EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XVI JORNADAS

VOLUMEN 12 (2006)

José Ahumada
Marzio Pantalone
Víctor Rodríguez
Editores

ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Sistemas Contextuales Interpretados

Manuel Dahlquist[*] *y Luis A. Urtubey*[†]

Introducción

El tratamiento lógico de los contextos y del conocimiento han recorrido carriles paralelos. Los contextos comienzan ha ser tomados con atención desde la lógica, a partir de una tradición dedicada a dar cuenta de los problemas que quedaron sin resolver al sumir el concepto de referencia en clave fregeana; esta tradición está encabezada por Perry y Kaplan. La inteligencia artificial aborda los contextos a partir de los trabajos de McCarthy sobre el problema de la generalidad. Una perspectiva computacional guiada por la idea de construir bases de datos que funcionen contextualmente. El conocimiento y la lógica se entrecruzan con fuerza a fines de los años 50, a partir de los trabajos de von Wright acerca de las modalidades. Siguen con los trabajos de Hintikka de comienzo de los 60'y toman un giro pragmático desde comienzo de los 90', procurando responder a la pregunta "¿qué *debe saber* una robot para *actuar* de determinada manera?". El trabajo arquetípico en este tópico es el de Fagin, Halpern, Moses y Vardi (HFMV en adelante) estructurado definitivamente en 1996.

La intersección entre razonamiento contextual y razonamiento epistémico es realmente nueva y el vínculo común entre las dos tradiciones es la lógica. En disciplinas como la representación del conocimiento, aparecen por primera vez, vinculados de alguna manera. Autores como van Benthem, han propuesto recientemente, pensar los contextos de una manera ontológicamente vacua: los contextos son un artificio técnico, destinado a representar cómo manipulamos información de una manera útil y económica. La idea básica en cualquier caso, es que el razonamiento contextual (o el artificio destinado a representarlo) es un tipo especial de razonamiento, con características propias, pero vinculables con el resto de los tipos o modos de conocimiento[1].

Los contextos pueden tener diversos efectos sobre el conocimiento, tomado también en el sentido amplio de información:

1. Como dominio local de conocimiento
2. Conocimiento compartido sobre una base común
3. Al impedir la pérdida de un fundamento común
4. Al razonar sobre el conocimiento (contextualizado)

En lo que hace al presente trabajo, propondremos una aplicación de la semántica que Lomuscio y Sergot han desarrollado para sistemas deónticos interpretados, introduciendo ideas que tienen el efecto de permitir el razonamiento sobre contextos[2]. En esta semántica modificada: (a) definiremos un operador que hace posible expresar lo que es verdadero para un agente en un contexto (este es el objetivo principal del trabajo); estos resultados se proponen como aproximación a una lógica que tome en cuenta los efectos del contexto sobre el conocimiento de un agente; (b) mostraremos lo que sucede al agregar sobre esta lógica un operador epistémico y (c) sugeriremos sus ventajas a través de una aplicación.

[*] UNL, UADER
[†] UNC

Sistemas de múltiples agentes

Una de las perspectivas actuales desarrolladas en la línea de abordaje del conocimiento por parte de la llama Inteligencia Artificial, es la de los sistemas de múltiples agentes o sistemas multiagentes (de ahora en más SMA). Esta posición fue amplia y sistemáticamente desarrollada en el trabajo de Halpern, Fagin, Moses y Vardi [2]. Para caracterizar estos sistemas los autores se basan en los postulados dados por John Gall en 1975, y proponen: a) Los integrantes de un SMA son denominados agentes; b) Cualquier colección de agentes que interactúan pueden ser considerados un SMA; c) El grado de complejidad de un sistema es infinito: depende de seleccionar mayor o menor cantidad de rasgos para describirlo.

Con el fin de dar un modelo de los SMA consideramos que:

1) Contemplado en algún momento del tiempo, cada uno de los agentes del sistema está en algún *estado*. Este es denominado *estado local*.
2) Un estado local encapsula toda la información a la que el agente tiene acceso (Esto es, los mundos con que el agente está relacionado).
3) El sistema puede ser definido como un tuplo $(S_i...S_n)$, donde S_i es el estado del agente i.
4) Si necesitamos –aparte del estado de los agentes- datos sobre lo que pasa en el mundo, agregamos un agente S_e, que cumple funciones especiales y está por el ambiente.
5) Un *estado global* de un sistema con n agentes, se define como un (n+1) tuplo, de la forma $(S_e, S_i ....S_n)$, donde S_e es el ambiente y S_i es el estado local del agente i.
6) Para captar la evolución de un sistema necesitamos un *run*. Este es definido como una función que vincula tiempo con estados globales. Tomando el tiempo como lapso sobre números naturales, r(0) describe el estado inicial del sistema en una posible ejecución r, el próximo estado global es r(1), y así.
7) Se asume que el reloj del sistema está fuera del sistema. Los agentes no tienen necesariamente acceso a este.

Los sistemas -para estos autores- se definen formalmente como una colección no vacía de *runs*. Esto pretende reflejar tanto la interacción de los agentes como el carácter dinámico de los sistemas. En este trabajo prescindiremos de los *runs* por no ser necesarios a nuestros fines.

Uno de los mayores méritos de HFMV es haber vinculado los SMA con los Modelos de Kripke. Para ello introducen los *Sistemas Interpretados*, cuya adaptación para este trabajo vamos a presentar ahora.

Sistemas de estados globales

El lenguaje L es un lenguaje proposicional que consta de un conjunto P de átomos proposicionales, conectivas boolenas y un conjunto A = 1, ..., n de agentes. Las fórmulas compuestas se obtienen del modo usual a partir del conjunto de átomos y conectivas. Emplearemos el operador modal indexado $[C]_i\ \varphi$ para representar que hasta donde sabe el agente indicado, una proposición se da (o es verdadera) en un contexto. Tomamos la idea de este operador de un trabajo inédito de Haim Gaifman sobre lógica contextual[3].

El Lenguaje

φ = Todo elemento de P | Fórmulas compuestas | $[C]_i\ \varphi$ ($i \in A$)

Sistemas deónticos interpretados
Considere *n* conjuntos no vacíos $L_1, \ldots, L_n$ de estados locales, uno para cada agente del sistema y un conjunto de estados para el *entorno* L_e. Los elementos de L_i serán denotados mediante L_1, L'_1, L_2, L'_2, ... Los elementos de L_e, mediante L_e, L'_e. El entorno se usa –como ya se dijo- para representar información que no puede ubicarse en un estado local de algún agente y suele entenderse como un agente más. Aunque también puede entenderse como una situación real. No haremos aquí diferencias al respecto. Dado que no es necesaria su consideración, omitiremos no obstante el entorno en el resto del trabajo.

Definición de SEG: Un sistema de estados globales para n agentes S es un subconjunto no vacío del producto cartesiano $L_1 \times \ldots \times L_n$.

Un estado local para un agente ı puede entenderse de diferentes modos. Pueden ser estados psicológicos o ubicaciones espacio-temporales. Como se verá más adelante, también tendremos una interpretación adecuada en nuestro caso.

Un SIEG (un SEG interpretado) es un par (S, π) siendo S un SEG y π: $S \rightarrow 2^P$ es una función de interpretación para los átomos del lenguaje.

Un SDEG (un SEG deóntico) se define asumiendo que el conjunto de EG de cada agente se halla dividido en estados permitidos y no permitidos (rojos y verdes). Formalmente:

Un SDEG es un SEG definido en $L_1 \supseteq G_1$, ..., $L_n \supseteq G_n$. G_e es el conjunto de estados verdes para cada agente i, G_i es el conjunto de estados verdes para el agente i. Los conjuntos de estados G_i deben entenderse intuitivamente como estados locales en que el agente tiene información contextual. Es decir, que tiene información sobre diferentes contextos. Por ejemplo podría ser el caso que el agente tuviera información sobre el contexto de las novelas de Sherlock Holmes, pero no sobre el contexto de las novelas de Hercules Poirot o de las historias de Don Isidro Parodı o del Padre Brown. En ese caso, diríamos que podría razonar contextualmente con las primeras, pero no con las otras.

Un SDIEG (un SDEG interpretado) para n agentes es un par (CS, π) siendo CS un SDEG y π una interpretación de los átomos.

Aunque cabe decir que hay otras alternativas en el marco que hemos elegido, consideraremos la formalización en este tipo de sistemas en particular, en este trabajo. De todos modos, es útil considerar su comparación con otras posibilidades, que intentaremos explorar en otros trabajos. La elección se justifica en cierto modo porque nos limitamos aquí a considerar agentes que razonan con información contextual solamente. De hecho que lo real es que los agentes combinen diferentes tipos de información cuando razonan.

En la representación del conocimiento, los SI son utilizados para adscribir conocimiento a los agentes, considerando que dos estados globales son indistinguibles para un agente si sus estados locales son los mismos en los dos estados globales. Esto corresponde a generar un marco de Kripke de un SEG. En este caso las relaciones generadas en el marco de Kripke son relaciones de equivalencia. La lógica que resulta al definir una familia de operadores modales para representar el conocimiento de los agentes es $S5_n$.

Marco generado por un sistema. Dado un SDEG, el marco $F(SC) = (W, R_1, \ldots, R_n)$ se define como sigue:
$W = SDEG$
Para cada $i = 1,\ldots, n$, $<l_e, l_1,\ldots, l_n> R_i <l'_e, l'_1,\ldots, l'_n>$ si $l'_i \in C_i$.

Intuitivamente, la relación R_i selecciona los estados globales en los cuales el agente i se desempeña en forma correcta (o aceptable). Como hacen notar Lomuscio y Sergot hay diferentes alternativas entre las que podemos elegir para interpretar la noción de corrección representada por el operador modal en el lenguaje, según la especificación que escojamos para este conjunto. Se puede hacer uso de esta construcción para dar una interpretación de las fórmulas de un lenguaje deóntico de una manera similar a lo que se hace para el conocimiento en los sistemas interpretados. En nuestro caso la idea de corrección o lo correcto para el agente, es que tenga conocimiento del contexto. De allí la elección. Nuestra intención es interpretar de este modo también los enunciados epistémicos contextualizados, considerando el efecto del contexto sobre un enunciado de este tipo como imponiendo una estructura deóntica sobre su interpretación.

Intentaremos introducir aquí una modalidad deóntica para representar explícitamente contextos. De tal modo, el efecto contextual sobre el conocimiento equivaldría a decir que el conocimiento toma un sesgo deóntico, en términos presentes se diría que es afectado por una estructura deóntica, en el sentido de una estructura en donde hay estados permitidos para cada agente. La idea en el fondo es que un contexto es una estructura que impone restricciones sobre los estados locales de los agentes en función de que el agente tenga, o no, conocimiento de este contexto. Que le resulte familiar o no.

La interpretación de las fórmulas del lenguaje L se define en el correspondiente modelo de Kripke generado $F(SD, \pi)$, en donde la verdad de la fórmula $[C]_i\varphi$ en un estado global significa que la fórmula φ es verdadera en todos los mundos i-relacionados, es decir en todos los puntos que resultan de estados globales en los que el agente i se halla en un estado local permitido. Esta fórmula $[C]_i\varphi$ del lenguaje L podría entenderse como expresando la contextualización de φ según la información del agente i. A partir de aquí podemos hablar de sistemas contextuales interpretados.

Definición: Satisfacción en SCEG

Modificaremos ahora ligeramente la semántica anterior a fin de acomodar en ella el operador modal que representa el efecto del contexto entendido de forma epistémica, sobre una proposición. Definiremos un modelo para lo que se podría denominar un sistema contextual de estados globales (SCEG):

Sea $M= (S , R_1, \ldots, R_n, , C_1, \ldots, C_n, \pi)$

Donde $S = SEG$ y $C_1, \ldots, C_n$, son subconjuntos no vacíos del producto cartesiano $G_1 \subseteq L_1 \times \ldots \times G_n \subseteq L_n$.

$M \models_g p$ si $g \in \pi(p)$
$M \models_g \neg\varphi$ si no $F(SC, \pi) \models_g \varphi$
$M \models_g \varphi \wedge \psi$ si $F(SC, \pi) \models_g \varphi$ y $F(SC, \pi) \models_g \psi$

Definamos ahora $c_i^R(g) = \{G' : g R_i g'\}$ y $c_i^*(g) = \{g' : \text{para } g \in C_i . l_i(g) = l_i(g')\}$
Entonces la condición que resulta para el operador modal sería:

$M \models_g [C]_i \varphi$ si $M \models_{g'} \varphi$ para todo $g' \in C_i^R(g) \cap c_i^*(g)$

Lo cual vendría a significar que φ es verdadera en todos los estados que el agente reconoce como estados en los que se "ubica" en el contexto c.

Lema (Lomuscio y Sergot) Dado un **SC**, tenemos que F(**SC**) es serial, transitivo y euclídeo. (esto lleva a concluir que la lógica de los SCEG debe ser también al menos tan fuerte como $KD45_n$).

Recordemos la versión para nuestro lenguaje de los axiomas, que caracterizan esta lógica:

K: $[C]_i(p \to q) \to ([C]_i p \to [C]_i q)$

D: $[C]_i p \to \neg[C]_i \neg p$

4: $[C]_i p \to [C]_i [C]_i p$

5: $[C]_i p \to [C]_i \neg[C]_i \neg p$[4].

Hay una generalización de estos axiomas para el caso multimodal

$4^{i\text{-}j}$: $[C]_i p \to [C]_j [C]_i p$

5^{ij}: $[P]_i p \to [C]_j [P]_i p$

Estas fórmulas permitirían expresar en el lenguaje relaciones entre contextualizaciones de distintos agentes, con una interpretación análoga a la anterior.

Teorema (Lomuscio y Sergot) : La lógica $KD45_n^{i\text{-}j}$ es correcta y completa con respecto a los SCEG.

Conocimiento contextual

Como vimos arriba, las lógicas modales han estado en directa relación con el conocimiento a partir de los trabajos de Hintikka, a comienzo de los 60. La presentación clásica toma el operador de conocimiento K, definido de manera análoga al operador alético "□ ". La idea es que un agente conoce algo si eso se da en todas los estados que le resultan indistinguibles, y a los que tiene acceso. Es decir los índices reunidos por una relación de equivalencia.

Sobre los SDI podemos interpretar la noción de conocimiento. El operador de conocimiento K es interpretado de manera clásica:

F(**SD**, π) $\models_g$ Ki φ si para todo g′ tenemos que li(g) = li(g′) implica

F(**SD**, π) $\models_{g'}$ φ

Donde "=" señala una relación de equivalencia y li está por los estados locales del agente i.

En términos de nuestra semántica podemos decir que

$M \models_g K_i \varphi$ si $M \models_{g'} \varphi$ para todo $g' \in c_i^*(g)$

Pasemos al conocimiento contextual. Nuestra idea es que la noción de conocimiento contextual resulta formalizable sobre esta base en el SDEG. Un aspecto a estudiar en este sentido es la interacción entre las fórmulas deónticas y epistémicas, para lo que debemos estudiar las condiciones de verdad de fórmulas como $[C]_i K_i \varphi$ (el agente i en el contexto C sabe que es el caso que φ), $K_i[C]_j \varphi$, (el agente i sabe que en el contexto C para el agente j es el caso de que φ)

$[C]_X K_i \varphi$ ($X \subseteq A$), (en el contexto del grupo de agentes x, sabe el agente i que φ es el caso) etc.

Ahora bien, el rasgo distintivo del conocimiento contextual es -en algunas propuestas clásicas como las de Stalnaker [1999]- el de ser conocimiento compartido. formalizamos esta perspectiva con una pequeña salvedad que la acerca a una noción más real de conocimiento contextual: los agentes que participan de un contexto no tienen conocimiento contextual cuando saben lo que los otros saben. Alcanza con *suponer lo que los otros saben.* Se trata pues del conocimiento que un agente introduce y maneja bajo el supuesto de que comparte un contexto con otro agente o un conjunto de agentes. Tendríamos aquí el caso donde un agente *asume que un conjunto de agentes conocen un contexto dado.* Identificaremos este tipo de conocimiento con el operador $K^{*}{}_i^j$ para formar fórmulas como $K^{*}{}_i^j\, \varphi$ que leeremos como: "el agente ***i*** sabe que si ***j*** se ubica en el contexto en que él se encuentra, se da el caso de que φ". Esto es tener conocimiento contextual de φ. La condición de verdad para el caso de un agente j en el correspondiente marco de Kripke sería:

$M \models_g K^{*}{}_i^j\, \varphi$ si para todo g', $g' \in C_i^R(g) \cap c_i^*(g)$ y $g' \in C_j^R(g)$

Se puede constatar que este operador satisface los axiomas de K, 4 y 5, pero no así T.

Algunos principios adicionales relevantes serían:

$K_i\, p \rightarrow K^{*}{}_i^j\, p$ (pero no la conversa)

$K_i[C]_j\, p \rightarrow K^{*}{}_i^j\, p$ (pero no la conversa)

$[C]_j\, p \rightarrow K^{*}{}_i^j\, p$

La lógica resultante es bimodal: $S5_n$ para la parte de K_i y $KD45_n^{i\text{-}j}$ para la parte deóntica. Mientras que es de esperar que la lógica para el componente $K^{*}{}_i^j$ sea K45 de lo que resulta una lógica trimodal en este caso.

Lo que revelaría esta investigación, de acuerdo con los resultados de Lomuscio y Sergot, es que en esta formalización, si se trata de dar una caracterización completa en términos de marcos de Kripke para el operador modal $K^{*}{}_i^j$, este debe interpretarse en la intersección de las relaciones correspondientes a $[C]_i$ y K_i. La axiomatización de este tipo de operadores resulta problemática[5].

Sólo nos ocupamos en esta exposición de una posible interpretación de este lenguaje y en particular de este operador modal bi-indexado, vinculándolo con el razonamiento contextual.

Aplicaciones

Es conocido en la literatura acerca de contextos el denominado problema de la caja mágica[6]. Como se ve en el gráfico se trata de 3 agentes (***s, f, t***) que observan una caja transparente con bolillas adentro (cada uno desde su lado, que es su contexto). Ninguno de ellos tiene noción de profundidad (i.e. "traducen" la realidad a figuras planas). En la figura 1 se presenta la caja tridimensional y las visiones de cada uno de los agentes. Cada uno de ellos sólo cuenta con información acerca de su propia visión. El problema consiste en que, dado el conocimiento de sólo dos agentes, p. ej. ***s*** y ***f***, puede saberse el estado del tercer agente ***t***. La solución habitual introduce un cuarto agente ε, que sabe lo que cada uno de los dos agentes saben y puede establecer relaciones entre estos conocimientos. Una debilidad de este tipo de solución, es que necesitamos un agente epistémicamente más poderoso, poseedor de la capacidad de conocer lo que dos de los tres agentes conocen y de establecer relaciones entre ese conocimiento. Aplicando los *sistemas contextuales interpretados* y nuestra noción de conocimiento contextual, podríamos solucionar el problema sin necesidad de un cuarto agente epistémicamente más poderoso. La aplicación es interesante pues permite que agentes del mismo poder epistémico solucionen problemas contextuales.

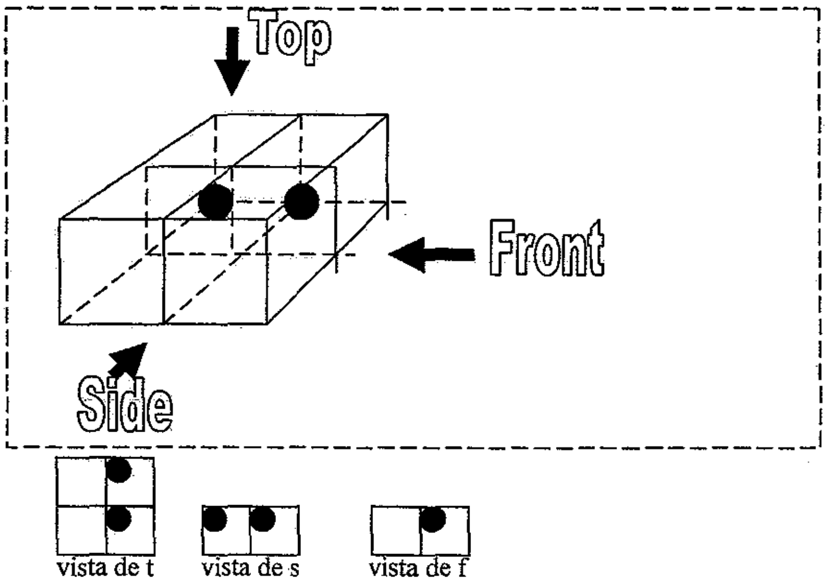
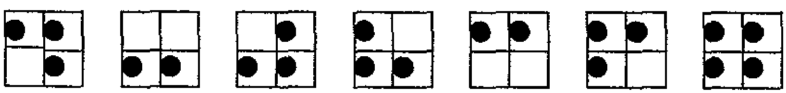


FIGURA 1

Los estados locales de los agentes ***s***, ***f*** y ***t***, están dados por el conjunto de la información que cada uno tiene en cada índice con el que está vinculado. El estado global está dado por el producto cartesiano del conjunto de los estados locales. Esto es, por cada índice habrá un estado de cada uno de los agentes. Los estados verdes, que conforman el contexto a partir de un subconjunto de estados locales, están dados –en este caso– por todos los índices donde el estado del agente es compatible con la información que posee. El sistema así planteado, reduce drásticamente el número de índices a tener en cuenta. En la figura 2 mostramos la parte del sistema que incluye los estados verdes, la que nos interesa. En vez de oraciones (p,q,r,) presentamos un gráfico con el estado del agente ***t*** y el agente ***s*** o ***f***.



1 2 3 4 5 6 7

Estados verdes (contexto) de *f*

1 2 3

Estados verdes (contexto) de s

FIGURA 2

El conocimiento contextual del grupo, es la intersección del conocimiento de cada uno de los agentes. Como podrá notar el lector existe uno y sólo un estado donde ***s*** tiene conocimiento contextual del estado de ***t***, a partir de suponer que ***f*** se encuentra en el contexto correcto y al revés. Es el estado 5 del agente ***f*** y el 2 del agente ***s***.

Si tomamos la fórmula ψ para simbolizar el estado de t cuando s considera que f está en el estado correcto (y al revés), se da que $K^{*}{}_{s}^{f}\ \psi \rightarrow \psi$ y también que $K^{*}{}_{f}^{s}\ \psi \rightarrow \psi$. Esto es que los agentes descubren la verdad (la realidad) a través del conocimiento contextual y sin apelar a ningún agente de orden epistémico superior. En nuestro modelo es un teorema que:

$$K^{*}{}_{i}^{j}\ \varphi \rightarrow \varphi$$

Esto es, si φ es contextualmente conocido por ***i***, entonces es el caso de que φ.

Logramos algo parecido al axioma conocido como axioma T, o axioma de la realidad, que dice que si algo es conocido, entonces es el caso que se da. Obviamente este axioma es inválido en nuestro modelo. La noción, sin embargo, es más débil que la de conocimiento clásico. En el modelo ningún agente llega a saber -en el sentido clásico (creencia verdadera y justificada) reflejado por K- lo que los otros saben. Es un conocimiento a partir de la presuposición que el otro agente está en el mismo contexto, tal como sucede en uno de los ejemplos paradigmáticos de los razonamientos contextuales: los contextos conversacionales. Puede comprobarse, con sólo observar la figura 3, que de lo único que tienen conocimiento contextual los agentes ***s*** y ***f*** es ni más ni menos que el estado en que el agente ***t***, efectivamente se encuentra.

Como el énfasis de este trabajo pasa por presentar nuestra noción de conocimiento contextual, desarrollada a partir de elementos deónticos, nos conformamos en esta presentación con sólo dar una prueba gráfica, de lo que decimos. De cualquier manera, el lector interesado puede comprobar que por más que agreguemos agentes o ampliemos la caja, el resultado se sigue repitiendo. Una presentación más técnica de estos resultados debería plantearse sobre los resultados para la lógica $KD45_{n}^{i\text{-}j}$ [7]

Notas

[1] Cfr Brezıllón P., Pomerol, J [1999]

[2] Cfr Lomuscio y Sergort [2003]

[3] Cfr Gaifman, H., [2001]

[4] Hay que observar que se excluye el postulado T: $[C]_i\, p \rightarrow p$, ya que lo que resulta verdadero en un contexto no tiene por que ser verdadero a secas, que es lo que esto significa sin más.

[5] Sin embargo, hay una axiomatización disponible en Louscio y Wozna [2006]

[6] Cfr Giunchiglia, F & Bouquet. [1997];

[7] Los autores desean expresar su agradecimiento a la evaluadora o el evaluador anónimo de esta publicación cuya atenta lectura y rigurosas observaciones contribuyeron con la versión final de este trabajo.

Referencias

Brezıllón P., Pomerol, J [1999] "Is a Context a Kind of Collective Tacıt Knowledge?", Preprint, University Paris 6.

Benerecitti, M., Bouquet, P. Ghidini, C. [2001]; "Contextual Reasoning Distilled", *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence (JETAI)*, 12(3), p. 279-305.

Fagın, R., Halpern, J., Moses, Y., Vardi, M.[1996]; *Reasoning about Knowledge*, MIT, Cambridge.

Giunchiglia, F & Bouquet [1997] "Introduction to Contextual Reasoning, an Artıficıal intelligence Perspective", en B. Kokinov (ed.), *Perspectives on Cognitive Science*, 3, NBU Press, Sofia (Bulgaria)

Lomuscio & Sergot [2003],"Interpreted Deontic Systems", *Studia Logica*, 75, 63-92.

Lomuscio & Wozna [2006] "A complete and decidable axiomatization for Deontic Interpreted Systems", DEON 06, 238-274.

Gaıfman, H., [2001], "Vagueness, tolerance and contextual logıc", preprint, ASL Meetıng.

Stalnaker, R.[1999], "On the Representation of Context", en Stalnaker, R., *Context and Content*, Roudledge, Londres.