

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ OBJETIVOS

1. Destacar los aspectos fundamentales de la representación del conocimiento
2. Visualizar los problemas que surgen durante el ciclo de codificación-descodificación
3. Comentar los aspectos fundamentales que deben observar todos los esquemas de representación del conocimiento
4. Estudiar la lógica de proposiciones y la lógica de predicados
5. Comenzar a codificar conocimiento
6. Resolver problemas con conocimiento
7. Introducir otras lógicas

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Contenidos

1. Aspectos generales de la representación del conocimiento
2. Lógica de proposiciones y lógica de predicados
3. Ingeniería del conocimiento y lógica formal
4. Evaluación y resolución en lógica formal
5. Introducción a otras lógicas

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Bibliografía

- Nilsson, Principios de Inteligencia Artificial, Díaz de Santos, eds., 1987
- Rich, Inteligencia Artificial, G.Gili, eds., 1988
- Rolston, Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos, McGraw-Hill, eds., 1990
- Rich & Knight, Inteligencia Artificial, McGraw-Hill, eds., 1994

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Aspectos generales de la representación del conocimiento
 - No podemos decir que algo se comporta de manera inteligente, si no es capaz de manejar de manera eficaz un conjunto mínimo de conocimientos
 - Los programas de IA deben explotar eficazmente un conjunto de conocimientos de un dominio concreto
 - Encontramos dos entidades diferentes
 - Hechos o verdades del dominio
 - Representaciones internas de los hechos o verdades
 - Fase de codificación-descodificación
 - Pérdida de información

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Condiciones mínimas de cualquier esquema de representación del conocimiento (1)
 - Transparencia: ¿Podemos identificar fácilmente el conocimiento representado?
 - Naturalidad: ¿Podemos representar el conocimiento en su forma original?
 - Claridad: ¿Podemos representar directamente el conocimiento?

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Condiciones mínimas de cualquier esquema de representación del conocimiento (2)
 - Eficiencia: ¿Podemos acceder fácilmente a conocimientos específicos durante la ejecución de un programa?
 - Adecuación: ¿El esquema de representación elegido es capaz de representar convenientemente todos los conocimientos y tipos de conocimientos que se requieren?
 - Modularidad: ¿Podemos fragmentar los distintos tipos de conocimientos?

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Flexibilidad versus Nivel de Conocimiento
 - Cuanto mayor sea el nivel del conocimiento, menor será su flexibilidad
 - El conocimiento de alto nivel es muy potente, pero muy poco flexible
 - El conocimiento de bajo nivel es muy flexible, pero es muy poco potente
- Clasificación de los esquemas de representación del conocimiento
 - Métodos Declarativos
 - De carácter estático, enfatizan la representación de hechos, e incluyen cierta información genérica sobre cómo usarlos
 - Métodos Procedimentales
 - De carácter dinámico, enfatizan la representación de las relaciones entre hechos. La representación de los hechos suele ser implícita

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Lógica de Proposiciones y Lógica de Predicados de primer orden
 - Consideraremos a ambas como Lógicas Formales
 - La lógica formal permite obtener conocimiento nuevo a partir de conocimiento ya existente, mediante procesos preferentemente deductivos
 - En lógica formal, una aseveración es cierta si podemos demostrar que se deduce a partir de otras aseveraciones que se sabe que son ciertas

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Algo sobre lógica de proposiciones...
 - En lógica de proposiciones, los hechos del mundo real se representan como proposiciones lógicas que son fórmulas bien definidas, o fórmulas bien formadas (respectivamente FBDs o FBFs)
 - Tintín es periodista → TINTINPERIODISTA
 - Carnicero es periodista → CARNICEROPERIODISTA

- Algunos problemas de la lógica de proposiciones
 - ¿Cómo podemos representar eficazmente varios ejemplos de una misma entidad o clase?
 - ¿Cómo podemos tratar el problema de la cuantificación?

- Lógica de proposiciones → Lógica de predicados
 - En lógica de predicados de primer orden el conocimiento se representa como declaraciones lógicas que son FBDs o FBFs

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- FBDs válidas en Lógica de Predicados
 - PERIODISTA (TINTIN)
 - PERIODISTA (CARNICERO)
 - PERIODISTA (x)
 - $(\forall x) \text{ PERIODISTA } (x) \rightarrow \text{ESCRIBE } (x)$
- Componentes de un esquema de representación del conocimiento basado en lógica de predicados de primer orden
 - Alfabeto
 - Lenguaje formal
 - Enunciados básicos o axiomas
 - Reglas inferenciales
- Los axiomas son fragmentos de conocimiento y las reglas inferenciales operan sobre los axiomas para construir nuevos axiomas

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Alfabeto

- Conjunto de símbolos a partir de los cuales se construyen los enunciados
 - Predicados
 - Variables
 - Funciones
 - Constantes
 - Juntores
 - Cuantificadores
 - Delimitadores

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Predicados

- Son relaciones en el dominio de discurso
- Un predicado será verdadero o falso
- Un predicado es verdadero si sus elementos verifican la relación especificada
- Predicados y elementos constituyentes dan lugar a fórmulas atómicas o átomos
- Ejemplos
 - HOMBRE (JUAN)
 - MASALTO (JUAN, PEPE)
 - MASALTO (JUAN, padre (PEPE))

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Variables

- Son conjuntos de constantes

■ Funciones

- Son estructuras que describen elementos y los identifican como el resultado único de una transformación
- Padre (PEPE), madre (padre (PEPE)), asesino (x)

■ Constantes

- Son los elementos o entidades del dominio de discurso
- MILÚ, IDEFIX

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Juntos

- (and) La FBD es cierta si todos y cada uno de sus componentes lo son
- (or) La FBD es cierta si al menos uno de sus componentes lo es
- (xor) La FBD es cierta si uno cualquiera, pero no ambos, de sus componentes lo es
- (\neg) Cambia el estado lógico de una expresión
- (\rightarrow) Relaciona antecedente, A, con consecuente, B, de la forma:
 $\neg A$ or B
- (=) Establece la equivalencia lógica entre dos expresiones

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Cuantificadores

- Dada una variable cuantificada (x) y una FBD (alcance del cuantificador), se define...
 - Cuantificación universal
 - $(\forall x) \text{ FBD} \rightarrow$ Cierta para todos los valores de (x)
 - $(\forall x) \{ \text{PERSONA}(x) \rightarrow \text{NECESITAAIRE}(x) \}$
 - Cuantificación existencial
 - $(\exists x) \text{ FBD} \rightarrow$ Hay algún (x) que hace cierta a la FBD
 - $(\exists x) \{ \text{DUEÑO}(x, \text{BARCO}) \wedge \text{DUEÑO}(x, \text{COCHE}) \}$

■ Delimitadores

- Elementos como: $()$, $[]$, $\{ \}$, ... que son necesarios para obtener representaciones correctas del conocimiento (expresiones)

■ Los Juntores, los Cuantificadores, y los Delimitadores pueden considerarse como elementos gramaticales

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Lenguaje Formal

- En lógica de predicados de primer orden el lenguaje formal es el conjunto de todas las FBDs que se pueden construir legalmente a partir del alfabeto

■ Definición inductiva de FBD

1. Cualquier fórmula atómica es FBD
2. Si F y G son FBDs, también lo son:
 1. $F \wedge G$
 2. $F \vee G$
 3. $F \rightarrow G$
 4. $F = G$
 5. $\neg F$
3. Si x es una variable, y F es una FBD, también son FBDs:
 1. $(\forall x) F$
 2. $(\exists x) F$

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Expresiones complejas del tipo:
 - $(\exists x) \{(\forall y) [P(x,y) \wedge Q(x,y) \wedge R(x,x) \rightarrow R(x,y)]\}$... son una representación formal en algún dominio de discurso (siempre que x e y sean variables)

- Expresiones más sencillas, como las que siguen, no son FBDs en lógica de predicados de primer orden
 1. $\neg f(A)$
 2. $(\forall P) P(A)$
 3. $(\exists f) f(A)$

- Las lógicas que no permiten cuantificación sobre predicados, o sobre funciones, son lógicas de primer orden

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Reglas de Inferencia

- La inferencia lógica es el proceso de generar FBDs a partir de FBDs ya existentes, mediante el uso de reglas de inferencia

■ Algunas reglas de inferencia...

- Modus Ponens

- $\{P1 \wedge (P1 \rightarrow P2)\} \rightarrow P2$

- Humo \rightarrow Fuego , Humo... luego Fuego

- Especialización Universal

- $A \wedge (\forall x) f(x) \rightarrow f(A) \dots$ [A es un Individuo]

- Toda planta necesita agua , Lirio es planta... luego Lirio necesita agua

■ Trabajo personal

- Localizar, definir y describir más reglas de inferencia

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ INGENIERÍA DEL CONOCIMIENTO Y LÓGICA FORMAL

- La Ingeniería del Conocimiento es el proceso de estructurar y codificar el conocimiento, para que éste pueda ser utilizado de forma eficiente por un programa de inteligencia artificial
- En lógica formal, la ingeniería del conocimiento supone:
 1. IDENTIFICACIÓN: Identificación y comprensión del conocimiento relevante
 2. FORMALIZACIÓN: Formalización de los enunciados
 3. DESCOMPOSICIÓN: Análisis o fragmentación de los enunciados en sus partes constituyentes
 4. TRADUCCIÓN: Establecimiento de la simbología adecuada para representar elementos y relaciones
 5. RECOMPOSICIÓN: Construcción de las FBDs

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Ejemplo: Codificar en lógica de predicados “Milú es un perro foxterrier blanco”
 - Descomposición
 - Milú es un perro
 - Milú es un foxterrier
 - Milú es blanco
 - Traducción
 - PERRO (MILÚ)
 - FOXTERRIER (MILÚ)
 - BLANCO (MILÚ)
 - Recomposición
 - $\text{PERRO (MILÚ)} \wedge \text{FOXTERRIER (MILÚ)} \wedge \text{BLANCO (MILÚ)}$

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Otro ejemplo: Luis, que es trompetista, ni juega al fútbol, ni toca el acordeón
 - Problemas
 - Buscamos siempre expresiones lo más simétricas posibles, siempre y cuando el resultado sea aceptable
 - ¿No jugar al fútbol = No ser futbolista?
 - ¿No tocar el acordeón = No ser acordeonista?
 - Cada vez que se manipula la información se desvirtúa → Entropía de la información

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Descomposición (... analizar resultado)
 - Luis es trompetista
 - Luis no es futbolista
 - Luis no es acordeonista
- Traducción
 - TROMPETISTA (LUIS)
 - \neg FUTBOLISTA (LUIS)
 - \neg ACORDEONISTA (LUIS)
- Recomposición
 - $TROMPETISTA (LUIS) \wedge \neg FUTBOLISTA (LUIS) \wedge \neg ACORDEONISTA (LUIS)$

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Ejemplo inverso: prueba de interpretación

- $(\forall x) \{\neg \text{DEPORTE}(x) \rightarrow \text{ENGORDA}(x)\}$
- Literalmente
 - Todo elemento de un referencial dado, si no hace deporte entonces engorda
- $(\forall x) \{\text{PERSONA}(x) \wedge \neg \text{DEPORTE}(x) \rightarrow \text{ENGORDA}(x)\}$
 - ¿Todo el que no hace deporte engorda?
 - ¿La inactividad produce aumento de peso?
 - ¿Quien lleva una vida sedentaria suele engordar?
- Cada transformación implica siempre pérdida de información

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Codificar:

- No recuerdo si Carmen se encontró una pulsera o un collar, pero lo cierto es que se puso muy contenta
 - ¿Es importante que yo lo recuerde, o no?
 - ¿Es importante el tiempo de la acción?
 - ¿Se puso Carmen contenta por lo que se encontró? (Relación Causal)
 - ¿Se pueden perder matices cuantitativos?

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Descomposición (analizar...)

- Carmen se puso (muy) contenta
- Carmen se encontró una pulsera
- Carmen se encontró un collar

■ Traducción

- MUYCONTENTA (CARMEN)
- ENCONTRAR (CARMEN, PULSERA)
- ENCONTRAR (CARMEN, COLLAR)

■ Recomposición

- ENCONTRAR (CARMEN, PULSERA) \vee ENCONTRAR (CARMEN, COLLAR) \rightarrow MUYCONTENTA (CARMEN)

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Caso especial

– Naturaleza dual del junctor “or”

1. A cualquiera le gusta el arte o el deporte
2. En EEUU todos son o republicanos o demócratas

$$■ (\forall x) \{PERSONA(x) \rightarrow GUSTAARTE(x) \vee GUSTADEPORTE(x)\}$$

$$■ (\forall x) \{EEUSIENSE(x) \rightarrow [REPUBLICANO(x) \vee DEMÓCRATA(x)] \wedge \neg [REPUBLICANO(x) \wedge DEMÓCRATA(x)]\}$$

$$■ (\forall x) \{PERSONA(x) \rightarrow [GUSTAARTE(x) \vee GUSTADEPORTE(x)] \vee [GUSTAARTE(x) \wedge GUSTADEPORTE(x)]\}$$

$$■ (\forall x) \{EEUSIENSE(x) \rightarrow REPUBLICANO(x) \vee DEMÓCRATA(x)\}$$

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Evaluación y resolución en lógica de predicados
 - Procedimiento estricto:
 - La verdad de una fórmula compleja supone la reducción sucesiva, desde dentro hacia fuera, utilizando convenientemente la tabla de verdad

X	Y	$X \wedge Y$	$X \vee Y$	$X \oplus Y$	$X \rightarrow Y$	$\neg X$	$X = Y$
SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI
SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO
NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI
NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Dados los siguientes axiomas:

- Algún P es falso
- Q y R son verdaderos
- Concluir algo acerca de la declaración:
 - $\{ [P \vee (Q \wedge R)] \wedge \neg P \} \rightarrow (Q \wedge P)$

■ Solución (cierto = t , falso = f):

- $(Q \wedge R) = t$
- $(P \vee t) = t$
- $(t \wedge \neg P) = t$
- $(Q \wedge P) = f$
- $(t \rightarrow f) = f$
- La declaración completa es falsa

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- El procedimiento estricto se complica incluso en dominios sencillos
 - Sea el siguiente conjunto de declaraciones:
 1. Marco fue un hombre que nació en Pompeya
 2. Todos los pompeyanos eran romanos
 3. César era un gobernante al que muchos romanos profesaban lealtad, otros – sin embargo – no le eran leales
 4. Todo el mundo es leal a alguien
 5. Cuando alguien intenta asesinar a un gobernante es porque no le es leal
 6. Marco intentó asesinar a César
 - ¿Fue Marco leal a César?

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Codificación

1. HOMBRE (MARCO)
2. POMPEYANO (MARCO)
3. $(\forall x) \text{POMPEYANO}(x) \rightarrow \text{ROMANO}(x)$
4. GOBERNANTE (CÉSAR)
5. $(\forall x) \text{ROMANO}(x) \rightarrow \text{LEALA}(x, \text{CÉSAR}) \oplus \text{ODIA}(x, \text{CÉSAR})$
6. $(\forall x) (\exists y) \text{LEALA}(x, y)$
7. $(\forall x) (\forall y) \{ \text{PERSONA}(x) \wedge \text{GOBERNANTE}(y) \wedge \text{INTENTAASESINAR}(x, y) \rightarrow \neg \text{LEALA}(x, y) \}$
8. INTENTAASESINAR (MARCO, CÉSAR)

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Reducción con una hipótesis razonable
 - \neg LEALA (MARCO, CÉSAR)
 - En (7): PERSONA (MARCO) \wedge GOBERNANTE (CÉSAR) \wedge INTENTAASESINAR (MARCO, CÉSAR)
 - En (4): PERSONA (MARCO) \wedge INTENTAASESINAR (MARCO, CÉSAR)
 - En (8): PERSONA (MARCO)... ¿?
 - Aparece una cláusula irresoluble
 - $(\forall x) \text{HOMBRE } (x) \rightarrow \text{PERSONA } (X)$
 - Deficiencias: codificación, sentido común, demasiadas sustituciones,...
 - Alternativa: Procedimiento de demostración que resolviese en una única operación

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Resolución en lógica formal
 - Declaraciones previamente normalizadas
 - Procedimiento de resolución por refutación
 - Trataremos de encontrar que la negación de una declaración produce una contradicción axiomática
- Fórmula Normalizada Conjuntiva de Davis
 - El objetivo es simplificar las FBDs separando los cuantificadores del resto de la fórmula

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Procedimiento:

1. Eliminar implicaciones
2. Reducir el número de negaciones
3. Normalizar variables para que cada cuantificador esté ligado a una única variable
4. Obtener la fórmula normalizada PRENEX = Prefijo de cuantificadores + Matriz libre de cuantificadores existenciales
5. Eliminar cuantificadores existenciales
6. Abandonar el prefijo
7. Convertir la matriz en una conjunción de disyunciones
8. Identificar las cláusulas
9. Normalizar las variables por separado, en el conjunto de cláusulas generadas en el paso anterior

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Tablas de equivalencias (1)

1. $P1 \rightarrow P2 = \neg P1 \vee P2$
2. $P1 \vee (P2 \wedge P3) = (P1 \vee P2) \wedge (P1 \vee P3)$
3. $P1 \wedge (P2 \vee P3) = (P1 \wedge P2) \vee (P1 \wedge P3)$
4. $(P1 \rightarrow P2) = (\neg P2 \rightarrow \neg P1)$
5. $\neg (\neg P1) = P1$
6. $\neg (P1 \vee P2) = (\neg P1 \wedge \neg P2)$
7. $\neg (P1 \wedge P2) = (\neg P1 \vee \neg P2)$
8. $\neg (\forall x) P (x) = (\exists x) \neg P (x)$
9. $\neg (\exists x) P (x) = (\forall x) \neg P (x)$

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Tablas de equivalencias (2)

1. $P1 \vee f = P1$

2. $P1 \vee v = v$

3. $P1 \wedge f = f$

4. $P1 \wedge v = P1$

5. $P1 \vee \neg P1 = v$

6. $P1 \wedge \neg P1 = f$

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Puntos importantes

- Eliminación de implicaciones
 - $P1 \rightarrow P2 = \neg P1 \vee P2$
- Eliminación de negaciones
 - $\neg(\neg P1) = P1$
 - Leyes de Demorgan
 - Equivalencias entre cuantificadores
- Normalización de variables
 - Dado que las variables no tienen valores concretos...
 - $(\forall x) P(x) \vee (\forall x) Q(x) = (\forall x) P(x) \vee (\forall y) Q(y)$

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Eliminación de cuantificadores existenciales

- Hay al menos un valor que hace cierta la FBD. Aunque no sepamos cuál es, sabemos que existe
- $(\exists y) \text{PRESIDENTE}(y) = \text{PRESIDENTE}(S)$
- S es una función sin argumentos que hace que PRESIDENTE sea verdad
- Si hay cuantificadores universales que afectan a cuantificadores existenciales, hay que respetar el número de argumentos
 - $(\forall x) (\exists y) \text{PADREDE}(y, x) = (\forall x) \text{PADREDE}[S(x), (x)]$
- $S(x) =$ Función de Skolem
- S = Constante de Skolem

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Una vez conseguida la fórmula PRENEX podemos abandonar el prefijo, puesto que la FBD no se ve afectada... ¿Por qué?
- Para convertir la matriz en una conjunción de disyunciones empleamos las propiedades:
 - Asociativa: $P1 \vee (P2 \vee P3) = (P1 \vee P2) \vee P3$
 - Distributiva: $(P1 \wedge P2) \vee P3 = (P1 \vee P3) \wedge (P2 \vee P3)$

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- $(\text{INVIERNO} \wedge \text{BOTAS}) \vee (\text{VERANO} \wedge \text{SANDALIAS})$



- $\{\text{INVIERNO} \vee (\text{VERANO} \wedge \text{SANDALIAS})\} \wedge \{\text{BOTAS} \vee (\text{VERANO} \wedge \text{SANDALIAS})\}$



- $(\text{INVIERNO} \vee \text{VERANO}) \wedge (\text{INVIERNO} \vee \text{SANDALIAS}) \wedge (\text{BOTAS} \vee \text{VERANO}) \wedge (\text{BOTAS} \vee \text{SANDALIAS})$

- La última expresión es una conjunción de disyunciones

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Convertir a fórmula normalizada conjuntiva de Davis la declaración:

$$- (\forall x) \{[\text{ROMANO}(x) \wedge \text{CONOCE}(x, \text{MARCO})] \rightarrow [\text{ODIA}(x, \text{CÉSAR}) \vee (\forall y) [(\exists z) \text{ODIA}(y, z) \rightarrow \text{CREELOCO}(x, y)]]\}$$

1. $(\exists z) \text{ODIA}(y, z) \rightarrow \text{CREELOCO}(x, y) =$
 $\neg (\exists z) \text{ODIA}(y, z) \vee \text{CREELOCO}(x, y) =$
 $(\forall z) \neg \text{ODIA}(y, z) \vee \text{CREELOCO}(x, y) = \text{Alfa}$
2. $(\forall x) \{[\text{ROMANO}(x) \wedge \text{CONOCE}(x, \text{MARCO})] \rightarrow$
 $[\text{ODIA}(x, \text{CÉSAR}) \vee (\forall y) \text{Alfa}]\}$
3. $(\forall x) \{\neg [\text{ROMANO}(x) \wedge \text{CONOCE}(x, \text{MARCO})] \vee$
 $[\text{ODIA}(x, \text{CÉSAR}) \vee (\forall y) \text{Alfa}]\}$

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

$(\forall x) \{ \neg [\text{ROMANO}(x) \wedge \text{CONOCE}(x, \text{MARCO})] \vee [\text{ODIA}(x, \text{CÉSAR}) \vee (\forall y) \text{Alfa}] \}$

4. $(\forall x) \{ [\neg \text{ROMANO}(x) \vee \neg \text{CONOCE}(x, \text{MARCO})] \vee [\text{ODIA}(x, \text{CÉSAR}) \vee (\forall y) [(\forall z) \neg \text{ODIA}(y, z) \vee \text{CREELOCO}(x, y)]] \}$
5. $(\forall x) (\forall y) (\forall z) \{ \neg \text{ROMANO}(x) \vee \neg \text{CONOCE}(x, \text{MARCO}) \vee \text{ODIA}(x, \text{CÉSAR}) \vee \neg \text{ODIA}(y, z) \vee \text{CREELOCO}(x, y) \}$
6. $\neg \text{ROMANO}(x) \vee \neg \text{CONOCE}(x, \text{MARCO}) \vee \text{ODIA}(x, \text{CÉSAR}) \vee \neg \text{ODIA}(y, z) \vee \text{CREELOCO}(x, y)$

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Resolución en Lógica de Proposiciones

– Dados los axiomas:

■ P

■ $(P \wedge Q) \rightarrow R$

■ $(S \vee T) \rightarrow Q$

■ T

– Demostrar R por refutación

1. Interpretación de axiomas
2. Obtención de la fórmula clausal
3. Introducción de la hipótesis negada
4. Resolución paso a paso hasta encontrar una contradicción

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Proceso

$$- P \wedge [(P \wedge Q) \rightarrow R] \wedge [(S \vee T) \rightarrow Q] \wedge T$$

$$- P \wedge [\neg (P \wedge Q) \vee R] \wedge [\neg (S \vee T) \vee Q] \wedge T$$

$$- P \wedge (\neg P \vee \neg Q \vee R) \wedge [(\neg S \wedge \neg T) \vee Q] \wedge T$$

$$- P \wedge (\neg P \vee \neg Q \vee R) \wedge (\neg S \vee Q) \wedge (\neg T \vee Q) \wedge T$$

$$- P \wedge (\neg P \vee \neg Q \vee R) \wedge (\neg S \vee Q) \wedge (\neg T \vee Q) \wedge T \wedge \neg R$$

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ CLÁUSULAS

1. P
2. $\neg P \vee \neg Q \vee R$
3. $\neg S \vee Q$
4. $\neg T \vee Q$
5. T
6. $\neg R$

■ RESOLUCIÓN

- $2 \otimes 6 = \neg P \vee \neg Q$
- $\neg P \vee \neg Q \otimes 1 = \neg Q$
- $\neg Q \otimes 4 = \neg T$
- $\neg T \otimes 5 = \{\emptyset\}$
- Contradicción axiomática por negación de $R \rightarrow R$ es cierta

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Introducción a otras lógicas

– Deficiencias de las lógicas de primer orden

1. Grados relativos entre magnitudes
2. Incertidumbre
3. Imprecisión
4. Conocimiento probabilístico
5. Conocimiento inexacto
6. Falta de conocimiento
7. Heurísticas amplias

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Nuevos modelos
 1. Lógicas no monótonas
 2. Razonamiento probabilístico
 3. Tratamiento de la incertidumbre
 4. Lógica difusa
 5. Modelos de credibilidad
- En lógica no monótona, la verdad de una afirmación puede estar basada en la falta de confianza en otra afirmación
- Los sistemas de primer orden son monótonos y crecientes, porque el número de declaraciones ciertas se incrementa estrictamente a lo largo de los procesos inferenciales

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

■ Ventajas de los sistemas monótonos

- Cuando se deduce una nueva declaración no es preciso realizar ningún análisis de consistencia
- Dada una declaración que acaba de ser demostrada, no es necesario recordar las declaraciones en las que se ha basado la demostración, ya que no van a desaparecer

■ Sistemas no monótonos

- En general, basan su estrategia en el hecho de que, normalmente, no disponemos de toda la información para resolver un problema
- Se realizan suposiciones que pueden ser luego confirmadas o invalidadas, y dan lugar al llamado Razonamiento por Defecto

MÉTODOS FORMALES DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- Razonamiento por defecto
 - Si X no es conocido, Entonces concluir Y
 - Pero en casi todos los sistemas formales gran parte del conocimiento está implícito
 - Si X no puede demostrarse, Entonces concluir Y
 - ¿Pero cómo podemos estar seguros de que X no puede demostrarse?
 - ¿Qué papel juegan las implicaciones temporales?
 - Si X no puede demostrarse en un determinado instante, Entonces concluir Y
 - Pero ahora la cuestión no es de carácter estrictamente lógico
 - Aparecen cuestiones relacionadas con la potencia computacional, la eficiencia de los procesos de búsqueda, etc
 - La cuestión es difícil de formalizar → Necesidad de definir esquemas no formales de representación del conocimiento