Módulo de una Ontología

Paula Severi

University of Leicester

Curso Julio 2018. Facultad de Ingeniería.
Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Resumen de la Clase

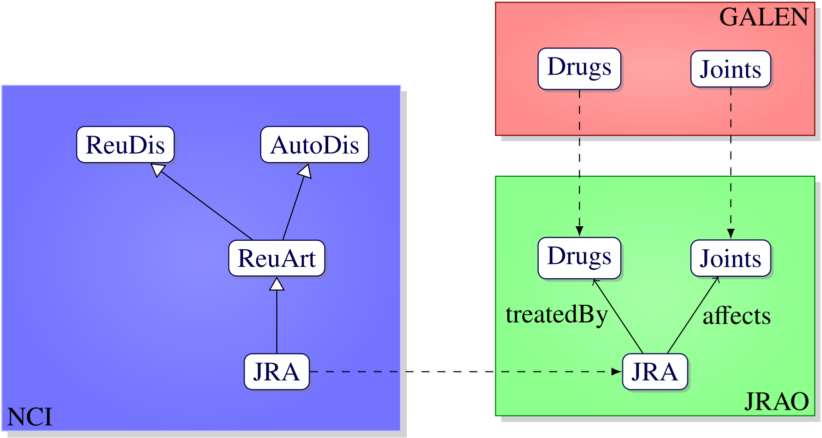
1. Extensión conservativa para un lenguaje de ontologías arbitrario.
2. Ontología segura para una signatura.
3. Extensión conservativa por modelos vs Ontologías seguras.
4. Módulo de una ontología.
5. Condiciones suficientes que garantizan seguridad.

Motivación

Ontologías escritas en OWL-DL:

- NCI (National Cancer Institute Ontology). Describe enfermedades.
- GALEN. Representa anatomía humana y medicamentos.
- JRAO (Juvenile Rheumatoid Arthritis Ontology). Describe un tipo de artitris.

Motivación


GALEN
Drugs
Joints
NCI
ReuDis
AutoDis
ReuArt
JRA
JRAO
Drugs
Joints
treatedBy
affects
JRA

Motivación

Para desarrollar JRAO, se quiere reusar conocimiento de NCI y GALEN sin cambiar el significado de los conceptos reusados.
Si de JRAO y NCI se deduce que la artitris juvenil es un desorden genético, esto se tiene que poder deducir de NCI.

Estamos desarrollando una ontología $\mathcal{O}_2$ y queremos reusar símbolos de $\mathcal{O}_1$ sin cambiar su significado. Para esto, pedimos que $\mathcal{O}_1 \cup \mathcal{O}_2$ sea una extensión conservativa de $\mathcal{O}_1$.

Un lenguaje de ontologías $\mathcal{L}$ está dado por $(\mathbf{S}, \mathbf{Ax}, \mathbf{sig}, \models)$ donde

- $\mathbf{S}$ es el *vocabulario* o *signatura* de $\mathcal{L}$,
- $\mathbf{Ax}$ es un conjunto de *axiomas*,
- $\mathbf{sig}(\alpha) \subseteq \mathbf{S}$ es la signatura de α donde $\alpha \in \mathbf{Ax}$,
- $\mathcal{O} \models \alpha$ es la relación de deducción entre una *ontología* $\mathcal{O} \subseteq \mathbf{Ax}$ y un axioma $\alpha \in \mathbf{Ax}$.

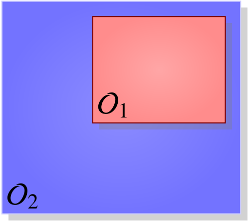
Ejemplo: $\mathcal{SHIQ} = \mathcal{ALCQ}+$ roles transitivos, inversos, jerarquía de roles.

- $\mathbf{S}$ es el conjunto de nombres de conceptos, nombres de roles, sus inversos y nombres de individuos.
- $\mathbf{Ax}$ es el conjunto de inclusiones $C \sqsubseteq D$ de conceptos, inclusiones $R \sqsubseteq S$ de roles, aserciones $a : A$, $(a, b) : R$ y declaraciones de la forma $\mathsf{Trans}(R)$.

Extensión Conservativa (Deductiva)

Sea el lenguaje de ontologías $\mathcal{L}$ dado por $(\mathbf{S}, \mathbf{Ax}, \mathbf{sig}, \models)$.

Sean $\mathcal{O}_1 \subseteq \mathcal{O}_2 \subseteq \mathbf{Ax}$ ontologías sobre $\mathcal{L}$.



Sea $S \subseteq \mathbf{S}$. Decimos que $\mathcal{O}_2$ es una S-extensión conservativa de $\mathcal{O}_1$ si para todo axioma α de $\mathcal{L}$ con $\mathbf{sig}(\alpha) \subseteq S$, tenemos que $\mathcal{O}_1 \models \alpha$ si y solo si $\mathcal{O}_2 \models \alpha$.

Decimos que $\mathcal{O}_2$ es una extensión conservativa de $\mathcal{O}_1$ si $\mathcal{O}_2$ es una S-extensión conservativa de $\mathcal{O}_1$ para $S = \mathbf{sig}(\mathcal{O}_1)$

Ejemplo Ontología sobre Proyectos Médicos

MPO Medical Projects Ontology

$$
\begin{array}{llrl}
P_1 & & \mathsf{GeneticDisorderProject} = & \mathsf{Project} \sqcap \exists \mathsf{hasFocus.GeneticDisorder} \\
P_2 & & \mathsf{CysticFibrosisEUProject} = & \mathsf{EUProject} \sqcap \exists \mathsf{hasFocus.CysticFibrosis} \\
P_3 & & \mathsf{EUProject} \sqsubseteq & \mathsf{Project} \\
P_4 & & \mathsf{hasFocurs}.\top \sqsubseteq & \mathsf{Project}
\end{array}
$$

El ontologista que desarrolla MPO

- sabe del tema proyectos pero no es experto en medicina,
- usa los términos CysticFibrosis y GeneticDisorder.
- decide reusar conocimiento sobre estos de una ontología conocida sobre medicina.

Ejemplo Ontología Sobre Medicina

MTO Medical Terms Ontology

$$
\begin{array}{lrl}
M_1 & \mathsf{CysticFibrosis} = & \mathsf{Fibrosis} \sqcap \exists \mathsf{locatedIn.Pancreas} \sqcap \\
 & & \exists \mathsf{hasOrigin.GeneticOrigin} \\
M_2 & \mathsf{GeneticDisorder} = & \mathsf{Fibrosis} \sqcap \\
 & & \exists \mathsf{hasOrigin.GeneticOrigin} \\
M_3 & \mathsf{Fibrosis} \sqcap \exists \mathsf{locatedIn.Pancreas} \sqsubseteq & \mathsf{GeneticFibrosis} \\
M_4 & \mathsf{GeneticFibrosis} \sqsubseteq & \mathsf{GeneticDisorder} \\
M_5 & \mathsf{DEFBI} - \mathsf{Gene} \sqsubseteq & \mathsf{InmProteinGene} \sqcap \\
 & & \exists \mathsf{associatedWith.CysticFibrosis}
\end{array}
$$

MPO importa MTO.

MTO $\cup$ MPO es una extensión conservativa de MTO.

Caso de inconservatividad que no importa

Consecuencias lógicas nuevas de la ontología principal MPO son esperables cuando se importa otra ontología como MTO.

$\mathsf{MTO} \cup \mathsf{MPO}$ no es una extensión conservativa de MPO.

$$\begin{array}{l} \mathsf{MTO} \models \mathsf{CysticFibrosis} \sqsubseteq \mathsf{GeneticDisorder} \\ \mathsf{MTO} \cup \mathsf{MPO} \models \mathsf{CysticFibrosisEUProject} \sqsubseteq \mathsf{GeneticDisorderProject} \\ \mathsf{MPO} \not\models \mathsf{CysticFibrosisEUProject} \sqsubseteq \mathsf{GeneticDisorderProject} \end{array}$$

No importa que $\mathsf{MTO} \cup \mathsf{MPO}$ no sea una extensión conservativa de MPO.

Caso indeseado de inconservatividad

E Axiomas Extras que agregamos a MPO(Medical Projects Ontology)

$$E_1 \quad \mathsf{Project} \sqcap \mathsf{GeneticDisorder} \sqcap \mathsf{CysticFibrosis} \sqsubseteq \bot$$
$$E_2 \quad \forall \mathsf{hasFocus}.\mathsf{CysticFibrosis} \sqsubseteq \exists \mathsf{hasFocus}.\mathsf{GeneticDisorder}$$

Errores en el modelado:

- Toda instancia de Project es diferente de toda instancia de GeneticDisorder y de toda instancia de CysticFibrosis.
- Todo proyecto que hasFocus en CysticFibrosis tiene también hasFocus en CysticFibrosis.

Caso indeseado de inconservatividad

$\mathsf{MTO} \cup \mathsf{MPO} \cup \mathsf{E}$ no es una extensión conservativa de MTO.

$$\begin{aligned} \mathsf{MTO} \cup \mathsf{MPO} \cup \mathsf{E} &\models \mathsf{CysticFibrosis} \sqsubseteq \bot \\ \mathsf{MTO} &\not\models \mathsf{CysticFibrosis} \sqsubseteq \bot \end{aligned}$$

Lo que no debe pasar es que uno cambien el significado de los términos de MTO ya que estos términos se suponen completamente especificados dentro de MTO.

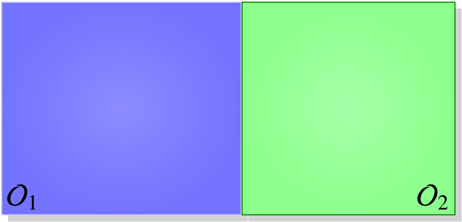
Importación de una Ontología en forma segura

Sea el lenguaje de ontologías $\mathcal{L}$ dado por $(\mathbf{S}, \mathbf{Ax}, \mathbf{sig}, \models)$.

Sea $\mathcal{O}_2$ una ontología sobre $\mathcal{L}$ y $S \subseteq \mathbf{S}$.

Ontología segura con respecto a otra ontología

Decimos que $\mathcal{O}_2$ es segura para $\mathcal{O}_1$ (o que $\mathcal{O}_2$ importa $\mathcal{O}_1$ en forma segura) si $\mathcal{O}_1 \cup \mathcal{O}_2$ es una extensión conservativa de $\mathcal{O}_1$.



Motivación de Ontología Segura para una Signatura

La ontología O_1 a ser reusada no es estática, pueden evolucionar fuera del control de los que desarrollan O_2.

Es conveniente mantener O_1 separada. Los que desarrollan O_2 no se tienen que comprometer con una versión dada de O_1.

Ontología segura para una signatura: noción mas fuerte que la de extensión conservativa. Se abstrae de la ontología particular que se va a reusar y se concentra en los símbolos.

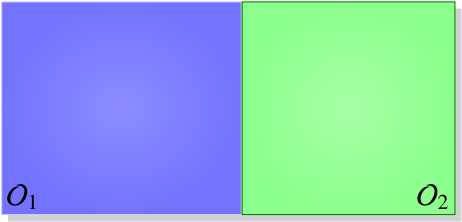
Ontología Segura para una Signatura

Sea el lenguaje de ontologías $\mathcal{L}$ dado por $(\mathbf{S}, \mathbf{Ax}, \mathbf{sig}, \models)$.

Sea $\mathcal{O}_2$ una ontología sobre $\mathcal{L}$ y $S \subseteq \mathbf{S}$.

Ontología Segura para una Signatura

Decimos que $\mathcal{O}_2$ es segura para S si para toda ontología $\mathcal{O}_1$ sobre $\mathcal{L}$ tal que $\mathbf{sig}(\mathcal{O}_1) \cap \mathbf{sig}(\mathcal{O}_2) \subseteq S$, tenemos que $\mathcal{O}_1 \cup \mathcal{O}_2$ es una extensión conservativa de $\mathcal{O}_1$.



Ejemplo. $\mathsf{MPO} \cup \{E_1, E_2\}$ no es segura para $S = \{\mathsf{CysticFibrosis}, \mathsf{GeneticDisorder}\}$.

Ejemplo de ontología insegura

Suponemos JRAO contiene los siguientes axiomas.

$$\textsf{PolyarticularJRA} \sqsubseteq \textsf{JRA} \tag{1}$$

$$\textsf{JuvenileChronicPolyarthritis} \sqsubseteq \textsf{PolyarticularJRA} \tag{2}$$

donde los conceptos en rojo son reusados y vienen de NCI.

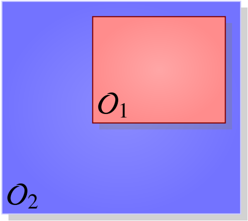
JRAO NO es segura con respecto a
$S = \{\textsf{JRA}, \textsf{JuvenileChronicPolyarthritis}\}$.

$NCI \not\models \textsf{JuvenileChronicPolyarthritis} \sqsubseteq \textsf{JRA}$
$NCI \cup JRAO \models \textsf{JuvenileChronicPolyarthritis} \sqsubseteq \textsf{JRA}$

Extensión conservativa por modelos

Sea el lenguaje de ontologías $\mathcal{L}$ dado por $(\mathbf{S}, \mathbf{Ax}, \mathbf{sig}, \models)$.

Sean $\mathcal{O}_1 \subseteq \mathcal{O}_2 \subseteq \mathbf{Ax}$ ontologías sobre $\mathcal{L}$.



Sea $S \subseteq \mathbf{S}$. Decimos que $\mathcal{O}_2$ es una S-extensión conservativa por modelos de $\mathcal{O}_1$ si para todo modelo $\mathcal{I}$ de $\mathcal{O}_1$, existe un modelo $\mathcal{J}$ de $\mathcal{O}_2$ tal que $\mathcal{I}$ y $\mathcal{J}$ coinciden en S.

Decimos que $\mathcal{O}_2$ es una extensión conservativa por modelos de $\mathcal{O}_1$ si $\mathcal{O}_2$ es una S-extensión conservativa por modelos de $\mathcal{O}_1$ para $S = \mathbf{sig}(\mathcal{O}_1)$

Ejemplo de extensión conservativa por modelos

MTO $\cup$ MPO $\cup \{E_1\}$ es una extensión conservativa por modelos de MTO.

Sea $S = \mathbf{sig}(\text{MTO})$ e $\mathcal{I}$ un modelo de MTO,

$$\mathcal{J}(A) = \begin{cases} \mathcal{I}(A) & \text{si } A \in S \\ \emptyset & \text{otro caso} \end{cases} \qquad \mathcal{J}(R) = \begin{cases} \mathcal{I}(R) & \text{si } R \in S \\ \emptyset & \text{otro caso} \end{cases}$$

$\mathcal{J}$ es un modelo de MTO $\cup$ MPO $\cup \{E_1\}$

Extensión Conservativa por Modelos vs Deductiva

Propiedad

Si $\mathcal{O}_2$ es una $\mathcal{S}$-extensión conservativa por modelos de $\mathcal{O}_1$ entonces $\mathcal{O}_2$ es una $\mathcal{S}$-extensión conservativa deductiva de $\mathcal{O}_1$.

El recíproco no se cumple.

$\mathcal{T}_1 = \{\exists R.\top \sqcap \exists S.\top = \top\} \qquad \mathcal{T}_2 = \{\exists R.A \sqcap \exists S.\neg A = \top\}$

$\mathcal{T}_1 \cup \mathcal{T}_2$ es una extensión conservativa deductiva de $\mathcal{T}_1$ pero no es una extensión conservativa por modelos.

Extensión Conservativa por Modelos vs Seguridad

Propiedad

Si $\mathcal{O}$ es una S-extensión conservativa por modelos de la ontología $\emptyset$ entonces $\mathcal{O}$ es segura para S.

Ejemplo.
$\textsf{MPO} \cup \{E_1\}$ es segura para $S = \{\textsf{CysticFibrosis}, \textsf{GeneticDisorder}\}$ (donde $\mathcal{L} = \mathcal{SHIOQ}$).
Sea $\mathcal{I}$ una interpretación.

$$\mathcal{J}(A) = \begin{cases} \mathcal{I}(A) & \text{si } A \in S \\ \emptyset & \text{otro caso} \end{cases} \qquad \mathcal{J}(R) = \begin{cases} \mathcal{I}(R) & \text{si } R \in S \\ \emptyset & \text{otro caso} \end{cases}$$

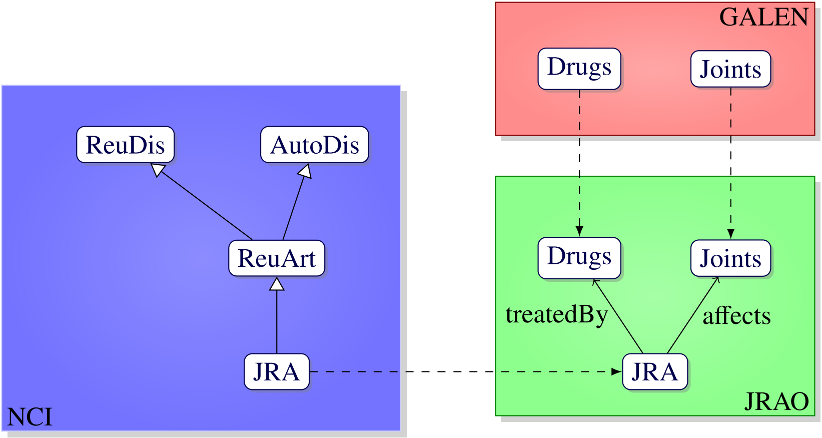
$\mathcal{J}$ es un modelo de $\textsf{MPO} \cup \{E_1\}$

Motivación de Módulos

Ontologías escritas en OWL-DL:

- NCI (National Cancer Institute Ontology) Describe enfermedades.
- GALEN. Representa anatomía humana y medicamentos.
- JRAO (Juvenile Rheumatoid Arthritis Ontology) Describe un tipo de artitris.

Motivación de Módulos



Motivación de módulos

Únicamente ciertas subpartes de NCI y Galen son relevantes para describir la artritris juvenil.

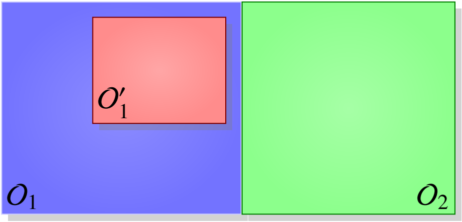
JRAO quiere importar únicamente esos axiomas de NCI y GALEN que son relevantes para JRAO.

Al importar un fragmento no se debe perder información.

Si de JRAO y NCI se deduce que JRA es un desorden genético entonces esto tambén se deduce de la unión de JRAO y el fragmento de NCI elegido.

¿Qué es un módulo de una ontología?

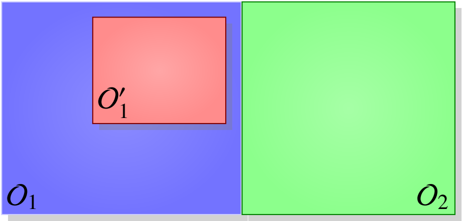
Se puede extraer un módulo O'_1 de O_1 si O'_1 da exactamente las mismas respuestas que O_1 independiente de O_2.



Módulo

Sea el lenguaje de ontologías $\mathcal{L}$ dado por $(\mathbf{S}, \mathbf{Ax}, \mathbf{sig}, \models)$.

Sean $O_1' \subseteq O_1, O_2$ ontologías sobre $\mathcal{L}$.



Módulo para una ontología

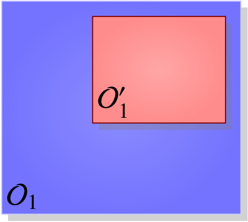
Decimos que O_1' *es un módulo de* O_1 *para* O_2 si $O_1 \cup O_2$ es una S-extensión conservativa de $O_1' \cup O_2$ para $S = \mathbf{sig}(O_2)$

Módulo para una signatura

Sea $S \subseteq \mathbf{S}$. Decimos que O_1' es un módulo de O_1 para S si O_1' es un módulo de O_1 para O_2 para todo O_2 tal que $\mathbf{sig}(O_1) \cap \mathbf{sig}(O_2) \subseteq S$.

Propiedad

Si $O_1 - O'_1$ es segura para $S \cup \mathbf{sig}(O'_1)$ entonces O'_1 es un módulo de O_1 para S.



Resultados sobre indecidibilidad

Consecuencia de lo que vimos clase pasada: El problema de determinar si una ontología es segura (o un módulo) en $\mathcal{ALCQIO}$ es indecidibile.

Se puede probar: El problema de determinar si una ontología es un módulo en $\mathcal{ALCO}$ es indecidibile.

¿ Cómo chequeamos que una ontología sea segura?

Condiciones suficientes para la Seguridad

Sea $\mathcal{L} = \mathcal{SHOIQ}$.

Familia de Clases de Ontologías

Para cada S signatura de $\mathcal{L}$, $\mathbf{O}_S$ es un conjunto de ontologías.

Familia Segura

$\{\mathbf{O}_S \mid S \text{ signatura}\}$ es una familia segura si:

1. $\emptyset \in \mathbf{O}_S$
2. $\mathcal{O}$ es una ontología segura para S, para toda $\mathcal{O} \in \mathbf{O}_S$

Familia de Interpretaciones Locales

$\{\mathbf{I}_S \mid S$ signatura$\}$ es una familia de interpretaciones locales si para cada S signatura de $\mathcal{L}$, $\mathbf{I}_S$ es un conjunto de interpretaciones que satisface:

- para todo interpretación $\mathcal{I}$ de $\mathcal{L}$, existe una interpretación $\mathcal{J} \in \mathbf{I}_S$ tal que $\mathcal{I}$ y $\mathcal{J}$ coinciden en los símbolos de S.

Ejemplo. $\mathbf{I}_S^{\emptyset}$ es el conjunto de interpretaciones $\mathcal{I}$ tal que $A^{\mathcal{I}} = R^{\mathcal{I}} = \emptyset$ para todo $A, R \notin S$.
$\{\mathbf{I}_S^{\emptyset} \mid S$ signatura$\}$ es una familia de interpretaciones locales ya que para toda interpretación $\mathcal{I}$ existe $\mathcal{J} \in \mathbf{I}_S^{\emptyset}$ definida con $\Delta^{\mathcal{J}} = \Delta^{\mathcal{I}}$ y además:

$$\mathcal{J}(A) = \begin{cases} \mathcal{I}(A) & \text{si } A \in S \\ \emptyset & \text{otro caso} \end{cases} \qquad \mathcal{J}(R) = \begin{cases} \mathcal{I}(R) & \text{si } R \in S \\ \emptyset & \text{otro caso} \end{cases}$$

Familia de Ontologías Locales

Sea $\{\mathbf{I}_S \mid S \text{ signatura}\}$ una familia de interpretaciones locales. Decimos que $\{\mathbf{O}_S \mid S \text{ signatura}\}$ es una familia de ontologías locales (basada en $\mathbf{I}$) si:

- $\mathbf{O}_S = \{\mathcal{O} \text{ ontología } \mid \mathcal{I} \models \mathcal{O} \;\; \forall \mathcal{I} \in \mathbf{I}_S\}$

Ejemplo.
Sea $\{\mathbf{I}_S^{\emptyset} \mid S \text{ signatura}\}$ es una familia de interpretaciones locales:

$$\mathbf{I}_S^{\emptyset} = \{\mathcal{I} \text{ interpretación } \mid A^{\mathcal{I}} = R^{\mathcal{I}} = \emptyset \;\; \forall A, R \notin S\}$$

$\{\mathbf{O}_S^{\emptyset} \mid S \text{ signatura}\}$ es una familia de ontologías locales:

$$\mathbf{O}_S^{\emptyset} = \{\mathcal{O} \text{ ontología } \mid \mathcal{I} \models \mathcal{O} \;\; \forall \mathcal{I} \in \mathbf{I}_S^{\emptyset}\}$$

Condiciones suficientes para la Seguridad

Teorema. Localidad implica Seguridad

Si $\{\mathbf{O}_S \mid S \text{ signatura}\}$ es una familia de ontologías locales (basada en $\mathbf{I}$) entonces $\{\mathbf{O}_S \mid S \text{ signatura}\}$ es una familia de ontologías seguras.

Corolario

$\{\mathbf{O}^{\emptyset}_S \mid S \text{ signatura}\}$ es una familia de ontologías seguras.

Ejemplo.

$\mathsf{MPO} \cup \{E_1\} \in \mathbf{O}^{\emptyset}_S$ para $S = \{\mathsf{CysticFibrosis}, \mathsf{GeneticDisorder}\}$.

Chequeo de Localidad

Lo hacemos para $\mathcal{ALC}$ (para simplificar).

$$
\begin{array}{ll}
\tau_S(\top) & = \top \\
\tau_S(A) & = \begin{cases} \bot & \text{si } A \notin S \\ A & \text{otro caso} \end{cases} \\
\tau_S(C \sqcap D) & = \tau_S(C) \sqcap \tau_S(D) \\
\tau_S(\exists R.C) & = \begin{cases} \bot & \text{si } R \notin S \\ \exists R.\tau_S(C) & \text{otro caso} \end{cases} \\
\tau_S(C \sqsubseteq D) & = \tau_S(C) \subseteq \tau_S(D) \\
\tau_S(a : C) & = a : \tau_S(C) \\
\tau_S(\mathcal{O}) & = \bigcup_{\alpha \in \mathcal{O}} \tau_S(\alpha)
\end{array}
$$

Teorema

$\mathcal{O} \in \mathbf{O}^{\emptyset}$ si y solo si $\tau_S(\mathcal{O})$ es una tautología.

Ejemplo

$\mathcal{O}$
M_2 $\quad \mathsf{GeneticDisorder} = \mathsf{Fibrosis} \sqcap \exists \mathsf{hasOrigin.GeneticOrigin}\}$

- $\mathcal{O}$ es local con respecto a $S_1 = \{\mathsf{Fibrosis}, \mathsf{GenticOrigin}\}$

  $\tau_{S_1}(M_2)$ es $\bot = \mathsf{Fibrosis} \sqcap \bot$

- $\mathcal{O}$ no es local con respecto a $S_2 = \{\mathsf{GeneticFibrosis}, \mathsf{hasOrigin}\}$.

  $\tau_{S_2}(M_2)$ es $\mathsf{GeneticDisorder} = \bot \sqcap \exists \mathsf{hasOrigin}.\bot$

Bibliografía para esta clase

- Cuenca Grau, Horrocks, Kazakov, Sattler. Modal reuse of ontologies: Theory and Practice. Journal of Artificial Intelligence, 2008.
- Jiménez Ruiz, Cuenca Grau, Sattler, Shneider, Berlanga. Safe and Economic Reuse of Ontologies: A logic based methodology and tool support.

Sitios Web de las Ontologías

- NCI. http://nciterms.nih.gov/NCIBrowser/Dictionary.do
- GALEN. http://www.co-ode.org/galen
- JRAO. http://www.health-e-child.org