

DINÁMICA DE CREENCIAS EN CONTEXTOS DE MÚLTIPLES AGENTES

Diego Letzen
Universidad Nacional de Córdoba

Resumen

El problema de la integración de información proveniente de fuentes no necesariamente consistentes entre sí, ha dado origen a un área de estudio de interés creciente relacionada no sólo con aplicaciones de bases de datos y aplicaciones de inteligencia artificial en sentido clásico, sino también con áreas nuevas como las llamadas inteligencias sociales, en alusión a contextos de interacción de agentes para la comprensión o solución de un problema. En este trabajo presentamos algunas bases tendientes a la obtención de un modelo formal de dinámica racional de creencias para múltiples agentes, que contemple sobre todo la posibilidad de situaciones con información inconsistente.

Abstract

The problem of integrating the information from non consistent sources originated a promising research field related not only with applications to database theory and artificial intelligence in a classical sense but also to the so-called social intelligence, dealing with contexts where different agents interact in order to understand or solve a problem. In this paper we discuss some basic ideas for a formal model of rational dynamics of belief for multiple agents that takes into account the possibility of situations with inconsistent information.

El problema de la lógica para contextos de múltiples agentes

En los últimos diez años, el problema de la integración de información proveniente de fuentes no necesariamente consistentes entre sí, ha dado origen a un área de estudio de interés creciente, relacionada no sólo con aplicaciones de bases de datos y aplicaciones de inteligencia artificial en sentido clásico, sino también con áreas nuevas como las llamadas inteligencias sociales, en alusión a contextos de interacción de agentes para la comprensión o solución de un problema.

En este trabajo presentamos algunas bases tendientes a la obtención de un modelo formal de dinámica racional de creencias para múltiples agentes, que contemple sobre todo la posibilidad de situaciones con información inconsistente.

El tema del desarrollo de sistemas de razonamiento es en sí mismo un problema netamente práctico e involucra el abordaje del problema central de la incerteza de la información. Los dos tipos principales de incerteza resultan de la subdeterminación y la sobredeterminación de la información. En este último caso nos encontramos con la situación de creencias inconsistentes planteado en el lenguaje de la Dinámica de Creencias.

Resulta habitual referir el estudio de los razonamientos válidos al de los conjuntos de creencias consistentes, entendiendo consistencia como compatibilidad de los elementos de este conjunto. Por supuesto que la consistencia no implica acuerdo con la realidad (la verdad de sus elementos) pero, la afirmación dual es un poco más polémica puesto que es objeto de discusión si un conjunto inconsistente de enunciados puede corresponder a una situación imaginable o, mejor aún, una situación determinada en el mundo que sea contradictoria.

En este trabajo mostraremos que en este marco, las situaciones de agentes múltiples como caso característico de sobredeterminación de la información requieren la adaptación de los modelos tradicionales, prestando especial atención al problema fundamental de la integración de múltiples fuentes de información: la posibilidad de situaciones inconsistentes. Presentaremos el esquema de los elementos que conforman un sistema de este tipo apoyado en un modelo dinámico de representación de creencias racional.

El modelo AGM de dinámica de creencias

Modelos de Revisión de Creencias como el originado a partir del trabajo conjunto de Alchourrón, Gärdenfors y Makinson¹ (conocido como paradigma AGM de revisión de creencias) nos permiten una representación adecuada del proceso de transformación de un estado de creencias, atento a la presencia de nueva información además de brindarnos importante información sobre las características del cambio racional de creencias. Sin embargo, el abordaje del problema de la representación del cambio de creencias en presencia de múltiples fuentes de información requiere la adaptación de los modelos tradicionales prestando especial atención al problema fundamental de la integración de múltiples fuentes de información: la posibilidad de situaciones inconsistentes.

En este modelo la representación de los estados epistémicos, o de creencias, de los

agentes se realiza por medio de una función llamada *de soporte* por un conjunto de enunciados (aquellos que el agente admitiría) definidos sobre un lenguaje L , cerrados bajo la operación de consecuencia clásica:

Se supone que son posibles tres actitudes epistémicas básicas: aceptación, rechazo e indeterminación, según si para un elemento a se tiene respectivamente $\mathbf{K}a$, $\sim \mathbf{K}a$, $\mathbf{K}a$ y $\sim \mathbf{K}a$; y en función de estas tres actitudes básicas, tres pares de tipos de cambio de creencia posibles: expansión (+) (de indeterminado a aceptado o de indeterminado a rechazado), revisión (*) (de aceptado a rechazado o de rechazado a aceptado) y contracción (-) (de aceptado a indeterminado o de rechazado a indeterminado).

Las diferentes maneras de caracterizar los estados de creencias, cada una de estas operaciones, y los criterios de racionalidad que las determinan configuran los elementos de una teoría de cambio de creencias. Los elementos principales de esta configuración son los postulados que permiten caracterizar la dinámica en atención a ciertos principios o criterios de racionalidad. El aspecto dinámico de este modelo es expresado por estas operaciones de cambio y el modo en que estas funcionan está representado por ciertas restricciones comprometidas con la racionalidad del cambio propuesto.

La incorporación de una creencia se obtiene mediante la aplicación de la operación de expansión, la que provisoriamente puede asimilarse a la unión del conjunto original con el conjunto formado por el enunciado a incorporar.

Las eliminaciones se representan mediante la operación de contracción, que arroja como resultado un conjunto nuevo cuya principal característica es no implicar el enunciado contraído.

Cada una de estas operaciones está definida por un grupo de unos pocos postulados que dan las características elementales que, se entiende, estas operaciones deben tener para ser consideradas y algunos pocos más que precisan el comportamiento que tendrán en caso especiales o límites.

Analicemos como ejemplo el caso de la contracción. En este caso, lo mínimo que es racional demandar de esta operación para que sea considerada una contracción es:

Exito: que el enunciado por el que se quiere contraer no pertenezca al conjunto resultante (en caso de no tratarse de una tautología), y que puesto que se trata propiamente de una contracción,

Inclusión: no se involucre ningún elemento nuevo y el conjunto resultante sea un subconjunto del original.

Dado un conjunto \mathbf{K} que representa el conjunto de creencias de un agente, una operación \div es un operador de contracción para \mathbf{K} si y sólo si satisface:

4.Éxito: $\text{Si } \text{Cn}(\quad), \text{ entonces } \mathbf{K} \div$

2.Inclusión: $\mathbf{K} \div \subseteq \mathbf{K}$

Podría considerarse entonces que si el objetivo de la operación es que un enunciado no pueda ser inferido más del subconjunto de un conjunto, el resultado en cualquier caso puede ser el conjunto vacío, y de esta forma nos aseguramos que no se podrá inferir del conjunto resultante la creencia que se quería contraer.

A menos, claro, que el enunciado en cuestión haya sido un enunciado tautológico. Puesto que las tautologías se infieren del conjunto vacío, debemos indicar entre los principios que guían la contracción de creencias (postulados de la contracción) el resultado que se debe obtener en caso de presentarse la contradicción por una tautología (en ese caso por ejemplo, el postulado de fracaso de la contracción determina que no hay nada que contraer). La adición de nuevos postulados permite precisar tipos especiales de contracción que, por ejemplo, eviten resultados un poco sorprendentes como el recién referido. La contracción considerada como más aceptable (o al menos la más popular) es la llamada de encuentro o intersección parcial.

\div es un operador de contracción (*partial meet*) para \mathbf{K} si y sólo si satisface además de los dos anteriores:

1.Cierre: $\mathbf{K} \div$ es un conjunto de creencias.

3.Vacuidad: $\text{Si } \mathbf{K}, \text{ entonces } \mathbf{K} \div = \mathbf{K}$

6.Extensionalidad: $\text{Si } \text{Cn}(\quad), \text{ entonces } \mathbf{K} \div = \mathbf{K} \div$

5.Recuperación: $\mathbf{K} \div (\mathbf{K} \div) = \mathbf{K}$ (*recovery*)

Una contracción va acompañada en la mayoría de los casos de una expansión, ya que aislada es una operación difícil de imaginar que correspondería al caso de la suspensión del juicio actitud epistémica poco común. Las ocurrencias de las contracciones se producen como consecuencia de la incorporación de una creencia que contradice otra previa, motivando que la creencia previa en cuestión sea eliminada.

Los cambios que efectivamente podemos querer representar son entonces alteraciones en los conjuntos de creencias producto de la incorporación de un elemento nuevo al conjunto de creencia.

Generalmente, si dejamos de creer algo es porque reemplazamos esa creencia con otra (creía que no pasaba algo y comienzo a creer que sucede) o porque incorporamos alguna creencia que nos obliga a abandonar algo que creíamos (dejamos de creer que un estado de cosas es de determinada manera al comenzar a creer que es de otra manera). Este tipo de movimiento es el que produce la operación de revisión, resultante de la composición de una contracción y una expansión. Esta es en realidad, la principal operación de cambio de creencias, este tipo de cambios está marcado por la preservación de la consistencia en los conjuntos de creencias.

Así como la mayoría de los cambios de creencias razonablemente puede verse como una sucesión de contracción-expansión, formalmente, la operación de revisión puede definirse mediante lo que se conoce como *identidad de Levi*, con la siguiente expresión:

$$K * a = (K \div \sim a) + a$$

Es decir que revisar un conjunto de creencias por un enunciado a consiste en eliminar en primer lugar aquellos elementos del conjunto que pueden implicar $\sim a$, para posteriormente expandir el conjunto resultante por a , con la certeza de no poner en peligro la consistencia del conjunto en cuestión.

La preservación de la consistencia se torna una guía de la dinámica de creencias porque, por definición, un conjunto de creencias está cerrado bajo consecuencia lógica, $K = Cn(K)$ donde Cn es la operación de cierre lógico. Esta operación no es otra que la *función de consecuencia* que Tarski caracterizara en sus trabajos de la década del '30.

En la teoría AGM de cambio de creencias la noción de consecuencia Cn produce más resultados de los deseados. La operación de expansión, por ejemplo, es prácticamente inútil al pretender representar cambios de creencias y se reemplaza por la de revisión o tal vez debiéramos llamarle de expansión consistente puesto que es la única que nos garantiza poder permanecer tranquilos al incorporar un elemento a nuestro conjunto de creencias sin que se trivialice.

Esta noción (Cn) queda caracterizada en términos generales por satisfacer

1. Inclusión $A \subseteq Cn(A)$.

2. Monotonía Si $A \supset B$, entonces $Cn(A) \supset Cn(B)$.
3. Iteración $Cn(A) = Cn(Cn(A))$.

y satisfacer las siguientes tres propiedades:

- Si a puede ser deducida de A por medio de una instancia de tautología, entonces $Cn(A)$. (Supraclasicidad).
- $Cn(A \{ \})$ si y sólo si $(\quad) Cn(A)$. (Deducción).
- Si $a \in Cn(A)$, entonces $a \in Cn(A')$ para algún conjunto finito $A' \supset A$. (Compacidad).

De modo que la consecuencia utilizada incluye a la noción veritativo funcional de consecuencia.

Como es usual en este contexto, consideramos a un conjunto A consistente si para ninguna a se tiene que $(\quad - \quad) Cn(A)$.

Se supone que de esta forma se tiene un modelo definido en base a ciertas pretensiones de racionalidad que permitiría representar la dinámica de creencias en agentes racionales.

Un elemento común en la mayoría de estos modelos es considerar los sistemas a representar como simples, en el sentido de no contener subsistemas como partes que conforman el sistema a representar. Esto se justifica sobre la preeminencia de algunos dominios como el epistémico en el cual tiene sentido pensar a los agentes como una unidad (al menos en la mayoría de los contextos de abordaje del problema).² A pesar de esto, existen muchos casos en los cuales es posible aplicar modelos de cambio sobre múltiples sistemas que conforman un todo integrado en algún sentido. A estos casos nos referiremos aquí bajo el título de cambio de teorías en contextos de múltiples agentes.

Estas situaciones pueden ser fundamentalmente de dos tipos: bases formadas por la **agregación** de información de múltiples fuentes, como en el caso de sistemas expertos basados en la información provista por varios expertos no necesariamente coincidentes; o **estructuras complejas**, distribuidas, que interactúan e intercambian información, como sucede en la integración de datos de múltiples estaciones de monitoreo sobre un mismo tema.

Otra aplicación muy interesante es la relacionada con áreas nuevas como las llamadas inteligencias sociales, en alusión a contextos de interacción de agentes para la comprensión o solución de un problema.

El principal problema relacionado con este enfoque es el de la consistencia. La inexistencia de normas incompatibles es un ideal racional análogo al de la consistencia de los enunciados que representan las creencias de un agente o de los elementos de una base de datos. Esto está reflejado en la utilización de la operación clásica de consecuencia para caracterizar los modelos de cambio.³

Es por esto que las situaciones con elementos posiblemente inconsistentes no tiene cabida en las presentaciones más o menos ortodoxas del modelo AGM, y son siempre consideradas como una excepción indeseable, difícilmente tolerable. En realidad, AGM prevé un tratamiento para las inconsistencias mediante la operación de revisión. Esta operación nos garantiza que los conjuntos que representan los estados de creencias permanezcan libres de inconsistencias tras los sucesivos cambios. Una visión atenta de este aspecto del problema nos permite argumentar que muchos de los casos problemáticos, tal vez los más interesantes, se refieren a la cohabitación de partes parcialmente incompatibles en un todo, como sucede por ejemplo con la información proveniente de múltiples fuentes, o el sistema que resulta de la combinación de diversas leyes o códigos en la mente de un legislador ideal.

Tal vez uno de los primeros intentos de una lógica capaz de operar como modelo de situaciones potencialmente inconsistentes como resultado de la interacción de múltiples fuentes haya sido la lógica de la discusión que pretendía formalizar la situación de una discusión o confluencia de opiniones manteniendo la diferencia entre lo que cada partícipe opina y lo que se afirma en general en la discusión, aún cuando esto no sea consistente.

2 Los intentos de Jaskowski de una lógica discursiva

En la primera parte del siglo XX, el lógico polaco S. Jaskowski crea una *lógica discursiva* que permite representar en un sistema deductivo tesis que pertenezcan a diversos participantes de una discusión; para deducir de ellas, aún cuando sean contradictorias, consecuencias aceptables.

La afirmación de expresiones contradictorias por parte de distintos participantes en una discusión no lo hace trivial. Sobre esta intuición se supone que, una afirmación o tesis incluida en un discurso, debe estar acompañada por cierto tipo de restricción o consideración que impida su absoluta incompatibilidad con la afirmación de

~ en el mismo discurso por otro participante. Esta restricción es expresada en el sistema **J** mediante un operador modal análogo al de posibilidad. La afirmación de una tesis en el discurso, precedida por este operador, debe entenderse como “*es posible*”, lo que no excluye “*es posible no*”.

El sistema **J** de lógica discursiva proposicional puede considerarse apoyándose sobre el sistema modal **S₅** al que está íntimamente ligado y cuya relación de accesibilidad característica es la de equivalencia.⁴ El lenguaje de **J** es el mismo que el de **S₅**. Tomaremos para esta exposición la presentación axiomática designada como sistema A por da Costa y Doria (1995):

1. si ϕ es un axioma de **S₅**, entonces $\Box \phi$.
2. $\Box \phi, \Box(\phi \rightarrow \psi) / \Box \psi$.
3. $\Box \phi / \phi$.
4. $\phi / \Box \phi$.
5. $\Box \phi / \Box \Box \phi$.

Se puede probar además las siguientes proposiciones (da Costa-Doria (1995)):

- a. $\vdash \text{Si } \vdash \phi \text{ entonces } \models_{S5} \phi$.
- b. $\vdash \text{Si } \models_{S5} \phi, \text{ entonces } \vdash \Box \phi$.
- c. $\vdash \text{Si } \vdash \Box \phi \text{ entonces } \models_{J} \phi$.
- d. $\vdash \text{Si } \vdash \phi \text{ se infiere en } J \text{ de un conjunto } \{ \vdash \phi_1, \vdash \phi_2, \dots, \vdash \phi_n \} \text{ si y sólo si, } \vdash \phi_1, \vdash \phi_2, \dots, \vdash \phi_n$.
- e. $\vdash \text{Si } \models_{J} \phi \text{ entonces } \vdash \Box \phi$. Si y sólo si existen $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$ en tal que $\models_{S5} \phi_1, \models_{S5} \phi_2, \dots, \models_{S5} \phi_n$.

El último ítem se puede interpretar de la siguiente manera: si desde alguna posición se sostiene ϕ_1, ϕ_2 , etc., entonces desde alguna posición se sostiene $\Box \phi$, hay que entender el *discurso* como la suma de las posiciones de los participantes (el total de los mundos), luego, esto es decir que *en el discurso* se sostiene también $\Box \phi$.

Este resultado muestra que, a pesar de tratarse de un conjunto de enunciados que desde su representación clásica es inconsistente y trivial, es posible obtener una representación más realista de esta situación y tratar a ese conjunto de forma tal que puedan obtenerse de él algunas consecuencias interesantes sin inferir de este conjunto de creencias en forma explosiva o trivial.

En lo que sigue tomaremos la estrategia básica de Jaskowski para el tratamiento de este tipo de situaciones y proponer una modificación del planteo tradicional de la representación de cambio de creencias para considerar niveles de estructuras en los que el cambio de creencias se desarrolla.

En la literatura han aparecido intentos de abordar el problema de la consistencia mediante un recurso aparentemente parecido al que aquí proponemos llamada de *cambio local*, propuesta por S.O. Hansson y R. Wassermann.⁵

Estos consisten en definir operadores de cambio que a excepción del operador de expansión que tendrá alcance global⁶, actúen sobre una parte de la base de creencias sin afectar al resto. Para lograr esto se recurre a la noción de *compartimentalización* de una base de creencias en función de conjuntos de enunciados relevantes y por su intermedio, a la definición de un operador de consecuencia (las consecuencias locales) el que permite a su vez definir nuevamente las operaciones de tal manera que tengan alcance local (a una parte de la base) permitiendo la existencia de inconsistencias que no son afectadas tras el proceso de cambio por estar fuera del alcance del operador de consecuencia local utilizado.

Si bien esta propuesta logra el cometido de conservar subconjuntos inconsistentes de información que permanezcan tras las operaciones de cambio, como se muestra en el trabajo, esto se logra creando un operador de consecuencia especial, que opera como una restricción al operador clásico (del cual se sigue dependiendo, arrastrando las complicaciones derivadas de su uso), pero que carece de algunas propiedades importantes de un operador de consecuencia como por ejemplo la inclusión, que es junto con la monotonía y la idempotencia una de las tres propiedades básicas para un operador de consecuencia según la caracterización de Tarski.

La principal diferencia con la dinámica de cambio local es que se trata de una opción restrictiva (en la medida que funciona limitando el alcance de las operaciones, y de allí algunos de sus resultados extraños como el antes mencionado). Suponemos que un modelo aceptable para el tipo de situación considerado sería no sólo más potente sino también más racional si en vez de apoyarse en cierta esquizofrenia de los agentes partiera de la base de la tolerancia hacia las diferencias que cada agente pueda manifestar para con el resto o el conjunto.

Sistemas Sociales Artificiales

La entidad propuesta para representar el tipo de situación de múltiples agentes es un *sistema social artificial*.

Si bien este sistema está inspirado en la representación de la dinámica racional de información convergente potencialmente inconsistente, sus posibilidades se desarrollan más allá del problema de la consistencia, cubriendo la problemática de la interacción racional, el manejo de la información por múltiples fuentes y la organización o arquitectura de sistemas complejos de comportamiento racional.

La racionalidad es entendida en este contexto no como una restricción sobre el tipo de conductas a considerar en el modelo, sino más bien como un presupuesto para la representación conjunta de múltiples agentes racionales. La racionalidad de los agentes es lo que permite pensar que pueden interactuar, en tanto poseen una base común, un protocolo, para hacerlo.

A fin de construir esta entidad debemos incorporar una nueva familia de operaciones a las que llamaremos operaciones de fusión. La fusión es una operación de un conjunto por otro y que arroja como resultado otro conjunto de creencias. Podemos pensar en dos tipos de operaciones de fusión: *merge* y *combinig*. La diferencia entre ambos tipos de operaciones es que al realizar la primera de ellas no se pierde el contenido original de las bases de creencias puesto que no se apoyan en subconjuntos maximales como lo hacen las operaciones del segundo tipo. Estas operaciones nos permiten relacionar distintas bases como agentes a fin de obtener una estructura más compleja.

Siguiendo a Gabbay y Woods deberían presentarse los agentes como una jerarquía o un ordenamiento parcial, con agentes individuales como elementos básicos de este ordenamiento y entidades abstractas que no son más que agrupaciones de agentes (individuales o agrupaciones de orden inferior según el caso) que se caracterizan por tener un dominio menor (su información proviene de la suma de la información provista por los agentes que la componen) pero un grado de precisión mayor en estos dominios.

Cada uno de estos agentes está provisto de un mecanismo de revisión racional de creencias autónomo y en un desarrollo ideal es de esperar que en cada caso cuenten con las restricciones o determinación específicas dentro del modelo según el tipo de dominio específico al que cada uno deba aplicarse. Así, por ejemplo, algunos pueden contar con mecanismos de revisión no-priorizados (si no deben estar muy

expuestos a la nueva información), mientras que los agentes dispuestos a recibir información externa deberán ser priorizados.⁷

La existencia y estructura de esta jerarquía determina la forma en que puedan tanto presentarse como tratarse los conflictos. Como casos extremos, los modelos más simples requerirán sólo un modelo distribuido que sin duda no será el típico de AGM, puesto que deberá incorporar los mecanismos para el tratamiento de las inconsistencias correspondientes. Modelos con una mayor complejidad demandarán mecanismos centralizados de solución presumiblemente. Esta estructura concurrirá también en la conformación de los mecanismos de interacción.

Las operaciones además de determinar el tipo de organización que se obtenga (en tanto el modelo de consistencia puede ser local como global en los casos extremos en que se pretende consistencia entre las conclusiones de todos los agentes del sistema) determina las relaciones que existan entre los agentes, según se especifiquen restricciones sobre las operaciones de fusión.

En esta instancia es posible configurar muchos de los modos en que se resolverán los conflictos puesto que se pondrán restricciones que afecten la influencia de la información entre los elementos relacionados. Por ejemplo, que los elementos en un mismo nivel no pueden influirse, o que lo harán en cierta medida o bajo cierta condición.

Todos estos elementos deben conducir en el modelo a la definición de restricciones o postulados de tipo general sobre los parámetros en que se desenvuelve un proceso racional de cambio de creencias sobre múltiples agentes.

Dado un lenguaje proposicional \mathbf{L} , definimos un *sistema social artificial* como la estructura formada por:

Un conjunto de bases de creencias $\mathbf{K} : \mathcal{P}(\mathbf{L})$.

Un conjunto de creencias $\mathbf{E} = \{K_1, \dots, K_n\}$.

Un conjunto de operaciones de fusión de bases de creencias por bases de creencias (*arbitration, merge, combining* etc.).

Un conjunto de operaciones de cambio de bases de creencias por elementos de \mathbf{L} .

Este último se compone de las siguientes:

Operaciones de revisión local: Son los cambios que un agente realiza en virtud de su propia dinámica y que afecta a las creencias llamadas locales por oposición a las de carácter global. Si bien ésta es la operación más estudiada en el modelo AGM, es deseable contar con operaciones específicas en cada caso como ya se adelantó antes, según el tipo de comportamiento esperado de cada agente, dando lugar a la aplicación de distintas operaciones de revisión. Habrá agentes que realicen revisiones más cautas y otros las harán obstinándose en incorporar nueva información, etc.

Interacciones: Son cambios originados en nueva información recibida en los agentes a un mismo nivel en la estructura (entre bases de creencias por ejemplo). Las condiciones en que éstas ocurran estará determinada por los elementos antes mencionados, pero debe contarse con una familia de operaciones que definan esta relación puesto que es el caso básico de la relación multi-agente. Ejemplos son las discusiones de jurados o la coordinación en equipo en general.

Presión: Es la relación por la cual los elementos inferiores en el orden presentan elementos inconsistentes con el agente superior. Esta operación al igual que la que sigue será condicionada por algún tipo de resistencia al cambio, que es un principio básico en el modelo que estamos presentando de modo que la información consolidada lo sea sólo en virtud de cierta resistencia al cambio relacionada con su apoyo en múltiples fuentes. Ejemplos de este tipo de cambio se dan cuando los componentes de un equipo presentan evidencia en contra de lo aceptado por el grupo, como ocurre por ejemplo en programas de investigación, o en la relación de las dependencias de una organización en relación con la institución.

Dependencia: es la dual de la anterior y le es propio el modo de obrar de los jefes con los subalternos, sólo que en el caso que nos ocupa no es una relación basada en la autoridad sino en el manejo de la información y de allí la posibilidad del conflicto. El agente de nivel no debe cambiar las creencias de sus "subordinados" sino en muy pocos casos. Son deseables, por ejemplo, los que corresponden a la conducta de formación del agente de nivel inferior, pero no lo son los de total dependencia del nivel inferior puesto que esto limitaría mucho la capacidad expresiva de este modelo.

A modo de conclusión debemos decir que si bien es posible integrar en un sistema de este tipo muchos resultados anteriores, su correcta definición supone la caracterización exhaustiva de muchos elementos lo que implica una enorme tarea por delante. Sin embargo, esta parece ampliamente justificada por la utili-

dad que un modelo de este tipo presentaría tanto para la representación de situaciones de manejo de información con múltiples fuentes, como para la elucidación y explicitación de los principios racionales interactuantes en este tipo de situaciones.

Notas

- 1 Alchourrón, Gärdenfors y Makinson [1985].
- 2 En los contextos con situaciones inconsistentes puede ser más apropiado pensar los agentes como un conjuntos integrado de subsistemas.
- 3 El cierre bajo consecuencia clásica (Cn) tiene un papel importante no sólo en la definición de los estados, sino también en la de las operaciones, puesto que estas siempre se hacen, no importa cuál sea la presentación elegida (postulados, funciones de selección, semánticas...) sobre el horizonte de esta operación.
- 4 Una axiomatización para **S_g** puede ser la siguiente:
Si es una instancia de tautología clásica, entonces es un axioma.
 $\Box(A \rightarrow B) \rightarrow (\Box A \rightarrow \Box B)$. $\Box(A \wedge B) \rightarrow \Box A$. $\Box(A \vee B) \rightarrow \Box A \vee \Box B$.
 Reglas: *Modus ponens*: $\frac{A, A \rightarrow B}{B}$. *Regla de Gödel*: $\frac{A}{\Box A}$.
- 5 S.O. Hansson y R. Wassermann [1998].
- 6 Y que además es la única operación en la presentación clásica de AGM que es tolerante de las inconsistencias, ya que es compatible con la posibilidad de que $\{A, \sim A\} \in K$ K^+ .
- 7 Sobre cambio no priorizado existe una abundante literatura en el contexto de AGM. El término hace referencia a la satisfacción o no del postulado de éxito para la revisión que garantiza la incorporación de un nuevo elemento al conjunto de creencias del agente.

Bibliografía

Alchourrón, C., Gärdenfors, P. y Makinson, D. (1985). "On the Logic of Theory Change: Partial Meet Contraction and Revision Functions". Journal of Symbolic Logic, 50, 510-530.

Barwise, J. (1989). *The situation in logic*. Stanford: CSLI Lecture Notes.

- Da Costa, N.C.A., Doria, F. (1995). "On Jaskowski's Discussive Logics". Studia Logica, 54, 33-60.
- Gabbay, D., Woods, J. (2001). "The new logic". LJ of IGPL, 9, 2.
- Gärdenfors, P. (1988). *Knowledge in Flux. Modeling the Dynamics of Epistemic States*. Cambridge, Mass., Bradford/MIT.
- Hansson, S. O., Wassermann, R. (1998). "Local Change: A Preliminary Report", versión preliminar aparecida en *Fourth Symposium on Logical Formalizations of Commonsense Reasoning*.
- Malheiro, B., Jennings, N., Oliveira, E. (1994). "Belief Revision in Multi-Agent Systems." *Proceedings of the 11th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'94)*, Amsterdam, Holland, Agosto 1994.
- Priest, G., Routley, R. (1989) "Systems of Paraconsistent Logic", *Paraconsistent Logic: Essays on the Inconsistent*. G. Priest, R. Sylvan y J. Norman ed. Munich, Philosophia Verlag.