

REPRESENTACIÓN DE RELACIONES SEMÁNTICAS ENTRE PROBLEMAS Y OBJETIVOS MEDIANTE LÓGICA DE PREDICADOS

CARLOS MARIO ZAPATA*
JUAN FERNANDO ACEVEDO**
DAVID ANDRÉS MORENO***

RESUMEN

El mundo organizacional siempre tendrá objetivos que alcanzar y se encontrará en el camino obstáculos que dificultan su consecución. El primer paso para resolver problemas y establecer objetivos es identificarlos y representarlos, lo cual casi siempre se hace por medio del lenguaje natural, evidenciando la carencia de métodos formales para el planteamiento de sus enunciados. Por ello, en este artículo se proponen estructuras para expresar objetivos y problemas de manera que se facilite su análisis y se puedan establecer relaciones semánticas y de consistencia entre ellos, empleando lógica de predicados, ya que este mecanismo permite una traducción directa desde lenguaje natural hacia una representación formal de frases para constatar la veracidad o falsedad del enunciado.

PALABRAS CLAVE: lógica de predicados; problema; objetivo; consistencia; relaciones semánticas; representación formal.

* Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería de Sistemas, Doctor en Ingeniería con énfasis en Sistemas, Profesor Asociado y líder del grupo de investigación en Lenguajes Computacionales, Escuela de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín, Colombia. cmzapata@bt.unal.edu.co

** Ingeniero de Sistemas, Universidad Cooperativa de Colombia. Analista de Sistemas, Cotrafa Cooperativa Financiera. Medellín, Colombia jfacevedoo@unal.edu.co

***Ingeniero de Sistemas e Informática e integrante del grupo de investigación en Lenguajes Computacionales, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín, Colombia. damorenon@unal.edu.co

PREDICATE-LOGIC-BASED REPRESENTATION OF SEMANTIC RELATIONSHIPS BETWEEN GOALS AND PROBLEMS

ABSTRACT

Organizational world will always have goals to reach and obstacles to fight, in order to reach those goals. Identifying and representing goals and problems are previous stages in solving problems and establishing goals. These tasks are commonly made in natural language, and no formal methods are used on them. For this reason, in this paper we propose first-order-predicate-logic structures for expressing goals and problems, so we can easily analyze them and establish semantic relationships and consistency among them, making a direct translation from natural language to a phrasal formal representation. This representation leads us to assess true-or-false value of statements.

KEY WORDS: predicate-logic; problem; goal; consistency; semantic relationships; formal representation.

REPRESENTAÇÃO DE RELACIONAMENTOS SEMÂNTICOS ENTRE PROBLEMAS E OBJETIVOS MEDIANTE LOGICA DE PREDICADOS

RESUMO

O mundo organizacional sempre terá objetivos que atingir e se encontrará no caminho obstáculos que dificultam sua consecução. O primeiro passo para resolver problemas e estabelecer objetivos é identificá-los e representá-los, o qual quase sempre se faz por meio da linguagem natural, evidenciando a carência de métodos formais para a proposta de seus enunciados. Por isso, neste artigo propõem-se estruturas para expressar objetivos e problemas, de maneira que se facilite sua análise e possam ser estabelecidos relacionamentos semânticos e de consistência entre eles, empregando lógica de predicados, já que este mecanismo permite uma tradução direta desde linguagem natural para uma representação formal de frases para constatar a veracidade ou falsidade do enunciado.

PALAVRAS-CÓDIGO: lógica de predicados; problema; objetivo; consistência; relacionamentos semânticos; representação formal.

1. INTRODUCCIÓN

Las organizaciones tienen propósitos que cumplir y en ello se basa su existencia. Sin embargo, en la búsqueda de sus metas se pueden tropezar con ciertos problemas que, de acuerdo con su contexto, no siempre son fáciles de identificar ni de plantear, ya que no se definen estructuras sintácticas formales

para redactar sus enunciados (Vargas, 2010). Así, cualquier persona que realice esta tarea (por lo menos en los campos de la gerencia organizacional y la ingeniería de software) acude al siempre subjetivo y ambiguo lenguaje natural. Si la experiencia de quien define los problemas y objetivos no es lo suficientemente vasta, se pueden cometer errores de consistencia en la realización de esta tarea.



En algunos trabajos que se revisan en este artículo se proponen diversas formas de enunciar problemas y objetivos. Por ejemplo, en el dominio de la gerencia organizacional, Practical Concepts Inc. (1971, 1979), en su metodología del marco lógico, propone una relación en la cual un problema es una situación con connotación negativa que, al cambiarla a positiva, se vuelve un objetivo. En Vargas (2010) se plantean estructuras sintácticas que permiten enunciar objetivos organizacionales y relacionarlos con los problemas que los afectan, en una variación de la metodología del marco lógico.

Rittel y Webber (1973), López (1989) y Garrett (1998) plantean que si un problema tiene una solución genérica, se habla de un problema cerrado, mientras que si la posee para un solo contexto en particular, se habla de un problema abierto. También, en Navarro *et al.* (2000) se tratan ciertas reglas que permiten plantear objetivos para definir el propósito de un curso académico. En el campo de la Ingeniería de Software, uno de los pocos métodos de desarrollo que le da importancia a la identificación de problemas y objetivos a la hora de efectuar la captación de las necesidades de un interesado es el UNC-Method que proponen Zapata y Arango (2009), donde estos enunciados permiten identificar los requisitos de la aplicación por desarrollar. En Lamsweerde (2000, 2001) se plantea que los objetivos son metas del sistema en cuestión y se proponen varias maneras de clasificarlos, se argumenta la importancia de realizar la especificación de requisitos basada en dichos objetivos y se propone un método de validación mediante lógica de predicados. Esta lógica es un método para la demostración formal de teoremas por medio de cierto procesamiento y abstracción de unidades mínimas que se le aplican al lenguaje natural para catalogarlas como verdaderas o falsas.

Salvo Lamsweerde (2000 y 2001) y Vargas (2010), ninguno de los autores que se mencionan utiliza estructuras para plantear objetivos o problemas que demuestren la importancia de darle un trato cada vez más controlado y menos subjetivo a

este tipo de enunciados en sus diferentes contextos de aplicación.

Por las razones anotadas, y como complemento al trabajo de Vargas (2010), en este artículo se propone una representación formal de enunciados de problemas y de objetivos, por medio de una herramienta comúnmente empleada en el análisis semántico del lenguaje natural como es la lógica de predicados. Con el uso de este tipo de lógica, se pretende dotar a las estructuras sintácticas, ya definidas para los objetivos y los problemas, de la semántica necesaria para menguar las inconsistencias que aún subsisten entre ellas.

Este artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta el marco teórico donde se realiza una revisión general de los trabajos que definen y tratan con problemas, objetivos o lógica de predicados en sus dominios; en la sección 3 se presentan los antecedentes, en donde se revisan las soluciones que se le dan, en los diferentes dominios, al planteamiento de problemas, de objetivos y de la lógica de predicados; en la sección 4 se propone la representación de enunciados de problemas y objetivos mediante lógica de predicados, que entrega semántica e inferencia a las estructuras sintácticas que se definen para estos elementos. Finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Problemas

Según Kepner y Tregoe (1997), cuando se presenta una condición de desequilibrio en los procesos de un sistema, se dice que se tiene un problema. Además, su impacto debe ser lo suficientemente significativo como para que intervenga un analista. En el mundo de la gerencia organizacional, Practical Concepts Inc (1971, 1979) proponen el marco lógico, una metodología que expone que un problema no debe comunicar la carencia de algo

sino una situación negativa que descubra las fallas de ese algo. Vargas (2010) discute que los problemas son situaciones en las que se tiende a la búsqueda de una solución.

En matemáticas, Castro (1991) plantea que un problema es un enunciado que contiene datos conocidos y un proceso que permite alcanzar una meta. Rittel y Webber (1973) y López (1989) discriminan los problemas en dos clases: los cerrados, que se definen como aquellos en los que no hay datos imprecisos y tienen un determinado algoritmo de resolución, y los de tipo abierto que, al contrario de los anteriores, poseen al menos una respuesta por medio del pensamiento productivo. Garrett (1998) tiene un punto de vista diferente sobre esta clasificación, puesto que define los problemas cerrados como esas circunstancias de las que se tiene la certeza de llegar a una o muchas soluciones pero todas igualmente válidas, mientras que de los abiertos no se tiene dicha certeza. Garrett (1998) aclara esta situación presentando un ejemplo de enunciado para cada tipo de problema: cerrado (¿qué cantidad de alfombra se necesita para cubrir una habitación?) y abierto (¿qué calidad de alfombra se debe colocar en una habitación?). En el primer caso, el cálculo del área puede suministrar una respuesta adecuada al problema, en tanto que para el segundo problema habría tantas consideraciones como expertos que traten de solucionar el problema.

2.2 Objetivos

Por objetivos, Vargas (2010) propone las metas o logros que se deben alcanzar en un tiempo determinado, tomando en consideración los recursos con los que se cuenta. Sin embargo, dependiendo del contexto al que se estén aplicando, se pueden utilizar y representar de muchas maneras. En el ámbito de la gerencia organizacional, Kepner y Tregoe (1997) proponen que, según su respectivo contexto, un objetivo se compone de elementos que enuncian un estado al que se debe llegar después de tomar una serie de decisiones. En Practical Concepts Inc. (1971,

1979) se propone, en la metodología del marco lógico, que un objetivo es una situación positiva no muy lejana que se alcanza con la resolución de los problemas. En el campo académico, Navarro *et al.* (2000) hablan de objetivos didácticos como aquellos que exponen lo que el alumno “debe ser capaz” de realizar después de superar el curso en cuestión, es decir, poder entender lo que no entendía, además de presentar niveles de concreción, en donde según el verbo y los complementos que posea, son generales o específicos.

En el contexto de la ingeniería de software, debido a la necesidad de captar de una manera más completa las necesidades del interesado, en el método de desarrollo UNC-Method (Zapata y Arango, 2009), los objetivos de una organización (representados en diagramas) son piezas fundamentales para dicho cometido, pues al hacerles paulatinas derivaciones se pueden obtener subobjetivos hasta llegar a las expectativas y requisitos del interesado. Lamsweerde (2000, 2001) define un objetivo como una meta que el sistema en consideración debe alcanzar. De acuerdo con su nivel de abstracción, se pueden clasificar en objetivos de alto nivel o estratégicos, de bajo nivel o técnicos; funcionales, que corresponden al servicio que prestan, y no funcionales, que se asocian con la calidad de dicho servicio. El trabajo con objetivos es importante para evitar la información irrelevante, separando la estable de la volátil, y para explicarle al interesado de manera no ambigua los requisitos.

2.3 Lógica de predicados

Para Heck y May (2006), Friedrich Ludwig Gottlob Frege se considera el padre de la lógica de predicados, con su obra “Conceptografía” (*Begriffsschrift*), en la cual se fundamentan las bases de la lógica matemática moderna, iniciando una nueva era en la lógica. Este tipo de lógica no sufría cambios desde Aristóteles, con la introducción de una nueva sintaxis, que incluía los llamados cuantificadores («para todo» o «para algún caso de»). Igualmente,



estos autores destacan las valiosas contribuciones de Frege a la filosofía del lenguaje, pues, con sus orígenes en la matemática y la geometría, abordó la importancia de una lógica formal, lo que finalmente lo condujo a sus contribuciones más destacadas en el estudio del lenguaje. Estudiando estas contribuciones, Heck y May (2006) se adentran en la definición de predicados para Frege, que se pueden asimilar con funciones, que constituyen proposiciones para los conceptos. Así, los predicados permiten delimitar los conjuntos, al establecer los valores para los cuales las proposiciones son verdaderas.

Según García (2003), en la lógica de predicados se parte de elementos básicos como las frases declarativas simples o proposiciones (que se pueden asimilar a predicados), que no son más que los elementos que componen una frase. Los predicados constituyen, por sí solos, unidades de comunicación de conocimiento y se pueden considerar verdaderos o falsos.

Para Frege, existen semejanzas entre los predicados del lenguaje natural y los predicados lógicos, en las palabras que denotan propiedades o cualidades como 'rojo', 'caliente', 'veloz', etc., ya que éstas son predicados gramaticales y también predicados lógicos de una posición o de un argumento. Estas características se afirman de un solo sujeto. Las diferencias que realmente existen se evidencian en términos tales como 'gato', 'león' u otros que son sustantivos comunes, pero que en lógica en ningún caso son nombres, sino predicados. La diferencia se acentúa más con palabras como 'hermano', 'cuñado' o 'cabeza' que el lenguaje de la lógica de predicados interpreta como predicados de dos posiciones o predicados relacionales. La lógica de predicados, llamada también lógica cuantificacional, comienza distinguiendo dos clases de términos: los que representan individuos (gramaticalmente "sujetos") y los que representan propiedades (gramaticalmente "predicados"). En la lógica se denominan argumentos y predicados, respectivamente (García, 2003).

2.4 Convenciones del análisis sintáctico

El trabajo de Vargas (2010) incluye las definiciones, en el nivel sintáctico, de las estructuras que posibilitan el planteamiento de problemas y objetivos, además de las relaciones que se tienen entre unos y otros. Las abreviaturas que se emplean en dicho trabajo son las siguientes: O=Oración que expresa un objetivo, P=Oración que expresa un problema, V=Verbo, V1=Verbo, V2=Verbo, Ad=Adjetivo, Ad1=Adjetivo, Ad2=Adjetivo, SN=Sintagma Nominal, SN1=Sintagma Nominal, SN2=Sintagma Nominal, Adv=Adverbio, Adv1=Adverbio, Adv2=Adverbio, S=Sustantivo, C=Conjunción.

3. ANTECEDENTES

3.1 Planteamiento de enunciados de problemas

Carpenter (1985) probó que las variables lingüísticas (sintácticas y semánticas) son elementos importantes para comprender la estructura y el enunciado de un problema, por ejemplo, el número de palabras, la secuencia de la información y una palabra clave que permita inferir la ejecución de una operación. Siguiendo en el ámbito de la gerencia organizacional, a pesar de la importancia que tienen para el desarrollo de proyectos, ni en marco lógico ni en Kepner-Tregoe se logra llegar a una manera "estándar" que controle la sintaxis del planteamiento de los enunciados de problemas, dejando dicha tarea a la pura intuición del analista, dando cabida a posibles ambigüedades o interpretaciones erróneas de otros lectores. En Vargas (2010) se propone el uso de ciertas estructuras sintácticas en procura de plantear un problema como una situación negativa, basándose en la categoría gramatical de cada componente del respectivo enunciado; sin embargo, su representación no es lo suficientemente formal como para constatar, mediante inferencia, su veracidad o falsedad, lo que puede conducir a ambigüedades

en su planteamiento. En Muto-Humphrey (2007) se utiliza una estructura situación-problema-observación-solución-evaluación que, con algo de análisis sintáctico, permite inferir los problemas y cualquier tipo de situaciones de un discurso. Para ejemplificar las estructuras sintácticas que se emplean, presenta las siguientes frases: “las mil heridas de Fortunato las transmití lo mejor que pude” y “pero cuando se atrevió a insultar”. Así, según Muto-Humphrey (2007), la segunda estructura es un problema pues se inicia con “pero”, que induce al lector a pensar en que algo ocurre, y “cuando”, que establece el momento en que se da la situación. Sin embargo, pese a emplear palabras como pistas para establecer la situación problemática, la ambigüedad se presenta nuevamente, pues se podría tener una situación positiva (no necesariamente problemática) que se inicie con esas palabras, como por ejemplo: “pero cuando se recuperó”. En tal caso, el uso de las estructuras sintácticas se debería complementar con la semántica adecuada que permita evaluar la presencia de un problema.

3.2 Planteamiento de enunciados de objetivos

En el método de gerencia organizacional de Kepner y Tregoe (1997) se requiere que un objetivo plantee de una manera clara y concisa los aspectos para alcanzar, además de la definición del lugar y el tiempo en los que se deben lograr. Esto se consigue después de llevar a cabo las diversas etapas de análisis sobre determinada decisión que se deba tomar. Por otro lado, en Practical Concepts Inc. (1971, 1979), aplicando la metodología del marco lógico, estructuran un árbol de objetivos donde cada situación negativa identificada previamente en un árbol de problemas se traduce en una positiva, convirtiendo así el problema principal reconocido en el objetivo central del proyecto que se esté analizando. Sin embargo, en ninguno de estos trabajos se emplean métodos formales que permitan analizar la forma lógica y semántica de un enunciado para poder

identificarlo como un objetivo. En Vargas (2010), similar a la forma como se analizó en la sección 3.1, la propuesta para enunciar objetivos tampoco permite llevar a cabo un análisis más formal de ellos.

Navarro *et al.* (2000), en el ámbito de la educación, plantean que los enunciados de objetivos deben presentar en su estructura un verbo que indique el comportamiento con el cual el alumno expresa lo entendido y complementos que señalen el tema sobre el que se esperan resultados. En este mismo campo, Bloom, Bertram y Krathwohl (1956) efectúan una clasificación de verbos para plantear enunciados de objetivos. Antón y Potts (1998) y Zapata, Lezcano y Tamayo (2007) también llevan a cabo la lista de ciertos verbos categorizados para enunciar objetivos para permitir, en el campo de la ingeniería de software, realizar de manera semiautomática un diagrama que integra los objetivos de una organización con los de la aplicación que solucionará los problemas posibles del dominio. Sin embargo, a pesar de todo, los trabajos mencionados tampoco definen claramente una estructura para plantear objetivos que incluya la sintaxis y la semántica, de forma que se puedan solucionar las ambigüedades.

Lamsweerde (2000, 2001) utiliza el modelado y especificación de objetivos para soportar el razonamiento que se basa en esos objetivos para hacer la obtención de requisitos. Lo interesante en ese trabajo es el intento por realizar un planteamiento de objetivos en lógica de predicados con el propósito de validar y verificar si las especificaciones y requisitos son suficientes para los objetivos identificados. Sin embargo, ese trabajo no aborda los vínculos sintácticos y semánticos que permiten establecer relaciones de consistencia entre el enunciado de un objetivo y el enunciado de un problema.

3.3 Planteamiento de lógica de predicados

La identificación de formas lógicas de Rus (2002) es un formalismo basado en lógica de



predicados cuya meta es obtener una representación semántica del lenguaje natural. Así, a partir de un texto en lenguaje natural, se puede generar una representación que se encuentra entre el nivel sintáctico y el semántico. La base fundamental del formalismo es la lógica de predicados de primer orden, de tal forma que a cada palabra que conforma el texto se le asigna un predicado. Además, los predicados pueden tener varios argumentos y, de esta manera, se evidencia la relación que posee el predicado con otros elementos de la frase. La forma de mantener la sencillez del modelo implica ciertas simplificaciones sobre lo que se desea representar, tales como el no uso de género, número, tiempo, determinante, negación y verbo auxiliar.

Martínez, Montejo y García (2007), usando la lógica de predicados, representan de forma lógica una página HTML. Cada etiqueta HTML se representa mediante un predicado y cada ocurrencia de esa etiqueta se identifica por medio de una constante que es el primer argumento del predicado equivalente. Cada atributo HTML se representa mediante, al menos, dos predicados: uno representa el atributo y otro el valor que toma. La constante que representa a la etiqueta de la cual depende ese atributo identifica el atributo, junto con su nombre. El texto que contienen las etiquetas se representa con el predicado “text”, cuyo identificador corresponde al identificador de la etiqueta HTML que le contiene.

Los dos proyectos mencionados, si bien se aplican a lenguaje natural o a páginas web, no permiten diferenciar las estructuras de los objetivos y los problemas y, menos aún, establecer las relaciones que existen entre ellos. Sin embargo, permiten establecer la lógica de predicados como un mecanismo para el tratamiento del lenguaje natural o controlado, con el fin de posibilitar los mecanismos de inferencia, los cuales pueden facilitar la representación formal de los problemas y objetivos, además de sus relaciones.

4. REPRESENTACIÓN FORMAL DE PROBLEMAS Y OBJETIVOS EN LÓGICA DE PREDICADOS

En esta sección se propone una representación formal de problemas y de objetivos mediante lógica de predicados, que facilite el establecimiento de relaciones semánticas en la definición de objetivos y problemas. Se busca, también, establecer la consistencia entre dichos enunciados, partiendo de las estructuras sintácticas que plantea Vargas (2010). Se seleccionaron estas estructuras porque dejan ver las posibles relaciones sintácticas entre las palabras que expresan un problema y un objetivo organizacional (teniendo en cuenta la teoría expuesta en la metodología del marco lógico, en la cual un objetivo es una situación positiva cuya negación representa un problema). La representación formal podría simplificar los enunciados, al permitir las negaciones parciales de diferentes elementos de las frases para pasar de objetivos a problemas y viceversa. De esta manera, se podría utilizar la lógica de predicados como un mecanismo de inferencia para el “cálculo” de problemas a partir de objetivos y viceversa, además de la desambiguación que se podría aplicar a dichos enunciados.

Como se puede concluir de las secciones previas, el factor común de los trabajos analizados es la falta de inclusión de relaciones semánticas a la hora de plantear un problema u objetivo identificado. Esto se evidencia en la carencia de propuestas que puedan ligar los objetivos con los problemas, dejando siempre este proceso al libre albedrío de quien realiza el análisis. Además, se nota una confusión marcada entre los verbos que se emplean para plantear objetivos, pues varios de ellos se podrían considerar “operaciones”. Por ello, autores como Antón y Potts (1998) o Zapata, Lezcano y Tamayo (2007) distinguen un conjunto de verbos que denotan ‘logro’ y no una operación o tarea para ejecutar, los cuales utilizan para empezar la redacción del enunciado de un objetivo. Estas diferencias son las que dificultan el establecimiento de un “puente” semántico entre ellos, que permita

definir y plantear el enunciado de un problema de manera simple y consistente, a partir del cambio en el carácter lógico del significado de un objetivo y viceversa, tal y como se muestra en la tabla 1.

La traducción, desde el lenguaje natural del enunciado del objetivo y el problema que lo afecta, hacia el lenguaje formal es la siguiente:

- En la primera línea se plantea el objetivo, en donde 'x' representa la variable de estado y 'y' el sujeto paciente. De este modo, es cierto que *existe un modo (a tiempo) para el cual se deben entregar todas las muestras*. Al adicionarle el verbo que denota logro, como los que se proponen en Antón y Potts (1998) o en Zapata, Lezcano y Tamayo (2007), se obtiene la situación positiva; luego que *las muestras se logren entregar a tiempo* es el objetivo que el sujeto agente que debe entregarlas (el cual no se encuentra explícito en este enunciado) debe alcanzar.
- En la segunda línea se plantea la transición de la situación positiva a la negativa, la cual se efectúa con la negación de la primera, como se indica en Practical Concepts Inc. (1971, 1979) en el método del marco lógico. La negación lógica se puede realizar en cualquiera de los dos predicados en cuestión, mas nunca en ambos simultáneamente, ya que la doble negación

significa una afirmación. Esto es lo que representa la disyunción "o". Luego, no es cierto que *se logren las muestras a tiempo* o es cierto que *las muestras se entregan a destiempo* representa el problema para el sujeto que debe entregarlas. Nótese que la negación lógica es la única forma de consistencia entre objetivos y problemas que se analiza en este artículo. Existen otras formas adicionales, que se plantean en el trabajo futuro.

- En la tercera línea se concluye, formalmente, la situación problemática que resulta de realizar la negación anterior, cuya representación varía según el predicado al que se le aplique el operador de negación (parte del predicado que expresa la acción principal de la oración) el cual le imprime el carácter negativo lógico que requiere este tipo de enunciados. Así, *existe un modo establecido para el cual no se están entregando las muestras* implica que el sujeto que debe entregarlas no logra hacerlo del modo establecido para ello.

Cabe notar las semejanzas semánticas y sintácticas entre ambos enunciados, ya que sus representaciones comparten los mismos predicados que le dan sentido gramatical a la oración, a saber, $A_tiempo(x)$, $Muestra(y)$ y $Entrega(y,x)$, demostrándose, de manera formal, las relaciones semánticas y de consistencia

Tabla 1. Una forma inicial de obtener un problema tomando como base el cambio del carácter lógico de un objetivo

<p><u>OBJETIVO IDENTIFICADO:</u></p> <p>- Lograr que se entreguen las muestras a tiempo.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • $\exists x (A_tiempo(x) \wedge \forall y (Muestra(y) \wedge Entrega(y,x))) \rightarrow Es_objetivo (Lograr,y,x)$ • $\neg Es_objetivo(Lograr,y,x) \rightarrow Es_problema(y,x)$ • $\exists x (A_tiempo(x) \wedge \forall y (Muestra(y) \wedge \neg Entrega (y,x))) \rightarrow Es_problema(y,x)$ • $\forall \exists x (\neg A_tiempo(x) \wedge \forall y (Muestra(y) \wedge Entrega (y,x))) \rightarrow Es_problema(y,x)$
<p><u>PROBLEMA OBTENIDO:</u></p> <p>-No se entregan las muestras a tiempo.</p> <p>-Las muestras se entregan a destiempo ("no a tiempo").</p>



que se pueden dar entre un objetivo y el problema que impide alcanzarlo.

A continuación, y de manera análoga, se presentan en la tabla 2 las respectivas representaciones formales de otros siete tipos de enunciados diferentes, junto con las representaciones formales para establecer las relaciones semánticas entre los objetivos y los problemas, según Vargas (2010).

Existen dos situaciones especiales en la tabla 2 que vale la pena explicar en profundidad:

- En el enunciado 4 los antecedentes son iguales para el objetivo y para el problema, a diferencia de los demás enunciados, es decir, no existe negación entre el objetivo y el problema. Si bien esto parecería una anomalía en la representación formal, la negación lógica surge en

Tabla 2. Representación formal de siete tipos de enunciados diferentes

Caso	Descripción sintáctica	Ejemplos
1	$O \rightarrow V + Ad1 + SN$ $P \rightarrow V1 + Ad2 + SN$	<p><u>Objetivo:</u> Lograr que se produzca mucha materia prima en la fábrica de telares.</p> <p><u>Problema:</u> Se produce poca (“no mucha”) materia prima en la fábrica de telares o No se produce mucha materia prima en la fábrica de telares.</p>
<p>Representación formal (semántica):</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\exists x (Fabrica(x) \wedge \forall y (Materia_Prima(y) \wedge Mucha(y) \wedge Produce(y,x))) \rightarrow Es_objetivo(Lograr,y,x)$ • $\neg Es_objetivo(Lograr,y,x) \rightarrow Es_problema(y,x)$ • $\exists x (Fabrica(x) \wedge \forall y (Materia_Prima(y) \wedge \neg Mucha(y) \wedge Produce(y,x))) \rightarrow Es_problema(y,x)$ • $\forall \exists x (Fabrica(x) \wedge \forall y (Materia_Prima(y) \wedge Mucha(y) \wedge \neg Produce(y,x))) \rightarrow Es_problema(y,x)$ 		
2	$O \rightarrow V + C + V1 + SN + Adv$ $P \rightarrow Adv1 + V1 + SN + Adv$	<p><u>Objetivo:</u> Lograr que se realicen las actualizaciones correctamente.</p> <p><u>Problema:</u> No se realizan las actualizaciones correctamente o Se realizan las actualizaciones incorrectamente (“no correctamente”).</p>
<p>Representación formal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\exists x (Correcto(x) \wedge \forall y (Actualización(y) \wedge Realiza(y,x))) \rightarrow Es_objetivo(Lograr,y,x)$ • $\neg Es_objetivo(Lograr,y,x) \rightarrow Es_problema(y,x)$ • $\exists x (Correcto(x) \wedge \forall y (Actualización(y) \wedge \neg Realiza(y,x))) \rightarrow Es_problema(y,x)$ • $\forall \exists x (\neg Correcto(x) \wedge \forall y (Actualización(y) \wedge Realiza(y,x))) \rightarrow Es_problema(y,x)$ 		
3	$O \rightarrow V + C + V1 + SN$ $P \rightarrow Adv + V1 + SN$	<p><u>Objetivo:</u> Lograr que se desarrollen mecanismos de control a documentos</p> <p><u>Problema:</u> No se desarrollan mecanismos de control a documentos</p>
<p>Representación formal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\exists x (Mecanismo_de_control(x) \wedge \forall y (Documento(y) \wedge Desarrolla(x,y))) \rightarrow Es_objetivo(Lograr,x,y)$ • $\neg Es_objetivo(Lograr,x,y) \rightarrow Es_problema(x,y)$ • $\exists x (Mecanismo_de_control(x) \wedge \forall y (Documento(y) \wedge \neg Desarrolla(x,y))) \rightarrow Es_problema(x,y)$ 		
4	$O \rightarrow V + SN$ $P \rightarrow V1 + Ad + SN$	<p><u>Objetivo:</u> Reducir la basura que se acumula en la calles.</p> <p><u>Problema:</u> Se acumula basura en la calles.</p>
<p>Representación formal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\exists x (Calle(x) \wedge \forall y (Basura(y) \wedge Acumula(y,x))) \rightarrow Es_objetivo(Reducir,y,x)$ • $\neg Es_objetivo(Reducir,y,x) \rightarrow Es_problema(y,x)$ • $\exists x (Calle(x) \wedge \forall y (Basura(y) \wedge Acumula(y,x))) \rightarrow Es_problema(y,x)$ 		

→

Caso	Descripción sintáctica	Ejemplos
5	$O \rightarrow V+C+SN1+V1+Adv+SN2$ $P \rightarrow SN1+V1+Adv+SN2$	<p><u>Objetivo:</u> Lograr que la secretaria realice bien sus funciones</p> <p><u>Problema:</u> La secretaria realiza mal (“no bien”) sus funciones o La secretaria no realiza bien sus funciones</p>
<p>Representación formal:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\exists x (\text{Secretaria}(x) \wedge \forall y (\text{Funcion}(y) \wedge \text{Bien}(y) \wedge \text{Realiza}(x,y))) \rightarrow \text{Es_objetivo}(\text{Lograr},x,y)$ $\neg \text{Es_objetivo}(\text{Lograr},x,y) \rightarrow \text{Es_problema}(x,y)$ $\exists x(\text{Secretaria}(x) \wedge \forall y (\text{Funcion}(y) \wedge \neg \text{Bien}(y) \wedge \text{Realiza}(x,y))) \rightarrow \text{Es_problema}(x,y)$ $\forall \exists x(\text{Secretaria}(x) \wedge \forall y (\text{Funcion}(y) \wedge \text{Bien}(y) \wedge \neg \text{Realiza}(x,y))) \rightarrow \text{Es_problema}(x,y)$ 		
6	$O \rightarrow V+C+SN1+Adv+V1+SN2$ $P \rightarrow SN1+V1+SN2$	<p><u>Objetivo:</u> Lograr que los equipos de cómputo no fallen en la red.</p> <p><u>Problema:</u> Los equipos de cómputo fallan en la red.</p> <p><u>Objetivo:</u> Lograr que los costos no sobrepasen el presupuesto.</p> <p><u>Problema:</u> Los costos sobrepasan el presupuesto.</p> <p><u>Objetivo:</u> Lograr que la gestión de documentos no retrase los envíos.</p> <p><u>Problema:</u> La gestión de documentos retrasa los envíos.</p>
<p>Representación formal:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\exists x (\text{Equipo}(x) \wedge \forall y (\text{Red}(y) \wedge \neg \text{Falla}(x,y))) \rightarrow \text{Es_objetivo}(\text{Lograr},x,y)$ $\neg \text{Es_objetivo}(\text{Lograr},x,y) \rightarrow \text{Es_problema}(x,y)$ $\exists x (\text{Equipo}(x) \wedge \forall y (\text{Red}(y) \wedge \text{Falla}(x,y))) \rightarrow \text{Es_problema}(x,y)$ $\exists x (\text{Presupuesto}(x) \wedge \forall y (\text{Costo}(y) \wedge \neg \text{Sobrepase}(y,x))) \rightarrow \text{Es_objetivo}(\text{Lograr},y,x)$ $\neg \text{Es_objetivo}(\text{Lograr},y,x) \rightarrow \text{Es_problema}(y,x)$ $\exists x (\text{Presupuesto}(x) \wedge \forall y (\text{Costo}(y) \wedge \text{Sobrepase}(x,y))) \rightarrow \text{Es_problema}(y,x)$ $\exists x (\text{Envio}(x) \wedge \forall y (\text{Documento}(y) \wedge \text{Gestiona}(y) \wedge \neg \text{Retrasa}(y,x))) \rightarrow \text{Es_objetivo}(\text{Lograr},y,x)$ $\neg \text{Es_objetivo}(\text{Lograr},y,x) \rightarrow \text{Es_problema}(y,x)$ $\exists x (\text{Envio}(x) \wedge \forall y (\text{Documento}(y) \wedge \text{Gestiona}(y) \wedge \text{Retrasa}(y,x))) \rightarrow \text{Es_problema}(y,x)$ 		
7	$O \rightarrow V1+C+V2+Ad+SN$ $P \rightarrow Adv+V+Ad+SN$	<p><u>Objetivo:</u> Lograr que haya mucha continuidad escolar en educación superior.</p> <p><u>Problema:</u> hay poca (“no mucha”) continuidad escolar en la educación superior o No hay mucha continuidad escolar en educación superior.</p>
<p>Representación formal:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\exists x (\text{Continuidad_escolar}(x) \wedge \text{Mucha}(x) \wedge \forall y (\text{Educacion_superior}(y) \wedge \text{Hay}(x,y))) \rightarrow \text{Es_objetivo}(\text{Lograr},x,y)$ $\neg \text{Es_objetivo}(\text{Lograr},x,y) \rightarrow \text{Es_problema}(x,y)$ $\exists x (\text{Continuidad_escolar}(x) \wedge \neg \text{Mucha}(x) \wedge \forall y (\text{Educacion_superior}(y) \wedge \text{Hay}(x,y)))$ $\forall \exists x (\text{Continuidad}(x) \wedge \text{Mucha}(x) \wedge \forall y (\text{Educacion_superior}(y) \wedge \neg \text{Hay}(x,y))) \rightarrow \text{Es_problema}(x,y)$ 		

el carácter del verbo de logro que acompaña el enunciado del objetivo, en este caso “reducir”, el cual se aplica sobre una situación que, en sí, posee ya un carácter negativo “la basura que se acumula en la calle”. Por ello, el objetivo completo (incluyendo el verbo de logro) posee un enunciado positivo, que se niega eliminando el verbo de logro para generar una situación negativa. Por ello, la negación no se

asigna explícitamente a ninguno de los predicados que contiene el enunciado para generar el problema.

- En el enunciado 6, la negación lógica se aplica directamente sobre el objetivo y no sobre el problema, lo que parecería ser otra anomalía en la representación formal. Esta situación se presenta porque el verbo que denota la acción del enunciado (“fallar”) ya posee un carácter



negativo y se debe negar para obtener la situación positiva que requiere el objetivo. Así, la negación de un enunciado ya negado hace que la negación lógica desaparezca en el enunciado del problema.

En cualquiera de los casos, se debe presentar algún elemento de la frase que aporte la situación negativa de la frase. Ese elemento puede ser un adverbio (“a destiempo”), un adjetivo (“poco”), un sustantivo (“basura”), un verbo de acción (“fallar”), un verbo de logro (“reducir”) o simplemente el adverbio negativo más conocido (“no”). La forma en que se alterna este elemento con los demás de la frase define la manera como se debería hacer la negación, de forma tal que la situación positiva se torne negativa y se puedan definir los problemas para cada enunciado. De esta manera, la lógica de predicados constituye una representación que posibilita el control sobre los elementos de la frase para definir en cuál de ellos se puede realizar una negación, dependiendo de los demás elementos que forman la frase. Así, se suministra una relación semántica que permite establecer los problemas, los objetivos y las relaciones entre ellos.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo, con la representación formal que se propone para los objetivos, se logra tener una relación semántica directa con los problemas, lo cual permite crear, posteriormente, estrategias de solución. La creación de objetivos se hace de una forma lógica y relacionada con las metas que se desean alcanzar, lo cual permite ejecutar un análisis y verificar, desde su planteamiento, si se pueden alcanzar o no. La representación por medio de lógica de predicados permite tener una visión semántica de los problemas y una relación directa (con el uso de la negación lógica) con cada una de las frases declarativas simples o proposiciones que componen los objetivos para, de esta manera, saber cuál de sus elementos permite denotar el

problema. La representación con lógica de predicados tiene como meta lograr que cada uno de los predicados se pueda analizar por separado, pero siendo siempre parte de una estructura sintáctica/semántica más elaborada. Cada uno de los predicados adquiere un valor lógico de verdadero o falso, gracias al cual es más fácil medirlo, pues uno de los principales obstáculos en el momento de representar los objetivos es la forma de controlarlos y medirlos, para después convertirlos en formas lógicas. Además, la representación formal contribuye a establecer la manera de relacionar los objetivos con los problemas (y viceversa) para cada una de las estructuras que se definen.

Como trabajo futuro para ejecutar en relación con este tema se encuentran las siguientes líneas de investigación:

- Desarrollar una metodología que se valga del tratamiento formal propuesto en este artículo para establecer relaciones de consistencia entre los objetivos que se plantean en alguno de los diagramas de objetivos (I*, KAOS y árbol de objetivos, entre otros) y alguno de los diagramas que representan los problemas (causa-efecto o árbol de problemas).
- Desarrollar posibles aplicaciones de este tratamiento formal, de tal manera que se pueda establecer un planteamiento estándar de los problemas y objetivos a la hora de llevar a cabo la obtención de requisitos para desarrollo de software. Ese tratamiento formal también sería útil en el planteamiento de objetivos y situaciones problemáticas en áreas diferentes al desarrollo de software, como el análisis organizacional, en el cual métodos como Kepner-Tregoe o marco lógico pueden tener más cabida.
- Proponer otra manera de establecer relaciones semánticas, también de manera formal, cuando al realizar la negación parcial de un enunciado se produzcan cambios “forzados” en los predicados que le dan el sentido gramatical a dicho enunciado. Incluso, podría existir una

aproximación en el nivel de relaciones pragmáticas, pues es difícil relacionar objetivos y problemas cuando ninguna de las palabras que integran el enunciado del uno hace parte de las palabras del enunciado del otro.

- Definir métricas de evaluación para la relación semántica y la consistencia entre los objetivos y los problemas.

REFERENCIAS

- Antón, A. and Potts, C. (1998). *The use of goals to surface requirements for evolving system*. Proceedings of the 20th International Conference on Software Engineering, Kyoto, Japan (19-25 April), pp. 157-166.
- Bloom, B.; Bertram, B. and Krathwohl, D. *Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals, Handbook I: the cognitive domain*. New York: McKay, 1956.
- Carpenter, T. P. *Learning to add and subtract: An exercise in problem solving*. In: E. A. Silver (ed.). *Teaching and learning mathematical problem solving: Multiple research perspectives*. Hillsdale: Erlbaum, 1985. pp. 17-40.
- Castro, E. 1991. "Resolución de problemas aritméticos de comparación multiplicativa". *Revista de la Sociedad Andaluza de Educación Matemática "Thales"*, No. 20, pp. 105-106.
- García, O. A. *Introducción a la lógica*. Lima: UNMSM, 2003. 276 p.
- Garrett, R. M. (1998). "Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el currículo de ciencias". *Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, vol. 6, No. 3, pp. 224-230.
- Heck, R. and May, R. *Frege's contribution to philosophy of language*. In: E. Lepore and B. Smith (eds.). *The Oxford handbook of philosophy of language*. Oxford: Oxford University Press, 2006, pp. 3-39.
- Kepner, C. and Tregoe, B. *The new rational manager: An updated edition for a new world*. Princeton: Princeton Research Press, 1997. 242 p.
- Lamsweerde, A. (2000). *Requirements engineering in the year 2000: a research perspective*. Proceedings of the 22nd International Conference on Software Engineering, Limerick (Ireland), pp. 5-19.
- Lamsweerde, A. van (2001). *Goal-oriented requirements engineering: A guided tour*. 5th IEEE International Symposium on Requirements Engineering, Toronto (27-31 August), pp. 249-263.
- López, F. (1989). "Dependencia-independencia de campo y educación científica". *Revista de Educación*, No. 289, pp. 235-258.
- Martínez, F.; Montejo, A. y García, M. A. (2007). "Representación formal de la estructura lógica de sitios web, y su aplicación a un navegador web multilingüe basado en diálogo". *Sociedad Española para el Procesamiento del Lenguaje Natural*, No. 38 (abril), pp. 17-26.
- Muto-Humphrey, K. (2007). The use of textual patterns in reading. *Journal of School of Foreign Languages*, No. 33, pp. 19-41.
- Navarro, J.; Valero-García, M.; Sánchez, F. y Tubella, J. (2000). *Formulación de los objetivos de una asignatura en tres niveles jerárquicos*. Memorias de las VI Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática JENUI 2000, Alcalá (España), pp. 457-462.
- Practical Concepts Inc. 1971. *The logical framework-approach and training materials developed for the U.S. Agency for International Development*. Disponible en: <http://www.dec.org/pdf_docs/PNABI452.pdf>
- Practical Concepts Inc. *The logical framework: A manager's guide to a scientific approach to design evaluation*. New York: Practical Concepts, 1979.
- Rittel, H. W. J. and Webber, M. M. (1973). "Dilemmas in a general theory of planning". *Policy Sciences*, vol. 4, No. 2, pp. 155-169.
- Rus, V. *Logic form for WordNet glosses and application to question answering*. Ph.D. Thesis (Computer Science & Engineering). Computer Science Department, School of Engineering, Southern Methodist University, Dallas, Texas, 2002.
- Vargas, F. *Método para establecer la consistencia de los problemas en el diagrama causa-efecto con el diagrama de objetivos de KAOS*. Tesis de maestría (Ingeniería de Sistemas). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2010. 135 p.
- Zapata, C. M. and Arango F. (2009). "UNC-method: a problem-based software development method". *Ingeniería e Investigación*, vol. 29, No. 1 (abril), pp. 69-75.
- Zapata, C. M.; Lezcano, A. y Tamayo, P. (2007). Validación del método para la obtención automática del diagrama de objetivos desde esquemas preconceptuales. *Revista EIA*, No. 8, pp. 21-35.