

Caso de aplicación de representación del conocimiento utilizando grafos conceptuales en un sistema de corrección automatizado de exámenes

María Alejandra Paz Menvielle (pazmalejandra@gmail.com), Mario Alberto Groppo (proyale@groppo.com.ar), Marcelo Martín Marciszack (marciszack@gmail.com), Analía Guzmán (analía.guzman@the-group.com.ar), Karina Ligorria (karinaligorria@hotmail.com), Martín Casatti (mcasatti@gmail.com)

CIDS-Centro de Investigación, Transferencia y Desarrollo de Sistemas de Información, Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Córdoba – Universidad Tecnológica Nacional.
Maestro Marcelo López esq. Cruz Roja Argentina – Córdoba 0351 – 4686385

Resumen El presente trabajo describe la implementación de una base de conocimientos, implementada como un grafo conceptual, utilizado como parte de un sistema de corrección de exámenes automatizado, sobre respuestas redactadas en forma de texto en lenguaje natural. Se presentan los conceptos básicos de representación del conocimiento y las características de los grafos conceptuales aplicados a tal fin y se describe el mecanismo utilizado para evaluar una respuesta utilizando un grafo conceptual como repositorio de los conceptos del dominio de la materia Paradigmas de Programación, utilizada en este caso de aplicación en particular. Por último, se explica la utilización de conceptos, relaciones y equivalencias dentro del proceso de evaluación, las reglas que el sistema implementa para simplificar las expresiones, minimizar el almacenamiento necesario y optimizar los tiempos de búsqueda y se detallan los pasos del proceso de evaluación.

Keywords: análisis de textos; grafos conceptuales; representación del conocimiento; detección de patrones

1. Contexto

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación y desarrollo homologado por la Secretaría de Investigación, Desarrollo y Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional, desarrollado en el ámbito del CIDS – Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia en Sistemas de Información, dentro del Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información de la Facultad Regional Córdoba.

El dominio de aplicación seleccionado para la validación de la presente propuesta, se corresponde con los contenidos mínimos fijados para la asignatura Paradigmas de Programación[1], que pertenecen al bloque de tecnologías básicas dentro del área programación y están principalmente referidos a los paradigmas lógicos, funcional y de orientación a objetos.

2. Introducción

Un grafo conceptual[2] es un sistema de notación simbólica y de representación del conocimiento, impulsado principalmente por John F. Sowa. El concepto se basa en los gráficos existenciales[3] de Charles Sanders Peirce, en las estructuras de redes semánticas y en datos de la lingüística, la filosofía y la psicología[4].

Se utilizará, para la detección de rutas dentro de la información almacenada en el grafo, el enfoque de búsqueda inexacta, el cual a través de la especificación de un cierto umbral puede determinar tanto una validez total como una parcial para las respuestas analizadas. De esta manera se podrán detectar respuestas válidas aún con conceptos faltantes, con relaciones similares aunque no idénticas y con órdenes alterados o invertidos en las relaciones[5].

La elección de este enfoque de búsqueda de patrones, durante las primeras etapas de investigación, se realizó considerando la naturaleza inherentemente variable de las respuestas de los alumnos frente a un mismo conjunto de preguntas de examen.

Actualmente el equipo de investigación ha desarrollado el prototipo de un sistema que trabaja con la búsqueda de patrones en una base de datos de grafos que representa, de manera adecuada y simple, las estructuras del lenguaje natural con el fin de determinar si la respuesta a una pregunta es correcta, dentro de un dominio especificado y aplicando las técnicas y las reglas gramaticales relacionadas con los lenguajes estructurados.

El objetivo del presente trabajo es describir el mecanismo de corrección diseñado, utilizando grafos como base de conocimiento para la corrección automatizada de exámenes escritos por estudiantes en formato de texto y mostrar ejemplos de la aplicación de éste enfoque.

3. Los grafos como herramientas de representación del conocimiento

Dentro de los esquemas de representación del conocimiento encontramos distintas vertientes que buscan la manera más eficiente de representar los hechos de manera tal que la utilización de los mismos para la solución de problemas sea eficiente[6].

Pero cada dominio tiene conjuntos distintos de problemas y por ende los mecanismos de representación van a variar de uno a otro por lo que no existe un único mecanismo válido para dicha representación, sino que cada problema a resolver debe ser analizado antes de resolver el mecanismo de representación a utilizar, planteando dos interrogantes:

1. ¿Cómo escoger el mecanismo de representación que nos permita hacer una traducción fácil de los conceptos del mundo real a la representación?
2. ¿Cómo ha de ser esta representación para que pueda ser utilizada de forma eficiente?

Es importante destacar en este punto la diferencia entre información y conocimiento, debido a que un sistema de corrección automatizado no busca de ninguna manera

evaluar la información que el alumno posee, sino su conocimiento de un tema dado. En el presente trabajo llamaremos “conocimiento” al conjunto de datos que modelan de forma estructurada la experiencia que se tiene sobre un cierto dominio o que surgen de interpretar datos básicos[6].

3.1. ¿Qué es la representación del conocimiento?

En[7] Randall Davies menciona que la representación del conocimiento es un “sustituto de la realidad”. Esto se debe a que el proceso de razonamiento se realiza de manera interna al individuo, pero los objetos o entidades sobre los que se razona son externos al mismo; luego surge la necesidad de que el individuo consiga una representación interna sobre la cual pueda razonar, efectivamente “sustituyendo” la realidad por su representación.

Esto no es distinto a la necesidad que tiene un sistema automatizado de representar de manera interna las entidades sobre las que debe trabajar.

3.2. Estructuras de redes para la representación del conocimiento

Tal como se menciona en[8], Quillian[9] y Shapiro & Wodmansee[10] fueron los primeros en definir los esquemas de representación formalizados.

Los elementos básicos que se encuentran en este tipo de representaciones, comúnmente denominadas *redes semánticas*[11], son:

- Una estructura de datos formada por nodos, que representan conceptos, unidos por arcos que representan las relaciones entre esos conceptos.
- Un conjunto de procedimientos de inferencia que operan sobre las estructuras de datos.

Entre los tipos más utilizados de redes semánticas encontramos las *Redes IS-A*[12], en las que los enlaces entre los nodos están etiquetados, los *Grafos conceptuales*[13], en las que existen dos tipos de nodos, de Concepto y de Relación y las *Redes de marcos*[14], en las que los puntos de unión de los enlaces son parte de la etiqueta del nodo.

Como base para el sistema de corrección automatizado que aplica los conceptos del presente trabajo se optó por el uso de grafos conceptuales como mecanismo de representación del conocimiento por dos cuestiones fundamentales:

1. Es relativamente simple representar los conceptos y relaciones propios de una materia con contenido estructurado, en una estructura de éste tipo.
2. Existen sistemas de persistencia y bases de datos, que aplican directamente el esquema de grafos, lo que posibilita una mayor simplicidad al momento de la implementación de la solución informática.

4. Validación conceptual de una respuesta a examen

La riqueza expresiva de la lengua española es uno de los principales obstáculos a vencer en el planteo de un sistema de corrección automatizado.

Si bien el idioma nos permite expresar el mismo concepto de diversas formas, esto obstaculiza la labor de una computadora debido a que la misma debe reconocer el contenido conceptual de una respuesta de forma independiente de los términos utilizados para expresar dicho concepto, existiendo infinidad de expresiones para el mismo concepto, todas ellas válidas y en cierta medida equivalentes.

Es por eso que el enfoque utilizado en el presente trabajo de investigación busca evaluar la *similitud conceptual* entre dos respuestas a una pregunta de examen, una proporcionada por el docente y la otra por el alumno, descartando cualquier tipo de comparaciones textuales.

El abanico de posibilidades se amplía al considerar diversas respuestas posibles y correctas, así como a la capacidad del sistema de tener en cuenta sinónimos y términos equivalentes en la redacción de la respuesta por parte del alumno y/o del docente.

Al momento de establecer esas relaciones conceptuales y, seguidamente, compararlas para obtener una evaluación de una respuesta dada, es necesario que todos los conceptos y relaciones involucrados se encuentren en el mismo espacio de dominio. Es decir, que todos esos conceptos y relaciones se hallen representados en el mismo grafo.

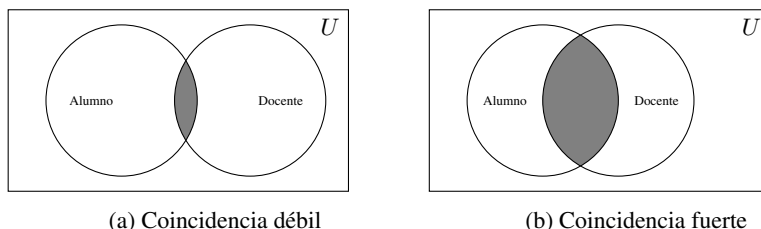


Figura 1: Dominios de la respuesta del alumno y del docente

La evaluación surge de comparar la exactitud de la intersección (ver Figura 1) que se encuentra entre los conceptos incluidos por el docente en su respuesta ideal (denominada *respuesta base*) y los conceptos suministrados por el alumno en su respuesta propuesta (denominada *respuesta candidata*).

En las secciones posteriores veremos en detalle cómo se determinan los conceptos y relaciones en cada una de estas respuestas, como se amplía el espacio expresivo a través de sinónimos y equivalencias y como se simplifican y almacenan las respuestas a fin de optimizar el proceso de comparación y evaluación.

5. Definición y detección de conceptos y relaciones

En [2] John F. Sowa define el *Grafo Contextual*, en el que basaremos nuestro estudio, como:

“Un grafo conceptual es un grafo finito, conectado, no dirigido y bipartito con nodos de un tipo denominados conceptos y nodos de otro tipo denominados relaciones conceptuales. Un grafo conceptual puede consistir de un único concepto pero no puede contener relaciones conceptuales con aristas sin enlazar”

En el marco del presente trabajo denominaremos *Conceptos* a todos aquellos términos contenidos en una respuesta textual que tengan un valor particular para la evaluación de los conocimientos de un alumno, de acuerdo al dominio de la asignatura Paradigmas de Programación. En este mismo sentido denominaremos *Relación* a los nexos que unen dos Conceptos, constituyendo una unidad de información.

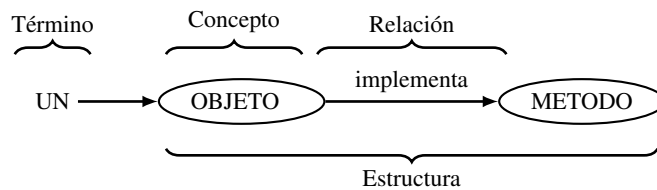


Figura 2: Mínima estructura de representación

En ésta implementación en particular se simplificará la representación de relaciones mediante etiquetas apropiadas en el propio enlace entre dos conceptos (Figura 3a), haciendo de esta forma innecesaria la existencia de los nodos relación de la definición original (Figura 3b) pero manteniendo su utilidad y funcionamiento originales.

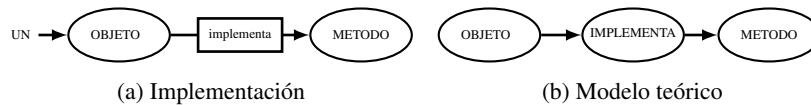


Figura 3: Modelo teórico

Existen dos escenarios posibles para la detección de conceptos y relaciones. Uno de ellos se desarrolla cuando el docente ingresa las respuestas válidas a una pregunta de examen. El segundo escenario se desarrolla cuando el alumno ingresa su respuesta candidata, previa a la evaluación[15].

5.1. Proceso de la respuesta del docente y del alumno

Este escenario comienza con la redacción de la respuesta en formato libre, por parte del docente, en idioma castellano, dando lugar a un texto que luego se envía al módulo de corrección ortográfica que realiza todas las revisiones necesarias hasta obtener un texto correcto.

Una vez validada la ortografía el conjunto de términos se envía a la base de conocimientos la cual marca todos los conceptos ya existentes e informa al docente de los términos que no reconoce.

El docente tiene, en este punto, la posibilidad de completar la base de conocimientos, indicando qué conceptos considera que deben ser incluidos en la base, cuáles se

deben considerar equivalencias, y qué términos no aportan ningún valor y pueden ser ignorados.

A modo de guía, el sistema automático sugiere que los sustantivos y adjetivos no reconocidos sean considerados conceptos, pero esto de ninguna manera es una decisión automática, sino que siempre recae en el docente la responsabilidad de ampliar la base de conocimientos.

Para poder construir una ruta que permita evaluar la respuesta, los conceptos deben estar correctamente encadenados, siguiendo la secuencia *Concepto* \rightarrow *Relacion* \rightarrow *Concepto*. El sistema analiza la existencia de estos encadenamientos y en caso de detectar algún error se detiene el procesamiento hasta tanto todas las secuencias involucradas sean válidas. En esta etapa el docente tiene la posibilidad de agregar relaciones faltantes o determinar si son equivalentes de algunas ya existentes.

El sistema brinda asistencia, también en este caso, para las relaciones faltantes, sugiriendo que los verbos sean considerados relaciones entre conceptos.

La operatoria del docente finaliza en esta etapa y la respuesta está en condiciones de ser almacenada en la base de conocimientos.

El escenario correspondiente al procesamiento de la respuesta del alumno es en gran medida similar al escenario correspondiente al docente, con la excepción de que, en el paso final, frente a conceptos o relaciones inexistentes el sistema no sugiere su agregado a la base de conocimientos, sino que los descarta.

Una vez detectados todos los conceptos y relaciones existentes en la base de conocimientos, el sistema procede a ejecutar el proceso de evaluación, posteriormente descripto en detalle.

6. Sinónimos y equivalencias

A fin de aumentar la potencia expresiva de las respuestas posibles, tanto generadas por los docentes como proporcionadas por los alumnos, el sistema de corrección automatizado implementa un mecanismo tendiente a aumentar el contenido y variedad textual de las respuestas, pero manteniendo su validez conceptual.

Para ello implementa el concepto de *Sinónimos y Equivalencias*. Los sinónimos y las equivalencias son dos términos relacionados pero no intercambiables.

En este contexto, un Sinónimo es un término que tiene una equivalencia del 100 % con respecto al concepto al que hace referencia. Por otra parte, un término Equivalente guarda una relación con el concepto al que referencia, pero esta relación no es de una exactitud plena, sino que puede tener un grado de ponderación variable de acuerdo a lo aproximado que esté su significado al concepto original. Podemos entender un sinónimo como un caso particular de equivalencia, un término con una equivalencia exacta al concepto original y que es intercambiable con el mismo.

El sistema de corrección realiza su análisis contemplando todo el abanico de posibilidades que proporcionan los conceptos registrados en la base de conocimientos, sus sinónimos, y sus equivalentes, aumentando de esta manera en gran medida la expresividad de las respuestas que puede analizar.

En la sección correspondiente al proceso de evaluación se presentará en mayor detalle el análisis que se realiza con los sinónimos y las equivalencias.

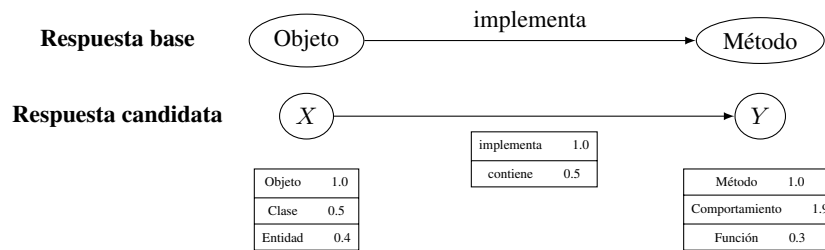


Figura 4: Ejemplo de conceptos y relaciones con equivalencias

7. Simplificación y almacenamiento

A fin de mantener una estructura coherente en la base de conocimientos, todas las respuestas, ya sean las provistas por el docente como las elaboradas por el alumno como parte de la evaluación, se someten a un proceso de simplificación previo a su almacenamiento en la base de datos de grafos.

Este proceso busca eliminar información accesoria que no aporta valor a la corrección y al mismo tiempo minimizar tanto el tamaño de la base de datos como los tiempos de búsqueda asociados a la corrección.

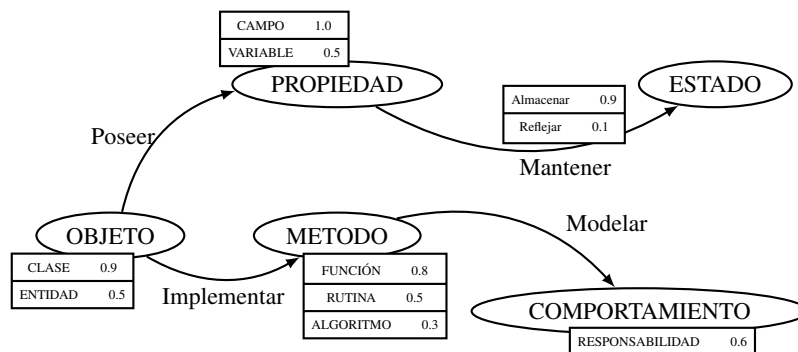


Figura 5: Almacenamiento de una respuesta

Como parte del proceso de simplificación previo al almacenamiento el sistema unifica el formato de los conceptos y relaciones siguiendo las siguientes reglas:

1. Todos los *Conceptos* se almacenan en mayúsculas.
2. Todas las *Relaciones* se almacenan en formato CamelCase.
3. Todos los *Verbos* se transforman en su forma infinitiva.
4. Los *Conceptos compuestos* se concatenan separados por un espacio.
5. Todas las *Relaciones compuestas* por varios términos se componen en una única frase antes de ser almacenada, y la misma se transforma en CamelCase.

Se pueden ver ejemplos de aplicación de las reglas de simplificación y almacenamiento en el Cuadro 1 y la estructura almacenada en la Figura 5.

Regla	Tipo	Término	Resultado
Regla 1	Concepto	Objetos	OBJETO
Regla 2,3	Relación (Verbo)	contiene	Contener
Regla 4	Concepto compuesto	Lógica binaria	LÓGICA BINARIA
Regla 5	Relación compuesta	formado por	FormadoPor

Cuadro 1: Reglas de simplificación y almacenamiento. Ejemplos.

8. El proceso de evaluación

Para establecer una línea base con la cual realizar la evaluación de la respuesta de un alumno se debe contar con el valor de la respuesta del docente, denominada *respuesta base*. La valoración de la respuesta base del docente es sencilla ya que es simplemente el resultado de contar la cantidad de conceptos y relaciones que la componen, según se ve en la fórmula 1.

$$V_r = C + R \quad (1)$$

Siendo V_r el Valor de la respuesta, C la cantidad de conceptos presentes y R la cantidad de relaciones.

Posteriormente se procede a evaluar la respuesta del alumno, denominada *respuesta candidata*, lo que da inicio a la evaluación propiamente dicha.

Se realiza una enumeración de los conceptos contenidos en la respuesta del alumno, mediante una consulta a la base de conocimientos. La lista de conceptos se procesa, en el paso siguiente, para determinar si existe alguna ruta de Conceptos y Relaciones que incluya los conceptos vertidos por el alumno en su respuesta.

Una vez obtenida la ruta, cada uno de los conceptos y relaciones se evalúa para obtener el peso de cada uno de ellos, teniendo en cuenta si es un Concepto o Relación exacta o si es una equivalencia, las cuales poseen menor peso con respecto al total de la respuesta.

Existen dos escenarios al calcular el peso de los distintos conceptos que componen la respuesta.

Misma posición El concepto o la relación es igual al existente en la respuesta base y tiene la misma ubicación. En este caso el valor es 1, igual que en la respuesta del docente.

Desplazado El concepto o la relación es igual al existente en la respuesta base pero su ubicación en la respuesta no es igual a la ubicación en la respuesta del docente. En este caso el valor del concepto desplazado se calcula por la fórmula 2

$$C_d = 1 - \left| \frac{P_c - P_b}{n} \right| \quad (2)$$

Siendo C_d el valor del concepto desplazado, obtenido a partir de P_c , posición del concepto en la respuesta candidata, P_b , posición del concepto en la respuesta base y n la cantidad de conceptos en la respuesta base.

Este planteo considera que mientras más alejado esté el concepto de su ubicación correcta, su valoración en la respuesta candidata disminuye.

En este paso se gestionan las equivalencias, para las cuales cada concepto tendrá una tabla, definida por el docente, cuyo fin será ponderar cada una de las equivalencias a un valor numérico entre 0 y 1, donde 1 será una equivalencia completa, que indicará que ambos términos pueden usarse indistintamente. De esta forma el valor del concepto se obtiene directamente de la tabla, según $C_e = C_{E_i}$, siendo C_e el valor del concepto equivalente y C_{E_i} el valor de la equivalencia obtenido de la tabla correspondiente (ver Figura 4).

Los conceptos existentes en la respuesta del alumno que no se encuentran en la base de conocimientos, o que no son equivalentes a conceptos existentes, se descartan y no tienen incidencia en el cálculo del valor de la respuesta.

Una vez ajustados los pesos, se procede a calcular el valor de cada una de las respuestas (candidata y base). Estos valores se comparan entre sí (según la ecuación 3) y el resultado nos indica el grado de acercamiento de la respuesta candidata a la respuesta base. Este valor se informa al docente a modo de *calificación sugerida*.

$$C_r = \frac{V_c}{V_b} \quad (3)$$

Siendo C_r la calificación relativa, V_b el valor de la respuesta base (del docente) y V_c el valor de la respuesta candidata (del alumno).

9. Conclusiones y trabajos futuros

Se ha expuesto un caso de técnicas para la representación de conocimiento por medio de un grafo conceptual, en el contexto de una materia de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba.

Las técnicas expuestas en el presente trabajo han demostrado ser eficaces, considerando que existe un prototipo de sistema de corrección automático que, utilizando los mecanismos aquí mencionados, se encuentra en fase de pruebas. Dicho prototipo explota las características aquí descritas con respecto a valoración conceptual de las respuestas, detección de conceptos y relaciones, gestión de un universo expresivo amplio, minimización de expresiones para su almacenamiento, y persistencia de la base de conocimientos.

El prototipo mencionado ha podido evaluar un conjunto de respuestas en un nivel similar a como lo haría un docente, lo que refuerza la hipótesis de que un grafo conceptual es un buen esquema de representación del conocimiento para sistemas de corrección automatizados.

Está previsto extender el presente estudio mediante la búsqueda de patrones sobre la base de conocimientos existente, de manera tal que permita realizar análisis tanto estadísticos como topológicos sobre la distribución de los conceptos de la materia, tanto desde el punto de vista del cuerpo docente, representado por las respuestas elaboradas para las evaluaciones, como desde la perspectiva de los alumnos, representados en función de las respuestas a exámenes que los mismos suministran.

Referencias

- [1] Marcelo Marciszack y col. *Material de estudio de la Cátedra Paradigmas de Programación*. Ed. por Cátedra de Paradigmas de Programación Ingeniería en Sistemas de Información. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, 2016.
- [2] John F Sowa. "Conceptual graphs for a data base interface". En: *IBM Journal of Research and Development* 20.4 (1976), págs. 336-357.
- [3] W Hartshorne. *Burks, editors. Collected Papers of Charles Sanders Peirce, Cambridge, Massachusetts, 1931-1935*.
- [4] Frank Van Harmelen, Vladimir Lifschitz y Bruce Porter. *Handbook of knowledge representation*. Vol. 1. Elsevier, 2008.
- [5] Ivan Olmos, Jesus A Gonzalez y Mauricio Osorio. "Inexact Graph Matching: A Case of Study." En: *FLAIRS Conference*. 2006, págs. 586-591.
- [6] Marcello Balduccini, Chitta Baral y Yuliya Lierler. "Knowledge representation and question answering". En: *Foundations of Artificial Intelligence* 3 (2008), págs. 779-819.
- [7] Randall Davis, Howard Shrobe y Peter Szolovits. "What is a knowledge representation?" En: *AI magazine* 14.1 (1993), pág. 17.
- [8] M Chantal Pérez Hernández. "Explotación de los corpórea textuales informatizados para la creación de bases de datos terminológicas basadas en el conocimiento". En: *Estudios de lingüística del español* 18 (2002).
- [9] Allan M Collins y M Ross Quillian. "Facilitating retrieval from semantic memory: The effect of repeating part of an inference". En: *Acta Psychologica* 33 (1970), págs. 304-314.
- [10] Stuart C Shapiro y GH Woodmansee. "A Net Structure for Semantic Information Storage, Deduction and Retrieval." En: *IJCAI*. 1971, págs. 512-523.
- [11] John F Sowa. "Semantic Networks". En: *Encyclopedia of Cognitive Science*. John Wiley & Sons, Ltd, 2006. ISBN: 9780470018866.
- [12] R.J. Brachman. "What is-a is and isn't: an analysis of taxonomic links in semantic networks". En: *Computer; (United States)* 10 (oct. de 1983).
- [13] John F Sowa. "Conceptual graphs as a universal knowledge representation". En: *Computers & Mathematics with Applications* 23.2-5 (1992), págs. 75-93.
- [14] Marvin Minsky. "A framework for representing knowledge". En: (1975).
- [15] Maria Alejandra Paz Menvielle y col. "Text format written questions evaluation Methodology". En: *Information Systems and Technologies (CISTI), 2016 11th Iberian Conference on*. IEEE. 2016, págs. 1-4.