage.googleapis.com/google-code-archive-downloads/v2/code.google.com/terpsicore/RET-OWLontology.rar>

³ <https://storage.googleapis.com/google-code-archive-downloads/v2/code.google.com/terpsicore/LbyD-OWLontology.rar>

⁴ <https://storage.googleapis.com/google-code-archive-downloads/v2/code.google.com/terpsicore/MI-OWLontology.rar>

⁵ <http://www.cc.uah.es/ie/ontologiaLOM2OWL/LOM2OWL.owl>

3.3.2. Ontologías construidas desde cero

- OntoMET. Representa la metodología a aplicar en el proceso desarrollo de OA propuesta por Romero et al. (2020), específicamente diseñada para el desarrollo asertivo de materiales educativos digitales bajo el EBC. Comienza con la identificación de competencias y continúa con un conjunto de etapas iterativas e incrementales que involucran: i) especificación de las condiciones iniciales del OA y sus requerimientos, ii) diseño del contenido, iii) puesta visual (tiene en cuenta estándares de accesibilidad y usabilidad de sistemas interactivos), iv) producción (desarrollo propiamente dicho del OA), v) evaluación del OA y vi) publicación (se completan los metadatos del OA).
- OntoOA. Esta ontología completa la capa inferior de la propuesta arquitectónica. Aquí se describen los elementos que componen un OA –RA, contenido de instrucción, actividades de aprendizaje, evaluación y metadatos–, establece las propiedades de un OA bien construido y determina su alineamiento lógico con el contexto educativo que adhiere al EBC (Bertossi et al., 2022).

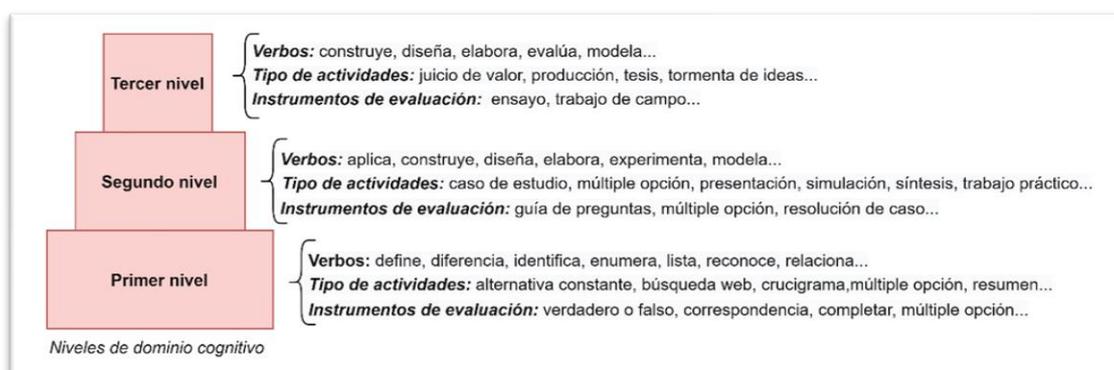
3.4. Caso de aplicación

Para ejemplificar el funcionamiento de la arquitectura se planteará un escenario donde el SR detectará si el OA está alineado y, si corresponde, emitirá sus sugerencias.

La sintaxis del RA del OA (RAOA) sigue la estructura [(verbo) + (objeto de conocimiento) + (finalidades) + (condiciones de referencia)] (Kowalski, 2016). El verbo pertenece a un determinado nivel de dominio cognitivo según una taxonomía que refleja el grado de complejidad creciente del proceso cognitivo involucrado en el desempeño que se pretende del estudiante sobre el objeto de conocimiento. Para simplificar el ejemplo, supondremos una taxonomía de tres niveles (figura 2). El OA estará alineado si el verbo del RAOA pertenece a un nivel menor o igual al que pertenece el verbo del RA de la asignatura que refina (RAAsignatura) y, además, si el OA satisface el alineamiento constructivo (Biggs y Tang, 2007), es decir, la actividad de aprendizaje y la evaluación activan el mismo verbo del RAOA, de modo que la primera ayude al alumno a lograr el RAOA y la segunda mida en qué grado lo ha conseguido. Esto último ocurre si instrumento de evaluación y tipo de actividad utilizados en el OA pertenecen al mismo nivel de dominio cognitivo que el RAOA.

Figura 2

Taxonomía de dominio cognitivo.



Supongamos que un docente de Cálculo Diferencial desea construir un OA para el estudio completo de funciones. Comienza con la declaración del RAOA decidiendo refinar determinado RAAsignatura que, a su vez, según el plan de cátedra, refina la competencia de egreso CE. Crea el contenido, diseña una actividad de tipo múltiple opción y elige un instrumento de evaluación del tipo verdadero o falso.

- RAOA: *[(Aplica) + (los conceptos del Cálculo Diferencial) + (para analizar funciones de una variable real) + (mostrando asíntotas, intervalos de crecimiento, concavidad, puntos de inflexión y extremos relativos)].*
- RAAsignatura: *[(Identifica) + (los conceptos del Cálculo Diferencial en una variable real) + (para analizar funciones) + (que modelan problemas de optimización y razón de cambio)].*
- CE: *Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.*

Identifica pertenece al primer nivel de la taxonomía de dominio cognitivo mientras que *Aplica*, al segundo; la actividad (múltiple opción) es de segundo nivel y la evaluación (verdadero o falso) pertenece al primer nivel (ver figura 2). El *Agente Recomendador* deberá informar sobre la falta de alineamiento entre RAOA y RAAsignatura, así como advertir la falta de alineamiento constructivo dentro del OA.

3.4.1. Intervención de la capa de IU

El *Agente de IU* toma los siguientes datos y se los pasa al *Agente de Datos* de la *capa de recomendación*:

- Del plan de estudios de la carrera: competencias específicas y genéricas de egreso, nombre de la asignatura
- Del plan de cátedra de la asignatura: RAAsignatura, CE que es refinada por RAAsignatura.
- De la herramienta de autor: contenido, actividad de aprendizaje, evaluación.
- De la IU del SR: RAOA.

3.4.2. Intervención de la capa de conocimiento

En la figura 3 se muestran algunos conceptos de OntoOA instanciados para este ejemplo (línea punteada azul) por el *Agente de Datos* a partir de los datos que recibe del *Agente de IU*. Las relaciones que están en línea punteada roja, son propiedades inferidas a partir de los axiomas y reglas de OntoOA. Con respecto a los verbos y su propiedad de pertenecer a un determinado nivel de dominio cognitivo, cabe aclarar que están instanciados de antemano por un Experto en Didáctica y Pedagogía; el *Agente de Datos* sólo instancia la relación *tieneVerbo* entre el RAOA que declara el docente y el verbo elegido. En la tabla 1 se extractan los axiomas en lógica descriptiva y reglas en SWRL de OntoOA que entran en juego en este ejemplo.

Semántica del dominio de OA	Axioma / Regla
Una actividad de aprendizaje está alineada al RA del OA si utiliza un tipo de actividad que pertenece al mismo nivel de dominio cognitivo que el RA, caso contrario, no está alineada.	$ResultadoAprendizajeOA(?r), ActividadDeAprendizaje(?a), OA(?oa), tieneComponente(?oa, ?r), tieneComponente(?oa, ?a), NivelDominioCognitivo(?n), TipoActividad(?t), utiliza(?a, ?t), perteneceA(?r, ?n), perteneceA(?t, ?n)$ → $alineadaCon(?a, ?r)$
Una evaluación está alineada al RA del OA si utiliza un instrumento que pertenece al mismo nivel de dominio cognitivo que el RA.	$ResultadoDeAprendizaje(?r), Evaluacion(?e), OA(?oa), InstrumentoDeEvaluacion(i), NivelDominioCognitivo(?n), tieneComponente(?oa, ?r), tieneComponente(?oa, ?e), utiliza(?e, ?i), perteneceA(?r, ?n), perteneceA(?i, ?n)$ → $alineadaCon(?e, ?r)$
Un OA tiene alineamiento constructivo si tiene todos sus componentes internos, y además su actividad y evaluación están alineadas con el RA.	$OA(?oa), ResultadoAprendizajeOA(?r), ActividadDeAprendizaje(?a), Evaluacion(?e), ContenidoDeInstruccion(?c), tieneComponente(?oa, ?r), tieneComponente(?oa, ?a), tieneComponente(?oa, ?e), tieneComponente(?oa, ?c), alineadaCon(?a, ?r), alineadaCon(?e, ?r)$ → $OAConEstructuraInternaAlineada(?oa)$
El RA de un OA y el RA de la asignatura que refina están alineados si el RA del OA pertenece a un nivel de dominio cognitivo menor o igual al nivel del RA de la asignatura. En caso contrario, no estarán alineados.	$ResultadoAprendizajeOA(?r1), ResultadoAprendizajeAsignatura(?r2), refina(?r1, ?r2), NivelDominioCognitivo(?nivel1), NivelDominioCognitivo(?nivel2), perteneceA(?r1, ?nivel1), perteneceA(?r2, ?nivel2), tieneNro(?nivel1, ?nro1), tieneNro(?nivel2, ?nro2), swrl:lessThanOrEqual(?nro1, ?nro2)$ → $alineadoA(?r1, ?r2)$ $ResultadoAprendizajeOA(?r1), ResultadoAprendizajeAsignatura(?r2), refina(?r1, ?r2), NivelDominioCognitivo(?nivel1), NivelDominioCognitivo(?nivel2), perteneceA(?r1, ?nivel1), perteneceA(?r2, ?nivel2), tieneNro(?nivel1, ?nro1), tieneNro(?nivel2, ?nro2), swrl:greaterThan(?nro1, ?nro2)$ → $noAlineadoA(?r1, ?r2)$

3.4.3. Intervención de la capa de recomendación

Una vez que el *Agente de Datos* alimentó la ontología, el *Agente de Consultas* consulta *OntoOA* mediante SPARQL (tabla 2) y le pasa la información resultante en forma de grafo RDF (Resource Description Framework) al *Agente Recomendador* (figura 4).

Tabla 2

Extracto de consultas SPARQL

N° Objetivo	Consulta
1 Saber si el RA del OA está alineado o no con el RA de la asignatura que refina. En el grafo resultante aparecerá, respectivamente, la relación "alineadoA" o "noAlineadoA" (figura 4a).	<pre> CONSTRUCT{ ?ra a OntoOA:ResultadoAprendizajeOA. ?nivelRaOa a OntoOA:NivelDominioCognitivo. ?nivelRaAsignatura a OntoOA:NivelDominioCognitivo. ?ra OntoOA:refina ?raRefinado. ?ra OntoOA:alineadoA ?raAlineado. ?ra OntoOA:noAlineadoA ?raNoAlineado. ?ra OntoOA:perteneceA ?nivelRaOa. ?raRefinado a OntoOA:ResultadoAprendizajeAsignatura. ?raRefinado OntoOA:perteneceA ?nivelRaAsignatura. } WHERE { OntoOA:unOA OntoOA:tieneComponente ?ra. ?ra a OntoOA:ResultadoAprendizajeOA. ?nivelRaOa a OntoOA:NivelDominioCognitivo. ?nivelRaAsignatura a OntoOA:NivelDominioCognitivo. ?ra OntoOA:refina ?raRefinado. ?ra OntoOA:perteneceA ?nivelRaOa. ?raRefinado OntoOA:perteneceA ?nivelRaAsignatura. OPTIONAL{?ra OntoOA:alineadoA ?raAlineado.} OPTIONAL{?ra OntoOA:noAlineadoA ?raNoAlineado.} } </pre>
2 Saber si el OA cumple el alineamiento constructivo. Si el grafo resultante está vacío el OA está alineado. En este ejemplo el OA no tiene alineamiento (figura 4b).	<pre> CONSTRUCT{ OntoOA:unOA a OntoOA:OA. } WHERE { OntoOA:unOA a OntoOA:OA. FILTER NOT EXISTS {OntoOA:unOA a OntoOA:OAConEstructuraInternaAlineada} } </pre>

N° Objetivo	Consulta
3 Saber si la falta de alineamiento constructivo en el OA se debe a que la actividad no está alineada con el RAOA. Si el grafo resultante está vacío, la actividad no está alineada con el RAOA, de lo contrario está alineada. (figura 4c).	<pre> CONSTRUCT{ OntoOA:unOA a OntoOA:OA. OntoOA:unOA OntoOA:tieneComponente ?actividad. OntoOA:unOA OntoOA:tieneComponente ?ra. ?actividad a OntoOA:ActividadDeAprendizaje. ?actividad OntoOA:alineadaCon ?ra. ?ra a OntoOA:ResultadoAprendizajeOA. } WHERE { OntoOA:unOA a OntoOA:OA. ?actividad a OntoOA:ActividadDeAprendizaje. ?ra a OntoOA:ResultadoAprendizajeOA. OntoOA:unOA OntoOA:tieneComponente ?ra. OntoOA:unOA OntoOA:tieneComponente ?actividad. FILTER EXISTS {?actividad OntoOA:alineadaCon ?ra.} } </pre>
4 Saber si la falta de alineamiento constructivo en el OA se debe que la evaluación no está alineada con el RAOA. Si el grafo resultante está vacío, la evaluación no está alineada con el RAOA, de lo contrario está alineada. (figura 4d).	<pre> CONSTRUCT{ OntoOA:unOA a OntoOA:OA. OntoOA:unOA OntoOA:tieneComponente ?evaluacion. OntoOA:unOA OntoOA:tieneComponente ?ra. ?evaluacion a OntoOA:Evaluación. ?evaluacion OntoOA:alineadaCon ?ra. ?ra a OntoOA:ResultadoAprendizajeOA. } WHERE { OntoOA:unOA a OntoOA:OA. ?evaluacion a OntoOA:Evaluacion. ?ra a OntoOA:ResultadoAprendizajeOA. OntoOA:unOA OntoOA:tieneComponente ?ra. OntoOA:unOA OntoOA:tieneComponente ?evaluacion. FILTER EXISTS {?evaluacion OntoOA:alineadaCon ?ra.} } </pre>

Figura 4

Grafos RDF devueltos por las consultas SPARQL

<p>Consulta N°1:</p> <pre> OntoOA:Nivel1 a OntoOA:NivelDominioCognitivo . OntoOA:RAAsignatura a OntoOA:ResultadoAprendizajeAsignatura ; OntoOA:perteneceA OntoOA:Nivel1 . OntoOA:RAOA a OntoOA:ResultadoAprendizajeOA ; OntoOA:noAlineadoA OntoOA:RAAsignatura ; OntoOA:perteneceA OntoOA:Nivel2 ; OntoOA:refina OntoOA:RAAsignatura . OntoOA:Nivel2 a OntoOA:NivelDominioCognitivo . </pre>	(a)
<p>Consulta N°2:</p> <pre> OntoOA:unOA a OntoOA:OA . </pre>	(b)
<p>Consulta N°3:</p> <pre> OntoOA:unOA a OntoOA:OA ; OntoOA:tieneComponente OntoOA:unaAct , OntoOA:RAOA . OntoOA:unaAct a OntoOA:ActividadDeAprendizaje ; OntoOA:alineadaCon OntoOA:RAOA . OntoOA:RAOA a OntoOA:ResultadoAprendizajeOA . </pre>	(c)
<p>Consulta N°4:</p>	(d)

El *Agente Recomendador* aplica un conjunto de reglas de producción a la información recibida del *Agente de Consultas* para realizar inferencias y generar las recomendaciones. En la tabla 3 se listan en pseudocódigo las reglas utilizadas para sugerir al usuario que revise el verbo del

RAOA y utilice un tipo de actividad e instrumento de evaluación adecuados, o bien, que reclasifique estos elementos en el nivel de dominio cognitivo que estime correctos. Si hace esto último el SR guardará provisoriamente esta información hasta que, oportunamente, un Experto en Didáctica y Pedagogía actualice en OntoOA las propiedades de esos elementos si considera correcta la reclasificación. De esta forma, el SR “aprende” de manera supervisada.

Cada regla de la tabla 3 se corresponde con la consulta de la tabla 2 que tiene el mismo N°.

Tabla 3

Extracto de reglas de producción del Agente Recomendador

N° Explicación	Regla de producción
1 Recomendar cambiar el verbo del RA del OA si no pertenece al nivel de dominio cognitivo adecuado (figura 4a).	<i>SI el grafo contiene la propiedad "noAlineadoA" entre las instancias de "ResultadoAprendizajeOA" y de "ResultadoAprendizajeAsignatura" → RECOMENDAR cambiar el verbo de la instancia de "ResultadoAprendizajeOA" por un verbo que pertenezca a la instancia de "NivelDominioCognitivo" con el que la instancia de "ResultadoAprendizajeAsignatura" tiene la relación "perteneceA"</i>
2 Recomendar alinear la estructura interna del OA si es que no lo está. Esto ocurre si el grafo recibido no está vacío.	<i>SI el grafo no está vacío → RECOMENDAR alinear la estructura interna de la instancia de "OA"</i>
3 Recomendar cambiar el tipo de actividad en caso de no estar alineada con el RA del OA. Esto ocurre si el grafo recibido está vacío. Como en este caso la actividad está alineada (figura 4c) no se activa esta regla (no se genera recomendación).	<i>SI el grafo está vacío → RECOMENDAR alinear la instancia de "ActividadDeAprendizaje" con la instancia de "ResultadoAprendizajeOA" usando un "TipoActividad" que pertenezca al mismo "NivelDominioCognitivo"</i>
4 Recomendar cambiar el instrumento de evaluación en caso de no estar alineado con el RA del OA. Esto ocurre si el grafo recibido está vacío (figura 4d).	<i>SI el grafo está vacío → RECOMENDAR alinear la instancia de "Evaluación" con la instancia de "ResultadoAprendizajeOA" utilizando un "InstrumentoDeEvaluacion" que pertenezca al mismo "NivelDominioCognitivo"</i>

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Es sabido que los OA son materiales didácticos concebidos para mediar el aprendizaje en entornos e-learning. Son versátiles para promover el aprendizaje autónomo y autorregulado, hecho que los hace apropiados para contextos de educación superior que adhieren al EBC y centrado en el estudiante. Pero todo aquello que tiene sus pros no está eximido de tener también sus contras. Entre las desventajas encontramos que su diseño y construcción requiere del dominio en dos áreas: por un lado, el área técnica que demanda su condición de producto de software (estándares de metadatos, modelos de empaquetamiento, repositorios, algunas ideas sobre programación) y, por el otro, el área de la didáctica y pedagogía que impone su cualidad de material educativo.

Dado que es difícil, por su tipo de formación, encontrar docentes de Ingeniería que reúnan ese par de habilidades, proponemos salvar tal dificultad echando mano de algunas herramientas de Inteligencia Artificial: los SR que utilizan ontologías para representar el conocimiento de un dominio, en este caso el del diseño instruccional tecnológico de OA, y hacer inferencias computacionalmente sobre tal dominio.

Así es que en este trabajo hemos presentado el diseño de una arquitectura de SR compuesta de tres capas: *capa de conocimiento*, *capa de recomendación* y *capa de IU*. Con este SR se pretende dar soporte a docentes de carreras de Ingeniería durante el proceso de elaboración de sus propios OA con recomendaciones de índole técnico y de diseño instruccional que los guíen durante su construcción. También hemos expuesto un caso sencillo que ejemplifica el funcionamiento de esta arquitectura.

Entre las actividades pendientes resta desarrollar la ontología OntoMET y definir las métricas para evaluar el SR. Por otra parte, estamos realizando nuevas iteraciones para completar las consultas necesarias a la *capa de conocimiento* y refinar las reglas de producción de la *capa de recomendación*. Además, se prevé que una estudiante de Ingeniería en Sistemas de Información implemente un prototipo del SR con la arquitectura propuesta como parte de su proyecto final de carrera.

5. REFERENCIAS

- Adomavicius, G., y Tuzhilin, A. (2005). Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 17(6), 734-749. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2005.99>
- Ausubel, D. (1980). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Editorial Trillas.
- Bass, L., Clements, P., y Kazman, R. (2003). *Software architecture in practice*. Addison-Wesley Professional.
- Bertossi, V., Ale, M., Gutiérrez, M., Bourlot, J. y Romero, L. (22-25 de junio de 2022). *Design and development of Learning objects based on conceptual model: Competency-based approach*. 17th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI). Lisboa, Portugal. <https://doi.org/10.23919/CISTI54924.2022.9866892>
- Bertossi, V. y Gutiérrez, M. (01-04 de diciembre de 2020). *Objetos de Aprendizaje: Estado del Arte*. IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON). Resistencia, Argentina. <https://doi.org/10.1109/ARGENCON49523.2020.9505342>
- Biggs, J. y Tang, C. (2007). *Teaching for Quality Learning at University* (3ª ed.). Mc Graw Hill.
- CONFEDI. (2017). *Marco conceptual y definición de estándares de acreditación de las carreras de ingeniería*. Comisión de estándares. Oro Verde. <https://confedi.org.ar/wp-content/uploads/2021/07/MARCOC1.pdf>
- Fermoso, A. M., Sánchez-Alonso, S., y Sicilia, M. A. (20-21 de octubre de 2008). *Una ontología en OWL para la representación semántica de objetos de aprendizaje*. V Simposio Pluridisciplinar sobre Diseño y Evaluación de Contenidos Educativos Reutilizables, SPDECE08. Salamanca, España.

- Gardner, H. (1999). Multiple approaches to Understanding en C. Reigeluth (Ed.), *Instructional-Design Theories and Models. A New paradigm of Instructional Theory* (Vol. II). Lawrence Erlbaum Assoc.
- Kowalski, V., Posluszny, J., López, J., Erck, I. y Enriquez, H. (2016). Formación por competencias en ingeniería: ¿Camino o destino? *Revista Argentina de Ingeniería (RADI)*, 4(7), 130-145.
<https://rid.unam.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12219/4176/Kowalski%2c%20V.A.-2016-Formaci%3%b3n%20por%20competencias%20en%20ingenier%3%ada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2020). *Standard for Learning Object Metadata*, (1484.12.1-2020). <https://doi.org/10.1109/ieeestd.2020.9262118>
- Reigeluth, C. (1999). *Instructional-Design Theories and Models: A New Paradigm of Instructional Theory* (Vol. II). Lawrence Erlbaum Assoc.
- Romero L., Santucci, V., Gentile, C., Sklar, D. y Ale, M. (01-04 de diciembre 2020). *Objetos de Aprendizaje basados en Competencias: Una metodología para su desarrollo en carreras de Ingeniería*. IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON). Resistencia, Argentina. <https://doi.org/10.1109/ARGENCON49523.2020.9505399>
- Romero, L. (2015). *Marco de trabajo basado en una red de ontologías para dar soporte a la generación de evaluaciones en entornos de e-learning*. [Tesis de doctorado, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe].
- Schank, R., Berman, T., y Macpherson, K. (1999). Learning by Doing en C. Reigeluth (Ed.), *Instructional-Design Theories and Models: A New paradigm of Instructional Theory* (Vol. II). Lawrence Erlbaum Assoc.
- Sicilia, M. Á. (2016). Reusabilidad y reutilización de objetos didácticos: mitos, realidades y posibilidades. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, (50). <https://doi.org/10.6018/red/50/6>
- Vidal, C. (2011). *Uso de ontologías formales para el soporte al diseño instruccional*. [Tesis de doctorado, Universidad de Castilla La Mancha]. <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=GBKEQxypXh0%3D>
- Wiley, D. A. (2000). Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy en D. A. Wiley (Ed.), *The instructional use of learning objects*, 2830(435), 1-35.