

# Revisión de Creencias en Bases de Conocimiento Horn y su Complejidad Computacional

Néstor Jorge Valdez<sup>0</sup>

Marcelo A. Falappa<sup>0</sup>

<sup>0</sup> Departamento de Ciencias de la Computación, Fac. de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad Nacional de Catamarca (UNCa)

Av. Belgrano 300 - San Fernando del Valle de Catamarca  
Tel.: (03834)420900 - e-mail: njvaldez@exactas.unca.edu.ar

<sup>0</sup> Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial  
Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación, Universidad Nacional del Sur,  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
Av. Alem 1253, (B8000CPB) Bahía Blanca, Argentina  
Tel: (0291)4595135 / Fax: (0291)4595136  
e-mail: mfalappa@cs.uns.edu.ar

## Resumen

Esta línea de investigación tiene como objetivo, dentro del marco de la teoría de cambio de creencias, la profundización del estudio de los operadores de cambio múltiple donde la lógica subyacente está conformada por cláusulas Horn. Se analizan los resultados alcanzados de estos operadores a los que hemos denominado *revisión múltiple priorizada Horn: Partial Meet y Kernel* en bases de creencias. Además, se estudian otros resultados presentados sobre operadores de *revisión múltiple no-priorizada*, de manera tal de posibilitar la extensión de estos operadores también bajo fragmento Horn. Así también, nos enfocamos en los aspectos computacionales de estas construcciones, donde estudiamos el problema de la complejidad computacional que presentan estos esquemas de revisión de creencias y quedificultan lograr su tratabilidad.

**Palabras Claves** Revisión de Creencias Múltiple Horn, Bases de Creencias, Complejidad Computacional.

## 1. Contexto

Esta línea de investigación se realizará dentro del ámbito del Laboratorio de Investigación del Departamento de Ciencias de la Computación de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Catamarca. Esta investigación forma parte de las contribuciones de la tesis para la obtención del título de Doctor en Ciencias de la Computación de la Universidad Nacional del Sur por parte de uno de los autores del presente trabajo: Néstor Jorge Valdez. Así también, esta temática de estudio está asociado con el proyecto de investigación Bianual: “*Cambio de Creencias Múltiples en Sistemas Argumentativos Aplicado para Programación Lógica Rebatible*”, financiado por el programa de desarrollo científico y tecnológico de la Secretaría de Ciencia y Tecnología: Consejo de Investigación, de la Universidad Nacional de Catamarca. Periodo: 01/01/2016 al 31/12/2017.

## 2. Introducción

Un sistema de revisión de creencias constituye un marco lógico para modelar la dinámica de conocimiento, esto es, cómo modificamos nuestro estado epistémico cuando recibimos información nueva. Generalmente, la nueva información es asumida mediante una sentencia simple, como en la teoría AGM clásica [1], pero la entrada epistémica también podría presentarse a través de un conjunto de sentencias en lo que se conoce como cambio múltiple. En este contexto, existen diversos tipos de operadores de cambio, como los operadores de *cambio priorizada*, *no priorizadas*, *merging*, de *cambios selectivos*, y los operadores de *semi-revisión*, entre otros [4].

Debido a que las operaciones de cambio se llevan a cabo sobre el estado epistémico del agente, existen diferentes posibles construcciones para los distintos operadores de cambio. Dos de los modelos más comúnmente usados son sobre *conjuntos de creencias* y sobre *bases de creencias*. En los últimos años se han presentado diversos estudios que muestran un esfuerzo importante en la definición de las operaciones de contracción y revisión del estilo AGM que operan bajo lógica Horn [2, 12, 13]. El cambio de creencias bajo lógica Horn resulta importante por varias razones. En primer lugar, muchos sistemas de inteligencia artificial están expresados en lenguaje de cláusulas Horn y porque, además, han encontrado un amplio uso en bases de datos, programación lógica, sistemas de mantenimiento de la verdad, y bases de datos deductivas.

En nuestra investigación, consideramos un tipo de cambio múltiple bajo cláusulas Horn. Nos enfocamos en revisión de creencias en donde la nueva información es incorporada consistentemente en la *base de creencias*. Tratamos los operadores de cambio múltiple priorizadas, en donde se supone que las nuevas creencias deben ser plenamente

aceptadas. Otro objetivo de nuestro trabajo es abordar la complejidad computacional que presentan estos operadores de revisión de creencias con cláusulas Horn. Esto nos permitirá determinar el costo desde un punto de vista computacional de la generación de una base revisada bajo nuestros operadores con lógica Horn y demostrar que nuestros operadores son *representacionalmente factible* al manifestar un comportamiento polinomialmente aceptable.

Como principal contribución de esta investigación, caracterizamos a los operadores de revisión Horn priorizadas mediante conjuntos de postulados [11]. En cada caso, presentamos diferentes construcciones mediante técnicas de cambio parcial meet y cambio kernel. Además, tratamos el problema computacional de revisión de creencias analizando la complejidad computacional en el razonamiento de los operadores de cambio.

## 3. Línea de Investigación y Desarrollo

Esta línea de investigación considera como fuentes de información, nuestras publicaciones y aportes de investigadores realizados en la temática de operadores de revisión múltiple de la teoría de cambio de creencias bajo cláusulas Horn [9, 10, 11]. Principalmente, nuestro interés es estudiar las operaciones de cambio, en particular aquellos cambios de creencias que son inducidos a través de un conjunto (múltiple) de sentencias. Para ello, consideramos principalmente dos tipos diferentes de cambio múltiple. El primero, operadores de cambio múltiple priorizada en donde todas las nuevas creencias se supone que deben ser aceptadas, y el segundo, a operadores de mezcla (*merging*) que permite que creencias antiguas y nuevas jueguen roles simétricos dentro de un proceso de cambio. Para cada tipo de cambio, analizamos dos construcciones conocidas: una basada en kernels y otra basada en conjuntos de restos.

El término 'revisión múltiple' se utiliza para referirse a las operaciones de revisión que permite la revisión simultánea por más de una sentencia. Consideramos dos tipos de operadores directamente sin definirlos a partir de sendas operaciones de contracción. Definimos dos tipos de revisiones priorizadas, adaptadas de [4]:

- Revisión Kernel Múltiple.
- Revisión Partial Meet Múltiple.

La primera construcción de revisión múltiple por un conjunto de sentencias está basado en el concepto de un *A-inconsistent-kernels*. Aquí, se define una función de incisión que realiza un corte en cada *inconsistent-kernel*. Más precisamente, dicha función es una *función de incisión consolidada*, en el sentido de que todas las sentencias de  $A$  están protegidas y no pueden ser removidas por esta función. Esto es, *una función de incisión consolidada selecciona entre las sentencias de  $K \setminus A$  que hace  $K \cup A$  inconsistente'* [8].

La segunda construcción de revisión múltiple por un conjunto de sentencias está basado en el concepto de un *A-consistent-remainders*. En este caso, se define una función de selección que selecciona los 'mejores' *consistent-remainders*. La función es una *función de selección consolidada*, en el sentido de que todas las sentencias de  $K \cap A$  están protegidas, y ellas están incluidas en la intersección de algún conjunto de restos. Luego, *'una función de selección consolidada selecciona un subconjunto del conjunto de  $K \cup A$  cuyos elementos (todos) contienen el conjunto  $K \cap A$ '* [8].

A diferencia de la preferencia absoluta para con la nueva información implícita en el modelo AGM, podemos cambiar nuestras creencias de una manera *no priorizada*. En los operadores más conocidos sobre cambio no priorizada en conjuntos de creencias están: *credibility limited revision*, *selective revision* y *screened revision*, cada uno con sus respectivas variantes. En lo que respecta a bases de creencias los operadores sobre cambio no priorizada podemos citar los ope-

radores de cambio basados en *explicaciones* [3] y en un tipo especial de cambio no priorizada en bases de creencias llamadas *merging* [4].

Por último, estudiamos la complejidad computacional de nuestros operadores de cambio múltiple de creencias Horn. Asumimos que el lector está familiarizado con las clases de complejidad y sus notaciones. Partimos de las siguientes presuposiciones:  $P \subseteq NP$  y  $P \subseteq coNP$ . Un problema que está en  $P$  se dice que es *tratable*, mientras que un problema que está en  $NP$ ,  $NP-hard$  o  $coNP-hard$  es *intratable* (en el sentido que cualquier algoritmo de resolución podría requerir una cantidad superpolinomial de tiempo en el peor caso). Hacemos uso de las clases de complejidad superior usando oráculos.

En particular  $P^A(NP^A)$  correspondientes a las clases de problemas de decisión que son solucionados en tiempo polinomial por máquinas de Turing determinística (no determinística) usando un oráculo para  $A$  en tiempo polinomial [5]. Todos los problemas que analizamos reside en la *jerarquía polinomial*, introducida por Stockmeyer [6]. Las clases  $\Sigma_k^p$ ,  $\Pi_k^p$ , y  $\Delta_k^p$  de la jerarquía polinomial son definida por

$$\Sigma_k^p = \Pi_k^p = \Delta_k^p = P$$

y para  $k \geq 0$ ,

$$\Sigma_{k+1}^p = NP^{\Sigma_k^p}, \Pi_{k+1}^p = co \Sigma_{k+1}^p, \Delta_{k+1}^p = P_{\Sigma_k^p}.$$

Se observa que:

$$\Delta_1^p = P, \Sigma_1^p = NP \text{ y } \Pi_1^p = coNP$$

Además,  $\Sigma^p = NP^{NP}$ , es la clase de problemas solucionables en un tiempo polinomial no determinística en una máquina de Turing que usa de forma libre un oráculo para  $NP$ . La complejidad de decisión  $T * P \models Q$  (donde  $*$  es un tipo de operador de revisión,  $T$ ,  $P$  y  $Q$  son las entradas) fue estudiado por Eiter and Gottlob [7].

De allí se demuestra que, por ejemplo, en el enfoque de Dalal, el problema es de la clase  $P^{NP} [O(\log n)]$ . Esto significa que podemos decidir  $P > Q$  con  $O(\log n)$  a un  $NP$  oráculo, donde  $n$  representa el tamaño de  $T$  más  $P$  más  $Q$ . En los enfoques *basados en sintáxis* sus operadores permanecen en  $\Pi_2^P$  -hard ( $\Pi_2^P$  -complete para muchos de ellos) aún si el tamaño de  $P$  está limitado por una constante  $k$ . La complejidad de los enfoques *basados en modelos* decrece cuando el tamaño de  $P$  está limitado por una constante. La razón intuitiva para esto es que un cambio menor de  $P$  puede afectar solamente a pocos literales, ya que en este caso existen pocas alternativas para cambiar un modelo dado, desaparece la segunda fuente de complejidad. En el caso Horn, la complejidad de todos los enfoques (excepto el enfoque de Forbus) está en el primer nivel de la jerarquía polinomial, más precisamente,  $co - NP - equivalente$ . Intuitivamente, esta disminución de la complejidad se debe al hecho de que con cláusulas Horn el problema de inferencia resulta ser polinomial. Los enfoques basados en cardinalidad de Dalal y Forbus son los únicos cuya complejidad no disminuye bajo la restricción Horn. Esto se debe a que su medida basada en la cardinalidad de la proximidad entre modelos tiene un efecto perjudicial sobre las propiedades benignas de las cláusulas Horn [7].

## 4. Resultados y Objetivos Esperados

A través de esta línea de investigación se propone estudiar y definir nuevas construcciones de operadores de revisión

múltiples priorizadas y no priorizadas. Para cada nueva construcción se pretende establecer un conjunto de postulados que caractericen axiomáticamente a la operación de cambio y determinar relaciones entre las construcciones y los postulados. Permitir una eficiente implementación de estos nuevos algoritmos. Analizar a estos operadores de cambios múltiples bajo una lógica más restringida que la lógica proposicional clásica como es la *lógica Horn*. Estudiar la complejidad computacional que presentan estos operadores y determinar el costo desde un punto de vista computacional de la generación de una base revisada con estos operadores con cláusulas Horn y poder demostrar que los mismos son *representacionalmente factible*.

Por último, estos objetivos nos permitirán desarrollar nuevos procedimientos algorítmicos de cambios múltiples buscando no sólo alcanzar caracterizaciones axiomáticas sino también implementaciones computacionalmente tratables.

## 5. Formación de Recursos Humanos

El Docente-Investigador Néstor Jorge Valdez es dependiente del Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico (adherido al Programa Nacional de Incentivos a los Docentes-Investigadores) de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Catamarca, es Magister en Ciencias de la Computación egresado de la Universidad Nacional del Sur, y aspira a alcanzar el título de Doctor en Ciencias de la Computación en esta última casa de estudios.

## Referencias

- [1] Alchourrón, Gärdenfors, and Makinson. On the logic of theory change: Partial meet contraction and revision functions. *The Journal of Symbolic Logic*, 50:510–530, 1985.
- [2] Richard Booth, Thomas Meyer, and Ivan Varzinczak. Next steps in propositional horn contraction. In Boutilier, C. (Ed.), *Proceedings of the 21st International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, pages 702–707, 2009.
- [3] Falappa, Kern-Isberner, and Simari. Belief revision, explanations and defeasible reasoning. *Artificial Intelligence Journal*, 141:1–28, 2002.
- [4] Falappa, Kern-Isberner, and Simari. Prioritized and non-prioritized multiple change on belief bases. *Journal of Philosophical Logic*, ISSN 0022-3611, New York: Springer, 41:77–113, 2012.
- [5] D. S. Johnson. A catalog of complexity classes, in *Handbook of Theoretical Computer Science*. J. van Leeuwen, Ed. A-Chap 2 Elsevier Science Amsterdam 1990.
- [6] L. J. Stockmeyer. The polynomial-time hierarchy. *Theoret. Comput. Sci.* 3, pages 1–22, 1976.
- [7] Eiter T. and Gottlob G. On the complexity of propositional knowledge base revision, updates and counterfactuals. *Artificial Intelligence* 57 (1992), pages 227–270, 1992.
- [8] Valdez and Falappa. Multiple revision on horn belief bases. *XXII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, XVII Workshop Agentes y Sistemas Inteligentes (WASI), CACiC'2016*.
- [9] Valdez and Falappa. Dinámica de conocimiento: Contracción múltiple en lenguajes horn. *XIX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, XIV Workshop Agentes y Sistemas Inteligentes (WASI), CACiC'2013*, pages–, 2013.
- [10] Valdez and Falappa. Dinámica de conocimiento: Contracciones horn a partir de ordenamientos epistémicos. *42 JAIIO Jornadas Argentinas de Informáticas, ASAI 2013*, 42 JAIIO'2013, pages 206–209, 2013.
- [11] Valdez and Falappa. Implementación para bases de creencias horn de operadores de contracción múltiple. *XX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, XV Workshop Agentes y Sistemas Inteligentes (WASI), CA-CiC'2014*, 2014.
- [12] Zhiqiang Zhuang. Belief change under the horn fragment of propositional logic. *PhD thesis, School of Computer Science and Engineering, Faculty of Engineering, University of New South Wales*, 2013.
- [13] Zhiqiang Zhuang, Maurice Pagnucco, and Yan Zhang. Definability of horn revision from horn contraction. In *Proceedings of the Twenty-Third International Joint Conference on Artificial Intelligence, Beijing, China*, 2013.