

# Fusión automatizada de ontologías: Aplicación al razonamiento espacial cualitativo

Joaquín Borrego-Díaz y Antonia M. Chávez-González

Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial.  
E.T.S. Ingeniería Informática-Universidad de Sevilla.  
Avda. Reina Mercedes s.n. 41012-Sevilla  
{jborrego, tchavez}@us.es

**Resumen** La evolución de las ontologías es un problema clave en la Integración del Conocimiento, cuya resolución es imprescindible en el proyecto de la Web Semántica. Algunas aproximaciones adolecen de confianza lógica, y otras no son fácilmente mecanizables. En este trabajo proponemos un método para la fusión de ontologías utilizando razonamiento automático. Como ilustración, presentamos una aplicación en el campo del razonamiento espacial cualitativo, fusionando la ontología sobre mereotopología denominada *Cálculo de Conexión de Regiones*, con otra sobre el tamaño relativo de entidades espaciales.

## 1. Introducción

Durante sus primeros cincuenta años de vida oficial, la Inteligencia Artificial (IA) se ha enfrentado a grandes retos. Uno de ellos, implícitamente planteado en la conferencia de Dartmouth, es la formalización del conocimiento común. Se puede afirmar que éste es uno de los mayores obstáculos para la creación de agentes plenamente racionales. Este problema ha centrado los esfuerzos de especialistas en Representación del Conocimiento durante todo este tiempo y, con especial énfasis, en los últimos años con el proyecto de la Web Semántica (WS). Dicho proyecto tiene como objetivo el procesamiento mecánico y lógicamente fiable de la información contenida en la WWW [11]. La solución adoptada, ya estudiada para otros proyectos de menor envergadura que la WS, consiste en describir formalmente los elementos del universo de los que trata la información. Es decir, se basa en la construcción de *ontologías*. Usando ontologías se puede referenciar la información para dotarla de un *significado* procesable por máquinas.

Sin embargo, no es suficiente la mera construcción de una ontología. Es evidente que la información no será estática. Las ontologías deben mantenerse como cualquier otra componente de los sistemas. La reutilización del conocimiento requiere que las ontologías sean extendidas, refinadas o integradas [28]. La *evolución* de las ontologías se convierte así en uno de los temas críticos en la WS, implicando tanto problemas de Representación del Conocimiento como de Procesamiento Inteligente de la Información.

Uno de los subproblemas implicados es el de la *integración* de ontologías. La aceptación de lenguajes de representación de ontologías como OWL ha facilitado la proliferación de las mismas. Surge, por tanto, la necesidad de relacionarlas

entre sí, para aprovechar conjuntamente el conocimiento aportado por diferentes ontologías. Básicamente, existen tres tipos de reconciliación del conocimiento:

1. la *fusión (ontology merging)*, que produce una nueva ontología a partir de la mezcla de las ontologías iniciales,
2. la *alineación*, que establece relaciones entre los elementos de las dos ontologías, y
3. la *integración*, que no las une en una sola ontología, sólo establece mecanismos para utilizarlas conjuntamente (completas o en parte).

Para el análisis del proceso de fusión, desde el punto de vista de la lógica computacional, parece necesaria la adopción de nuevas nociones lógicas que estimen la fiabilidad del dicho proceso. Sin embargo, existen serias dificultades. La fusión es difícil de automatizar y se necesita la interacción continua con el usuario, o usar aproximaciones lingüísticas. De ahí que se desconozca, en general, el efecto de la fusión sobre el razonamiento automático con ontologías [4].

El objetivo de este artículo es proponer una definición formal de fusión entre ontologías con fiabilidad lógica, siguiendo ideas esbozadas en [4], y sugeridas por métodos de depuración de bases de conocimiento referenciadas con ontologías [2,12]. Asimismo, presentamos un método, asistido por Sistemas de Razonamiento Automático (SRA), para obtener dicha fusión. El método se basa en la extensión de ideas sobre extensiones ontológicas robustas presentadas en [8,9].

El método se ilustra fusionando dos ontologías sobre relaciones espaciales. Este tipo de ontologías son muy útiles para el Razonamiento Espacial Cualitativo (REC). El caso del REC es paradigmático, fundamentalmente, por dos motivos. En primer lugar, en el REC es crucial que el razonamiento sobre el espacio no se contamine con información no deducible de la propia ontología (información que proviene de la intuición). De este modo se comprende mejor la potencia deductiva de ésta. El uso de SRA previene esta contaminación, y nos asegura que los resultados obtenidos se siguen lógicamente de la ontología. En segundo lugar, es común en el REC diseñar una ontología *ad hoc* para cada tipo de problemas, donde sólo se representan aspectos parciales del espacio-tiempo. Por tanto, es necesario combinar adecuadamente diversas ontologías en casos complejos como, por ejemplo, en los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Concretamente, fusionaremos dos ontologías bien conocidas. La primera es el Cálculo de Conexión de Regiones (RCC) [15]. La segunda es la micro-ontología más sencilla sobre el tamaño relativo de entidades espaciales, y que denominaremos SIZE. La necesidad de esta fusión surge de la percepción humana. Por ejemplo, se sabe que algunas relaciones topológicas como *A está incluido propiamente en B* sólo son posibles si los objetos implicados poseen tamaños relativos adecuados. De ahí que sea muy interesante el manejo conjunto de RCC con SIZE. Como son ontologías esencialmente diferentes (la *articulación* de las dos ontologías es muy simple), parece adecuado fusionarlas.

La estructura del artículo es como sigue. En la siguiente sección se presentan las dos teorías espaciales a fusionar, describiendo sus propiedades fundamentales. A continuación se analizan posibles soluciones al problema de la fusión (sección 3). En la sección 4 formalizamos la idea de fusión retículo-categorica y se presenta

un método para obtener tales fusiones. Este método se aplica al caso de las ontologías que nos ocupan (en 4.1). La última sección está dedicada a analizar trabajos relacionados y a comentar el trabajo futuro.

El método que proponemos está asistido por dos Sistemas de Razonamiento Automático (SRA), un buscador de modelos (para explorar extensiones de ontologías) y un demostrador automático (para certificar hechos acerca de esas extensiones). En este artículo usamos dos sistemas complementarios programados por W. MCune, OTTER y MACE4 (<http://www-unix-mcs.anl.gov>). El primero de éstos es un demostrador automático, basado en resolución, que permite gran autonomía. El segundo, MACE4, es un buscador de modelos basado en el algoritmo de Davis-Putnam-Loveland-Longemann para decidir la satisfactibilidad. El uso combinado de los dos tipos de sistemas es muy útil en la clasificación/axiomatización de diversas teorías (véanse por ejemplo [24,14]).

## 2. Dos ontologías para el razonamiento espacial

En este artículo se trabajará con dos microteorías sobre REC ampliamente estudiadas. La primera de éstas es el *Cálculo de Conexión de Regiones* (RCC) [15], una ontología sobre relaciones mereotopológicas. Para RCC, las entidades espaciales son conjuntos regulares no vacíos<sup>1</sup>. La relación básica es la conexión,  $C(x, y)$ , con significado intuitivo: *las clausuras de  $x$  e  $y$  se cortan*. La axiomatización de RCC está formada por dos axiomas básicos sobre  $C$ ,

$$A_1 := \forall x[C(x, x)], \quad A_2 := \forall x, y[C(x, y) \rightarrow C(y, x)]$$

junto con un conjunto de fórmulas que definen las restantes relaciones espaciales (véase la fig. 1)<sup>2</sup>. RCC prueba que dichas relaciones componen el retículo que se muestra en la figura 6 [12]. Los modelos topológicos de RCC han sido investigados por N.M. Gotts en [19], aunque también es posible estudiar la teoría mediante modelos de tipo algebraico [30]. El razonamiento (espacio)temporal con RCC ha sido ampliamente estudiado [33,27].

El conjunto (exhaustivo) de relaciones disjuntas dos a dos de la figura 2 se denota por RCC8, y RCC5 es  $\{DR, PO, PP, PPi, EQ\}$ . Se ha constatado empíricamente que RCC8 es más adecuado que RCC5 para representar las relaciones topológicas percibidas por los humanos [22]. Podríamos decir que RCC8 habla de relaciones *sensibles* a las fronteras de las regiones mientras que RCC5 no las tiene en cuenta. RCC8, como cálculo, ha sido profundamente estudiado por J.R. Renz [27] entre otros, y es utilizada en SIG actuales y en bases de datos espaciales. La propia teoría RCC ha sido usada como meta-ontología para analizar anomalías en ontologías [12], y como herramienta para repararlas [3].

A pesar de las propiedades de RCC, esta teoría es claramente insuficiente para razonar sobre otros aspectos del espacio. Surge, por tanto, la necesidad de enriquecer RCC con otras características para razonar, por ejemplo, sobre distancia cualitativa, orientación, convexidad o tiempo (véanse [15,33,18]). Incluso

<sup>1</sup> Un conjunto de un espacio topológico es regular si coincide con el interior de su clausura.

<sup>2</sup> La teoría tiene otros axiomas [15], pero no serán usados en este trabajo.

$DC(x, y) \leftrightarrow \neg C(x, y)$	( $x$ está desconectado de $y$ )
$P(x, y) \leftrightarrow \forall z[C(z, x) \rightarrow C(z, y)]$	( $x$ es parte de $y$ )
$PP(x, y) \leftrightarrow P(x, y) \wedge \neg P(y, x)$	( $x$ es parte propia de $y$ )
$EQ(x, y) \leftrightarrow P(x, y) \wedge P(y, x)$	( $x$ es idéntico a $y$ )
$O(x, y) \leftrightarrow \exists z[P(z, x) \wedge P(z, y)]$	( $x$ e $y$ se solapan)
$DR(x, y) \leftrightarrow \neg O(x, y)$	( $x$ y son discretos)
$PO(x, y) \leftrightarrow O(x, y) \wedge \neg P(x, y) \wedge \neg P(y, x)$	( $x$ e $y$ se solapan parcialmente)
$EC(x, y) \leftrightarrow C(x, y) \wedge \neg O(x, y)$	( $x$ e $y$ están exter. conectados)
$TPP(x, y) \leftrightarrow PP(x, y) \wedge \exists z[EC(z, x) \wedge EC(z, y)]$	( $x$ es parte prop. tang. de $y$ )
$NTPP(x, y) \leftrightarrow PP(x, y) \wedge \neg \exists z[EC(z, x) \wedge EC(z, y)]$	( $x$ es parte propia no tang. de $y$ )

Figura 1. Axiomas de RCC

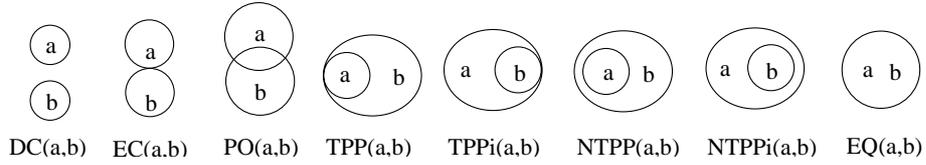


Figura 2. Las relaciones de RCC8

el diseño de lenguajes para representar con metadatos información espacial [16] sugiere la extensión de RCC.

La segunda ontología, que denominaremos SIZE, es la micro-ontología natural sobre el tamaño relativo de entidades espaciales. SIZE ya ha sido usada conjuntamente con RCC en [18], donde A. Gerevini y J.R. Renz extienden el estudio de problemas de satisfacción de restricciones en RCC8.

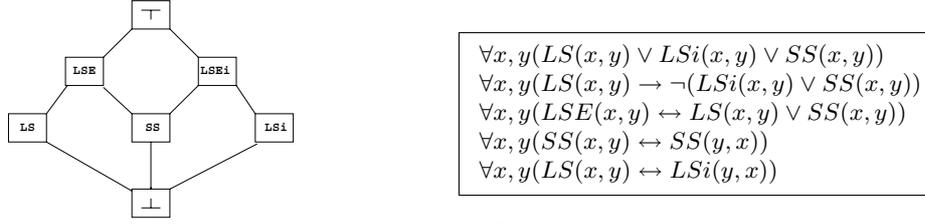
Las relaciones de la ontología SIZE son  $LS(x, y)$  ( $x$  tiene menor tamaño que  $y$ ) y su inversa  $LSi(x, y)$ , la relación  $LSE$  ( $x$  tiene menor o igual tamaño que  $y$ ) y su inversa  $LSEi(x, y)$ , y  $SS(x, y)$  ( $x$  e  $y$  tienen el mismo tamaño).

Algunos de los axiomas de SIZE se describen en la figura 3 (derecha). SIZE prueba que sus relaciones componen el retículo de la figura 3 (izquierda). Existen otras ontologías sobre el tamaño relativo, véase [21]. SIZE no trata del tamaño cualitativo de las regiones, para el que se utilizan adjetivos (predicados 1-arios), que dependen del contexto donde se usan. Véase también en [21].

### 2.1. Articulación de RCC y SIZE

La articulación asociada a la relación entre dos ontologías es una ontología intermedia que se puede sintetizar a partir de la relación existente entre los términos de dos ontologías [6]. En nuestro caso, la relación entre las ontologías viene dada por las relaciones descritas en la figura 4 (extraído de [18]). La articulación resultante es simple, prácticamente subretículo de RCC (véase la fig. 5, izq.).

En este trabajo describimos cómo fusionar las dos ontologías en una nueva, respetando la articulación, y satisfaciendo cierto criterio de minimalidad. Nótese, finalmente, que SIZE es independiente de la dimensionalidad del espacio, es decir, es válida por ejemplo para el razonamiento con intervalos temporales. Así, de



**Figura 3.** Algunos axiomas de SIZE y el retículo asociado

$$E' := \begin{cases} TPP \sqsubseteq LS & EQ \sqsubseteq SS \\ NTPP \sqsubseteq LS & SS \sqsubseteq DC \sqcup EC \sqcup PO \sqcup EQ \\ TPPi \sqsubseteq LSi & LSi \sqsubseteq DC \sqcup EC \sqcup PO \sqcup TPPi \sqcup NTPPi \\ NTPP \sqsubseteq LSi & LS \sqsubseteq DC \sqcup EC \sqcup PO \sqcup TPP \sqcup NTPP \end{cases}$$

**Figura 4.** Relación entre RCC y SIZE

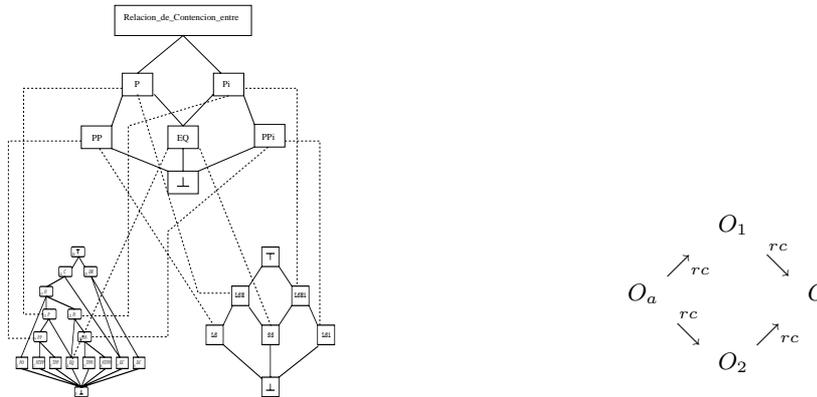
manera similar, se podría fusionar SIZE y la ontología clásica sobre intervalos temporales de J. Allen [1].

### 3. Evolución de ontologías espaciales

Podemos considerar la evolución de una ontología como una sucesión de extensiones y revisiones. Estos procesos están íntimamente ligados. Toda extensión es de hecho una revisión del conocimiento. Sin embargo, es evidente que la revisión inducida por una extensión es una tarea fácil de llevar a cabo con un editor de ontologías (usando p.e. PROTÉGÉ <http://protege.stanford.edu>).

La revisión de una ontología podría ser considerada como una tarea de revisión de creencias, ya estudiada en IA. Sin embargo, este caso es significativamente distinto. Una revisión puede provocar una reinterpretación de los elementos que la ontología representa. Por ejemplo, la propia teoría RCC es, de hecho, una revisión de este tipo de la teoría mereológica de Clarke [13], (que, a su vez, es una revisión de la mereología de Whitehead [32]). Otro aspecto a tener en cuenta es que en la WS, la evolución debe respetar ciertos principios básicos de *compatibilidad hacia atrás* [20]. Es decir, la fusión debe preservar ciertas características fundamentales de las ontologías iniciales.

Existen básicamente dos posibles formas de fusionar dos ontologías,  $O_1$  y  $O_2$ , mediante extensiones. La primera, que no es útil en nuestro caso, consiste en extender reiteradamente  $O_1$  definiendo los términos de  $O_2$  (con el lenguaje de  $O_1$ ). Esto produciría una extensión conservativa de  $O_1$  [5]. Como la obtención de tales definiciones no es posible en general, se podría pensar en la *inserción ontológica* de los términos de  $O_2$  en  $O_1$ . Para que la extensión tenga las propiedades adecuadas, es necesario diseñar axiomas que relacionen los términos de las dos ontologías, para preservar ciertas propiedades básicas [8]. Dicha inserción puede implicar una reinterpretación ontológica de algunos elementos de la fusión [12].



**Figura 5.** Articulación de RCC y SIZE y diagrama de fusión retículo categórica (derecha)

#### 4. Fusión de ontologías retículo-categorías

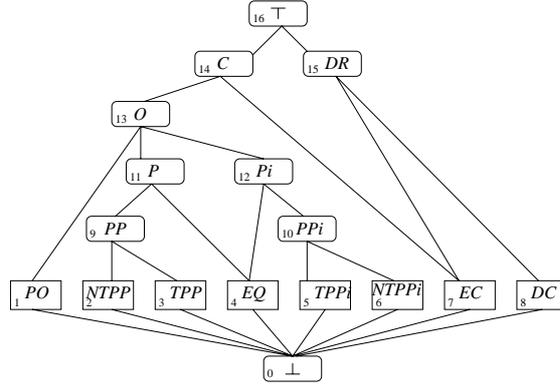
Un método intermedio entre las dos opciones anteriormente comentadas es explorado en [8,9]. La idea se basa en debilitar los principios bajo los que se rige la *metodología definicional* para el diseño de ontologías [7], de forma que se puedan insertar nuevos elementos y sólo se requiere que la extensión tenga cierto grado de categoricidad. Básicamente, sólo se exige que la extensión contenga suficiente información para deducir que el conjunto de conceptos posee la estructura pretendida por el diseñador. A continuación describimos brevemente esta idea (véanse [8,9] para más detalles).

Se supondrá a partir de ahora que el conjunto de conceptos de la ontología estudiada tiene estructura de retículo. Esta restricción es meramente formal; de hecho, muchos métodos de extracción y análisis de ontologías trabajan con retículos de conceptos (como el Análisis Formal de Conceptos [17]). Incluso, es usual en el diseño de ontologías de alto nivel (véase por ejemplo [29]). Aunque la técnica está pensada para ontologías descritas en Lógicas de la Descripción [10] (base lógica para el lenguaje OWL, <http://www.w3.org/TR/owl-features/>), es válida para teorías de primer orden en general.

Si consideramos una teoría  $T$  sobre el conjunto de conceptos  $\mathcal{C} = \{C_1, \dots, C_n\}$ , y  $M$  es modelo de  $T$ , denotaremos por  $R(M, T)$  el retículo formado por las interpretaciones de los conceptos de  $\mathcal{C}$  en  $M$ . Una teoría  $T$  es retículo-categoría si ese retículo es único (independiente del modelo) salvo isomorfismo. Es evidente que esa noción es más débil que la de categoricidad (de hecho, RCC es retículo categoría [12] pero no es categoría).

Precisemos un poco esta noción. Existe una relación natural entre las propiedades de  $R(M, T)$  y la propia teoría  $T$ , que hacen muy útil una descripción lógica de dicho retículo para trabajar con los conceptos de  $T$  [8]. Una descripción ecuacional  $E$  (en el lenguaje de retículos)<sup>3</sup> de  $R(M, T)$  se denomina *esqueleto*.

<sup>3</sup> Para mayor claridad, los esqueletos se describirán en Lógica Descriptiva.



**Figura 6.** El retículo de las relaciones espaciales de RCC

$$\begin{array}{lll}
 \top \equiv C \sqcup D & PO \sqsubseteq \neg P \sqcap \neg Pi \sqcap \neg DR & DR \equiv EC \sqcup DC \\
 NTPP \sqsubseteq \neg TPP \sqcap \neg Pi \sqcap \neg DR & C \equiv O \sqcup EC & TPP \sqsubseteq \neg Pi \sqcap \neg DR \\
 O \equiv PO \sqcup P \sqcup Pi & EQ \sqsubseteq \neg P Pi \sqcap \neg DR & Pi \equiv EQ \sqcup P Pi \\
 TPPi \sqsubseteq \neg NTPPi \sqcap \neg DR & P \equiv EQ \sqcup PP & NTPPi \sqsubseteq \neg DR \\
 P Pi \equiv TPPi \sqcup NTPPi & EC \sqsubseteq \neg DC & PP \equiv TPP \sqcup NTPP
 \end{array}$$

**Figura 7.** Representación *exógena* del esqueleto  $E_1$  de RCC.

Concretamente,  $E$  es un esqueleto si el propio  $E$  junto con los axiomas de nombres únicos, clausura de dominio y completación (los axiomas clásicos de las bases de datos) admite sólo un retículo como modelo.

Formalmente, una teoría es *retículo categórica* (r.c.) si todos sus esqueletos son equivalentes, una vez añadido la citada axiomatización de las bases de datos. Como el retículo es independiente del modelo cuando  $T$  es r.c., lo denotaremos por  $R(T)$ . Éste es el caso de RCC; la distribución que se muestra en la figura 6 es la única posible en los modelos de RCC.

El esqueleto recoge las relaciones conceptuales de la ontología que se desean preservar en la extensión. El diseño del esqueleto de RCC mostrado en la fig. 7 ha sido asistido por MACE4. Nótese que el esqueleto es una descripción de carácter *exógeno*. Es decir, expresa las propiedades de las conexiones espaciales, sólo relaciona entre sí los distintos tipos de conexión. En [8] se define el concepto de extensión retículo-categórica como sigue. Consideremos, para simplificar la notación, que una ontología r.c.  $O$  se especifica por un par  $(T, E)$  teoría/esqueleto. En adelante, sólo trabajaremos con ontologías r.c. Una ontología  $O_2 = (T_1, E_2)$  es una *extensión retículo categórica* de  $O_1 = (T_1, E_1)$  (notación:  $O_1 \rightarrow_{rc} O_2$ ) si  $R(T_1) \subseteq R(T_2)$  y  $R(T_2) \models E_1$ . Es decir, extiende el retículo de  $O_1$ , respetando las propiedades descritas en el esqueleto  $E_1$ .

Consideremos ahora el caso de la fusión de dos ontologías  $O_1$  y  $O_2$  (que, para simplificar, suponemos con lenguajes disjuntos). Supongamos, además, que

disponemos de un conjunto  $E'$  de fórmulas que relacionan conceptos de  $O_1$  y  $O_2$ . Una ontología r.c.  $O = (T, E)$  es una *fusión* de  $O_1$  y  $O_2$  si  $O_1 \rightarrow_{rc} O$ ,  $O_2 \rightarrow_{rc} O$  y  $R(T) \models E'$ , y además  $R(T)$  es de tamaño mínimo con esa propiedad. Adicionalmente, si disponemos de una articulación  $O_a$ , el diagrama de la fig. 5 (izq.) debe ser conmutativo. El siguiente procedimiento calcula una fusión retículo categorica. Extiende el método de inserción ontológica descrito en [8]:

1. Unir los esqueletos  $E_1$  y  $E_2$  con  $E'$ , obteniendo un conjunto  $E_0$ .
2. Buscar con MACE4 retículos que modelizan a  $E_0$ .
3. Si no existen tales retículos, las ontologías son incompatibles con respecto a  $E_0$ , y no existe fusión ( $E_0$  es inconsistente). Si existen, pasar a (4).
4. Inspeccionar un retículo de tamaño mínimo. Si alguna de sus relaciones no es aceptada por el usuario, refínese  $E_0$ , añadiendo nuevas (in)ecuaciones, para descartar tal retículo. Volver a aplicar MACE4 al refinamiento obtenido. Este paso se repite hasta que un modelo (de tamaño mínimo) sea aceptado por el usuario. De este modo se obtiene un esqueleto  $S_0$ .
5. Refinar  $S_0$  hasta que el único retículo de ese tamaño sea el aceptado por el usuario en el paso anterior, obteniendo  $S$ .
6. Certificar (con OTTER, si es necesario) que el modelo obtenido es único para  $S$ . De esta forma  $O = (T_1 \cup T_2 \cup S, S)$  es la fusión deseada.

El paso 5 asegura la retículo-categoricidad de la fusión. Como ya ha comentado comentado, Ocasionalmente es necesaria una etapa adicional, no mecánica, consistente en reinterpretar los términos de las ontologías iniciales [12].

#### 4.1. Fusionando RCC y SIZE

Spongamos que la intención es usar las relaciones de tamaño entre regiones conectadas. La intuición nos dice que se desconoce, a priori, la relación de tamaño entre regiones que no están conectadas. Nótese que esta intencionalidad conlleva una reinterpretación de las relaciones de SIZE. Por ejemplo,  $LS(x, y)$  se debe entender como *la región  $x$  está conectada a una región de mayor tamaño  $y$* . Esta reinterpretación es compatible con la articulación de la figura 5.

Partimos del esqueleto de SIZE siguiente:

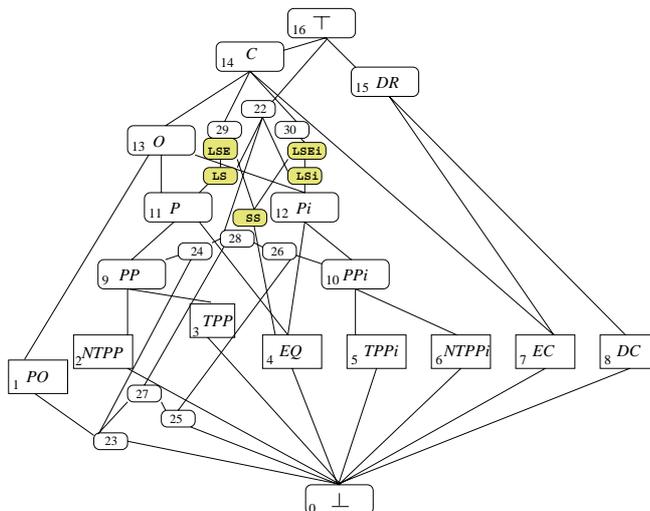
$$E_2 = \begin{cases} \top \equiv LS \sqcup LSi \sqcup SS & LSE \equiv SS \sqcup LS & LSi \sqsubseteq LSE \sqcap \neg SS \\ LSi \sqsubseteq \neg SS & \neg SS \equiv LS \sqcup LSi & LSEi \equiv SS \sqcup LSi \end{cases}$$

El conjunto de restricciones  $E_0$  estará formado por  $E'$  (fig. 4) junto con:

$$\begin{array}{lll} EC \not\sqsubseteq LSE & EC \not\sqsubseteq LSEi & SS \not\sqsubseteq \neg EC \\ DC \not\sqsubseteq LSE & DC \not\sqsubseteq LSEi & SS \not\sqsubseteq \neg DC \end{array}$$

La traza de la ejecución del procedimiento se resume en la siguiente tabla:

Refinamientos	Tamaño mínimo del modelo	número de modelos
sin refinamientos	23	8
$LS \not\sqsubseteq O, LS \not\sqsubseteq O$	24	1
$SS \not\sqsubseteq O$	24	1
$LS \sqcap PO \not\equiv \perp$	27	1
$LSi \sqcap PO \not\equiv \perp$	31	1
$SS \sqcap PO \not\equiv \perp$	31	1



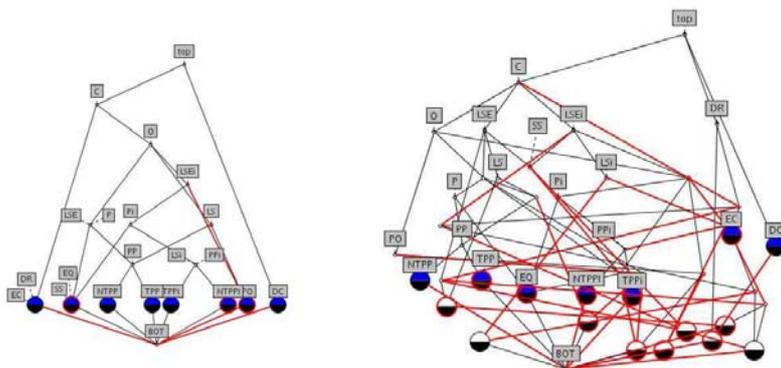
**Figura 8.** La fusión de RCC y SIZE especializada en conexión

El usuario acepta el modelo final (en la figura 8). Nótese que el usuario puede (y debe) interpretar algunos de los nodos nuevos. Por ejemplo, el nodo 22 representa la relación *tamaños distintos* (i.e.  $\neg SS$ ), y el nodo 23 representa la relación *x se solapa parcialmente con una región de distinto tamaño y*.

## 5. Conclusiones y relación con otros trabajos

Hemos presentado un método de fusión centrado en la conceptualización. Existen diferentes aproximaciones al problema, pero en general no usan buscadores de modelos de propósito general para ofrecer fusiones alternativas, como se hace en este artículo.

Por ejemplo, la herramienta Prompt [26] facilita las tareas necesarias para mezclar dos clases en una nueva clase, y localiza las posibles equivalencias. En nuestro método, limitado a la conceptualización, es el SRA el que induce la posible unión, mientras que Prompt pide que se refine el modelo ofrecido por el sistema. Esto puede implicar que el usuario está inconscientemente forzado a mantener relaciones que no son adecuadas. Hcone [23] es, en términos generales, una aproximación parecida. Sin embargo, se basa en el uso de Wordnet para determinar las relaciones entre las dos ontologías, mientras que en nuestro caso, el proceso parte de unas relaciones conocidas y el resto son inducidas por el método para su aprobación por el usuario. ONION [25] también utiliza componentes lingüísticos para calcular la articulación, aunque el proceso es parecido al mostrado en este trabajo. Sin embargo, nuestro método proporciona una ontología con cierto grado de categoricidad. Adicionalmente, al ofertar distintos modelos, se obliga al usuario a refinar el conocimiento para descartar los inadecuados, obteniendo así más información sobre la fusión.



**Figura 9.** Retículo inicial (izq.) y final (der.) después de la exploración de atributos

En [6] se formaliza la fusión mediante especificaciones algebraicas, siendo la fusión un colímite (en el sentido de teoría de categorías), cuando son compatibles. En nuestro caso, la(s) extensión(es) retículo categórica(s) común(es) obtenida(s) por MACE4 de tamaño mínimo pueden ser consideradas una variante práctica de tal fusión. La compatibilidad viene dada por la existencia de extensiones.

El método FCA-merge [31] es de carácter *extensional*: iguala conceptos con la misma extensión. Es decir, depende de las instancias (la *población* de la ontología). Nuestra propuesta es *intensional* (manejamos los conceptos); puede considerarse como una forma de exploración de atributos [17]. Para poder comparar los dos métodos con mayor profundidad, necesitamos una población para la ontología. Hemos utilizado un conjunto de datos sobre relaciones espaciales de provincias, comarcas y regiones del sur de España. Hemos adaptado FCA-merge para evitar el razonamiento lingüístico y sólo hemos utilizado la parte referente a la fusión de los retículos. En la figura 9 se muestra la fusión obtenida en primer lugar y la aceptada después de utilizar la exploración de atributos [17] para refinar el modelo. La conclusión, una vez experimentado con el método, es que la exploración de atributos requiere mucha más reflexión por parte del usuario que el refinamiento exigido en nuestro método. La razón es que este refinamiento está basado en el modelo de tamaño mínimo. Finalmente, una vez acabada la exploración de atributos, el modelo obtenido con FCA-merge contiene un número considerable de nodos no interesantes. Esto es debido a que para el Análisis Formal de Conceptos son interesantes -en teoría- todos los conceptos que se puedan extraer. Nuestro método proporciona una ontología más simple, con menos nodos redundantes, debido a su tamaño mínimo.

#### Aplicabilidad y posibles extensiones

Una limitación del método es que el tamaño de las ontologías a fusionar depende de la potencia del buscador de modelos utilizado. Sin embargo, para ontologías espacio-temporales, que son de pequeño tamaño, el método es adecuado con MACE4, pues el usuario puede reconocer la adecuación de la ontología

resultante. Por tanto, es perfectamente aplicable a ontologías temporales como la ya citada de J. Allen y otras similares [21]. Sería interesante diseñar *fusiones contextualizadas* para ontologías de gran tamaño. Una limitación a solventar en el futuro es la extensión del método para trabajar con roles.

Por último, y a la vista del experimento realizado en base al método de FCA-merge, parece adecuado usar la entropía (como en [9]) para seleccionar la fusión adecuada en cada paso del procedimiento en función de los datos.

## Agradecimientos

Financiado por el proyecto TIN2004-03884 *Sistemas verificados para el razonamiento en la Web Semántica*, Min. de Ed. y Ciencia (cofinanciado con Fondos FEDER).

## Referencias

1. J. F. Allen, Maintaining knowledge about temporal intervals, *Communications of ACM*, 26(11):832–843 (1983).
2. J. A. Alonso-Jiménez, J. Borrego-Díaz, A. M. Chávez-González and J. D. Navarro Marín, Towards a Practical Argumentative Reasoning with Qualitative Spatial Databases, 6th Int. Conf. on Industrial and Engineering Applications of AI and Expert Systems, *Lecture Notes in AI* 2718, 789-798, Springer-Verlag 2003.
3. J. A. Alonso-Jiménez, J. Borrego-Díaz and A. M. Chávez-González, Ontology Cleaning by Mereotopological Reasoning Proc. DEXA Workshop on Web Semantics (WebS'04), 2004. IEEE Press, 137-137.
4. J. A. Alonso-Jiménez, J. Borrego-Díaz and A. M. Chávez-González, Foundational challenges in Automated and Ontology Cleaning in the Semantic Web. *IEEE Intelligent Systems* 21(1):45-52 (2006).
5. G. Antoniou, A. Kehagias, A Note on the Refinement of Ontologies. *Int. Journal of Intelligent Systems* 15(7): 623-632 (2000).
6. T. Bench-Capon and G. Malcolm, Formalising Ontologies and Their Relations, Proc. of Database and Expert Systems Applications (DEXA 99), LNCS 1677, Springer-Verlag, 1999, pp 250-259.
7. B. Bennett, The Role of Definitions in Construction and Analysis of Formal Ontologies, Proc. of AAI 2003 Spring Symposium on Logical Formalization of Commonsense Reasoning, 27-35, AAI Press, 2003.
8. J. Borrego-Díaz and A. M. Chávez-González, Extension of Ontologies Assisted by Automated Reasoning Systems, 10th Int. Conf. on Computer Aided Systems Theory (EUROCAST 2005), LNCS 3643, 247-253, Springer-Verlag, 2005.
9. J. Borrego-Díaz and A. M. Chávez-González, Controlling Ontology Extension by Uncertain Concepts through Cognitive Entropy. ISWC'05 Workshop on Uncertainty Reasoning for the Semantic Web, 56-66 (2005). [http:// sunsite.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-173/ paper6.pdf](http://sunsite.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-173/paper6.pdf)
10. F. Baader, y otros (eds.), *The Description Logic Handbook. Theory, Implementation and Applications*, Cambridge Univ. Press, 2003.
11. T. Berners-Lee, J. Hendler and O. Lassila, *The Semantic Web*, Scientific American, May 2001.
12. A. M. Chávez González, *Razonamiento Mereotopológico Automatizado para la Depuración de Ontologías*, Tesis Doctoral, Univ. de Sevilla (2005).

13. B.L. Clarke, A Calculus of Individuals Based on 'Connection', *Notre Dame J. Formal Logic*, 22:204-218 (1981).
14. S. Colton, A. Meier, V. Sorge and R. McCasland, Automatic Generation of Classification Theorems for Finite Algebras, *Proc. Int. Joint Conf. on Automated Reasoning (IJCAR 2004)*, Lecture Notes in AI 3097, 400-414, Springer-Verlag (2004).
15. A. G. Cohn, B. Bennett, J. M. Gooday and N. M. Gotts. Representing and Reasoning with Qualitative Spatial Relations about Regions. chapter 4 in O. Stock (ed.), *Spatial and Temporal Reasoning*, Kluwer, 1997.
16. M. Cristani and A. G. Cohn, SpaceML: A Mark-up Language for Spatial Knowledge, *J. Visual Lang. Comput.*, 13(1) (2002), 97-116.
17. B. Ganter and R. Wille, *Formal Concept Analysis, Mathematical Foundations*, Springer, 1999.
18. A. Gerevini and J. Renz, Combining Topological and Size Information for Spatial Reasoning, *Artificial Intelligence* 137:1-42 (2002).
19. N. M. Gotts, An Axiomatic Approach to Topology for Spatial Information Systems, Report 96.25, School of Computer Studies, Univ. of Leeds, (1996).
20. J. Heflin, Towards the Semantic Web: Knowledge Representation in a Dynamic, Distributed Environment, Ph.D. Thesis, Univ. of Maryland, College Park, 2001.
21. D. Hernández, Qualitative Representation of Spatial Knowledge, *Lecture Notes in AI 804*, Springer-Verlag, 1994.
22. M. Knauff, R. Rauh and J. Renz, A Cognitive Assessment of Topological Spatial Relations: Results from an Empirical Investigation, *Proc. of the 3rd Int. Conf. on Spatial Information Theory (COSIT'97)*, Lecture Notes in Computer Science 1329, 193-206, Springer-Verlag (1997).
23. K. Kotis and G.A. Vouros, The Hcone approach to Ontology Merging, *Proc. of European Semantic Web Symposium (ESWS 2004)*, Lecture Notes in Computer Science 3053, 137-151, Springer-Verlag, 2004.
24. W. McCune and R. Padmanabhan, Automated Deduction in Equational Logic and Cubic Curves, *Lecture Notes in AI 1095*, Springer-Verlag, 1996.
25. P. Mitra, G. Wiederhold and M. L. Kersten, A Graph-Oriented Model for Articulation of Ontology Interdependencies, *Proc. 7th Int. Conf. Extending Database Tech. (EDBT 2000)*, LNCS 1777, 86-100, Springer-Verlag (2000).
26. N. F. Noy and M. A. Musen, The PROMPT suite: Interactive tools for ontology merging and mapping. *Int. J of Human-Computer Studies*, 59(6):983-1024 (2003).
27. J. Renz, Qualitative Spatial Reasoning with Topological Information, *Lecture Notes in AI 2293*, Springer-Verlag (2002).
28. S. Staab, R. Studer (eds.), *Handbook of Ontologies in Information Systems*, Springer-Verlag, 2004.
29. J. F. Sowa, *Knowledge Representation. Logical, Philosophical and Computational Foundations*, Brooks/Cole Pub., 2000.
30. J.G. Stell, Boolean Connection Algebras: A New Approach to the Region-Connection Calculus, *Artificial Intelligence* 122:111-136 (2000).
31. G. Stumme and Maedche, FCA-Merge: Bottom-Up Merging of Ontologies, *Proc. of the 17th Int. Joint Conf. on AI (IJCAI'01)*, Morgan Kaufmann, 2001.
32. A. N. Whitehead, *Process and Reality*, MacMillan, New York (1929).
33. F. Wolter and M. Zakharyashev, Qualitative Spatio-Temporal Representation and Reasoning: a Computational Perspective, in: G. Lakemeyer and B. Nebel (eds.) *Exploring AI in the New Millenium*, Morgan Kaufmann, 2002, 273-381.