

Inteligencia Computacional

Unidad IV

Lógicas.

Lógica proposicional. Lógica de primer orden.

Inferencia.

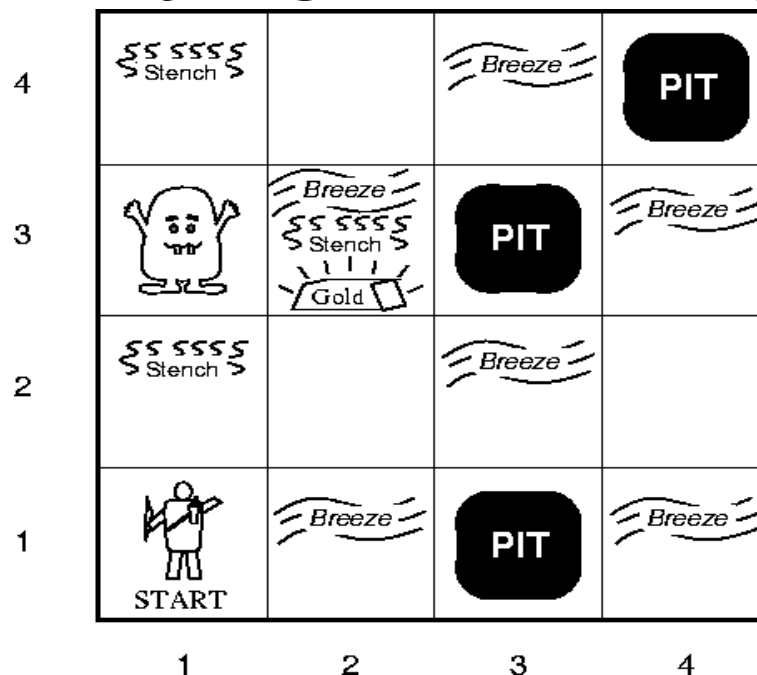
Sistemas de producción con encadenamiento hacia adelante.

Docente:

Dr. Georgina Stegmayer

gstegmayer@santafe-conicet.gov.ar

El juego del Wumpus

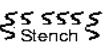



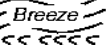
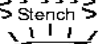
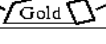

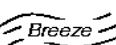
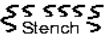




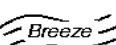


- ✓ Un **cazador** explora un mundo formado por habitaciones.
- ✓ En alguna habitación reside **Wumpus**
- ✓ Algunas habitaciones poseen **cuevas** mortales.
- ✓ En alguna habitación del ambiente hay una barra de **oro** que puede ser tomada por el cazador.

El juego del Wumpus

Objetivo:

Encontrar el ORO
sin entrar en una celda con Wumpus vivo
o con caverna

4	 Stench		 Breeze	
3		   Stench Gold		 Breeze
2	 Stench		 Breeze	
1	 START	 Breeze		 Breeze
	1	2	3	4

Conocimiento del problema/juego:

1. En la celda que contiene el Wumpus y en las adyacentes se percibe un mal olor
2. En la celda directamente adyacente a un pozo se percibe una brisa
3. En la celda en donde hay oro se percibe un resplandor
4. Cuando el Wumpus es destruido, emite un gemido que se percibe en todos lados
5. Cuando el cazador choca contra una pared percibe un golpe
6. El cazador muere si entra en una celda con el Wumpus o un pozo. Si el Wumpus está muerto, la celda es segura pero hay mal olor.

El juego del Wumpus

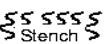
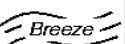


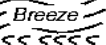
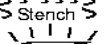
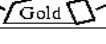

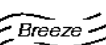
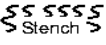





Información que se recibe del juego (percepciones) :

olor, brisa, resplandor, golpe y gemido

(lista de 5 valores)

Por ejemplo:

(1, 1, 1, 0, 0)

4	 Stench		 Breeze	
3		 Breeze  Stench  Gold		 Breeze
2	 Stench		 Breeze	
1	 START	 Breeze		 Breeze
	1	2	3	4

Acciones para el cazador:

Avanzar,

Girar-Derecha (90°) ,

Girar-Izquierda (90°),

Levantar (un objeto que esté en la misma celda),

Lanzar-Flecha (el cazador tiene una sola flecha) y

Depositar.

El juego del Wumpus

EXPERIMENTEMOS CON EL DOMINIO DE WUMPUS

(0 , 0 , 0 , 0 , 0)

OK			
OK <div>A</div>	OK		

El juego del Wumpus

EXPERIMENTEMOS CON EL DOMINIO DE WUMPUS

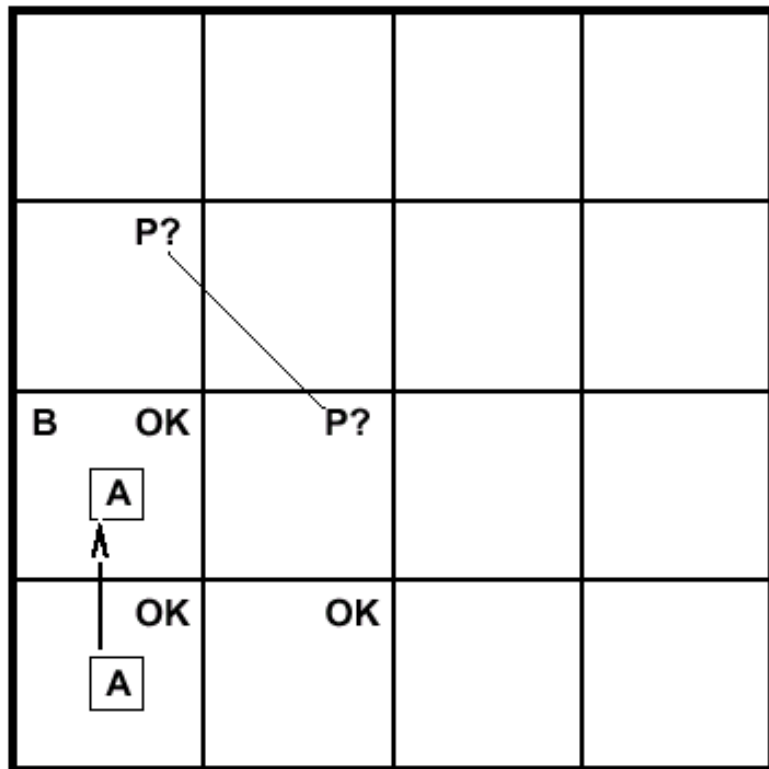
$(0, 0, 0, 0, 0)$

OK			
OK A	OK		

$(0, 1, 0, 0, 0)$

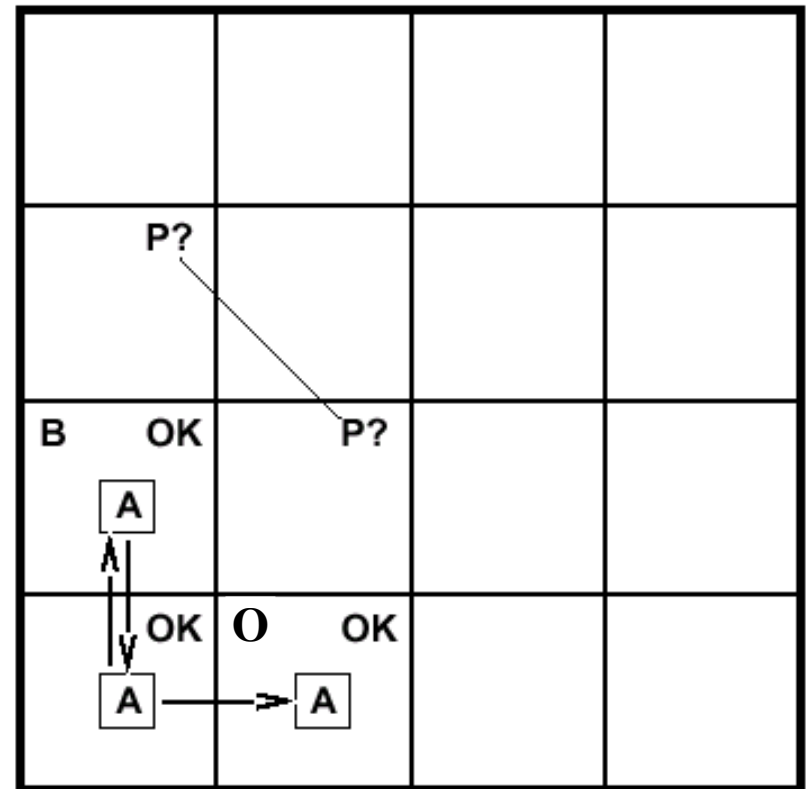
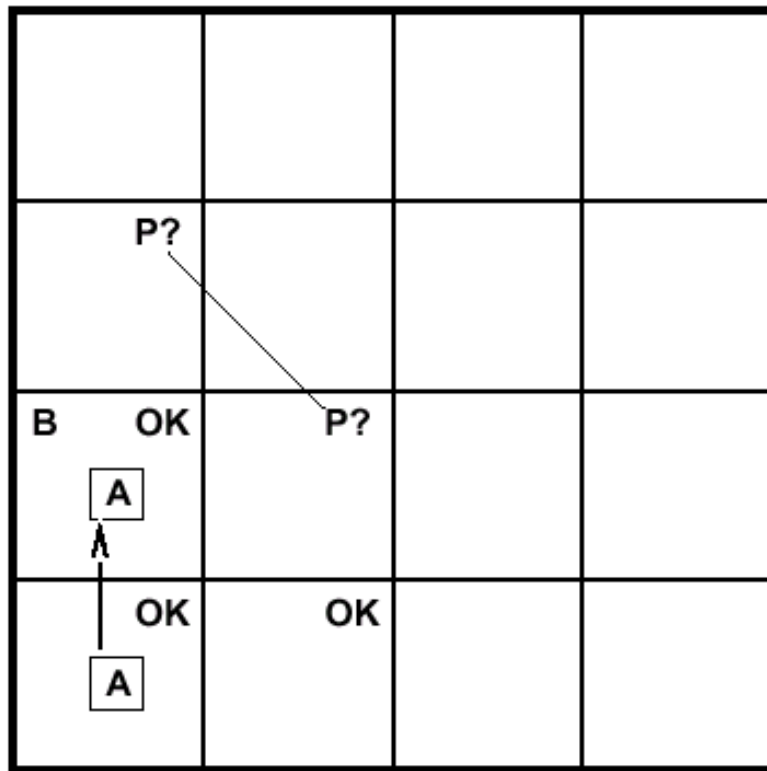
B OK			
A			
A OK	OK		

El juego del Wumpus

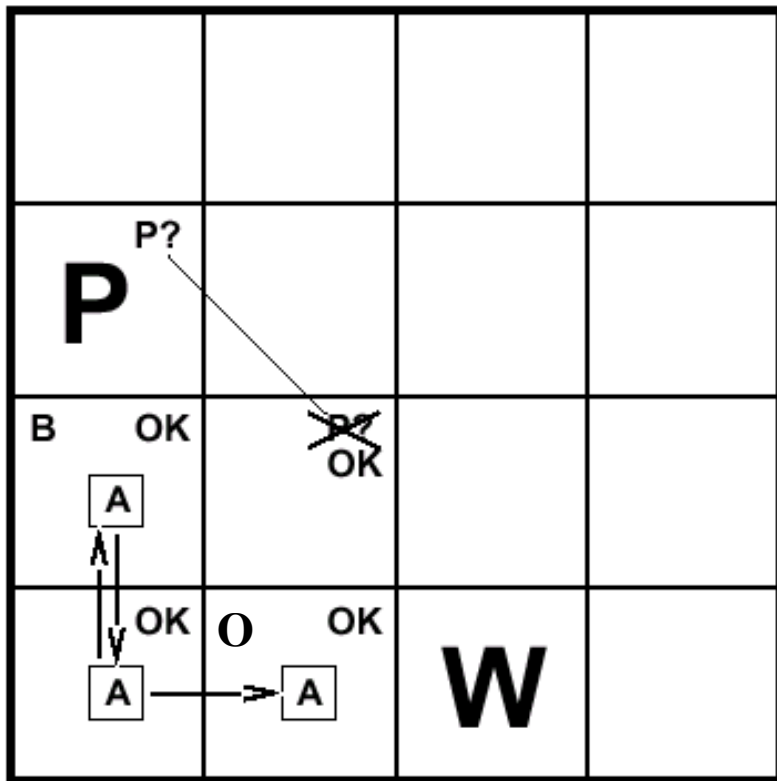


El juego del Wumpus

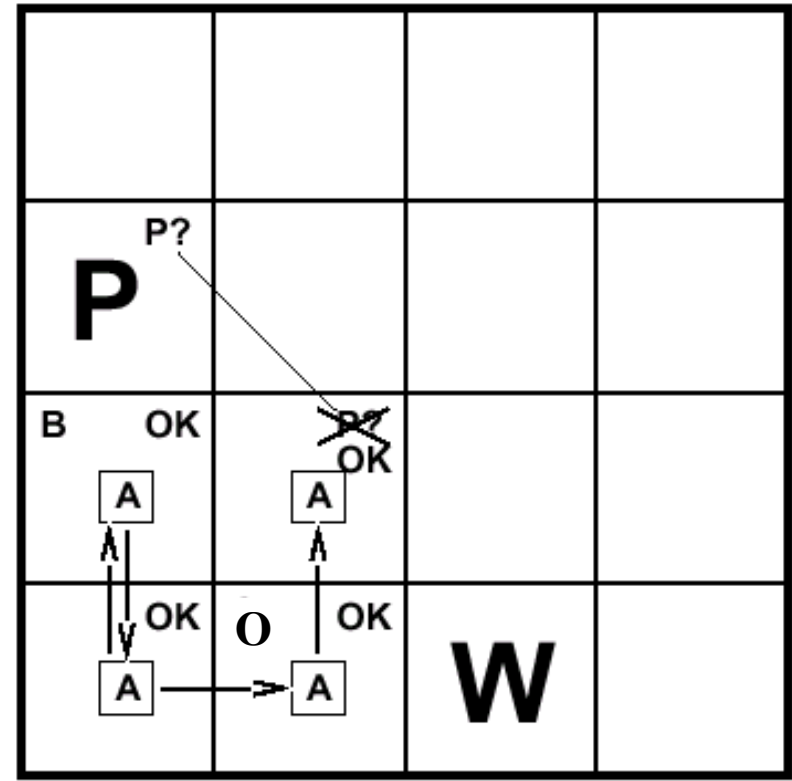
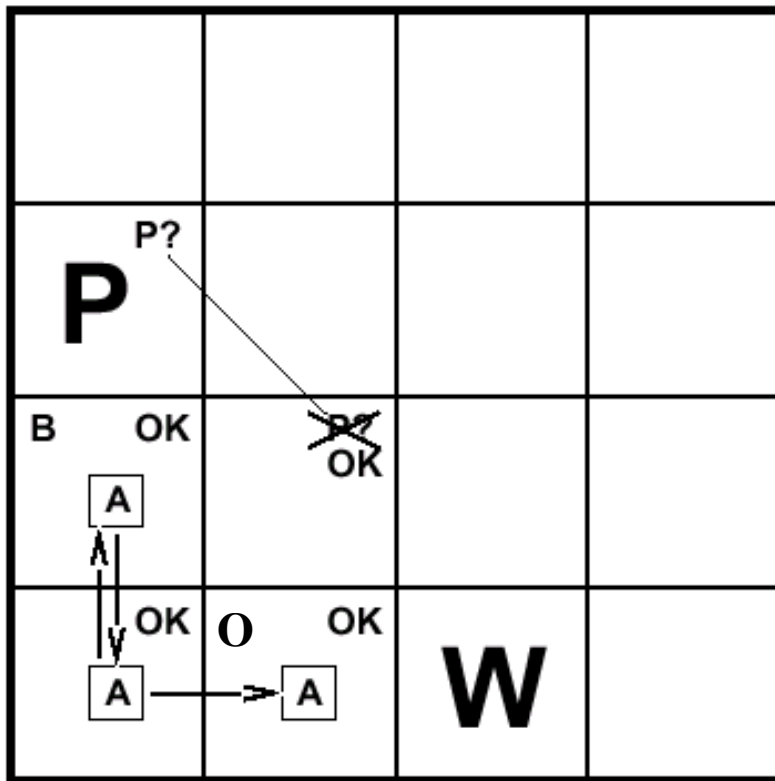
(1, 0, 0, 0, 0)



El juego del Wumpus

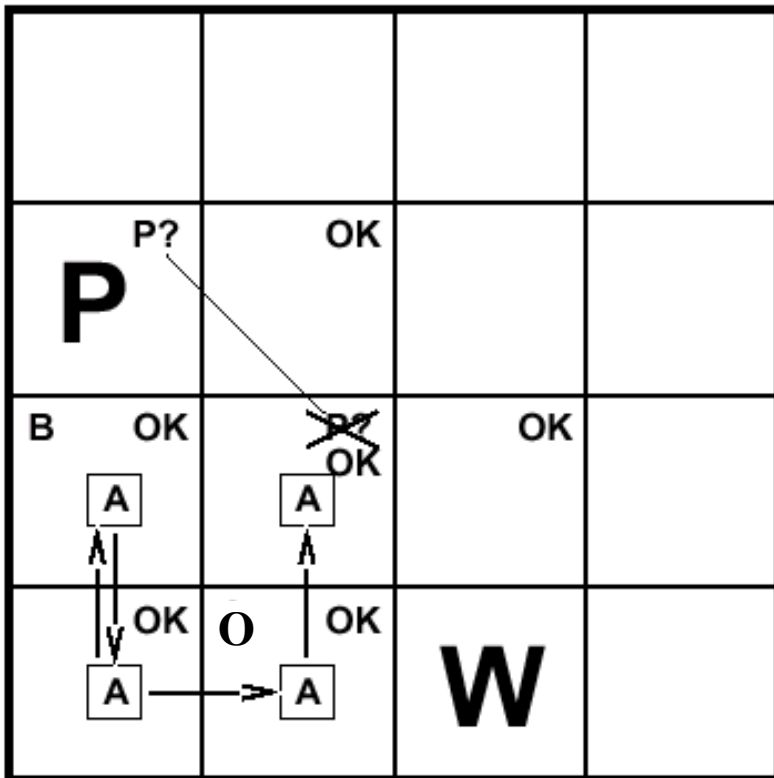


El juego del Wumpus



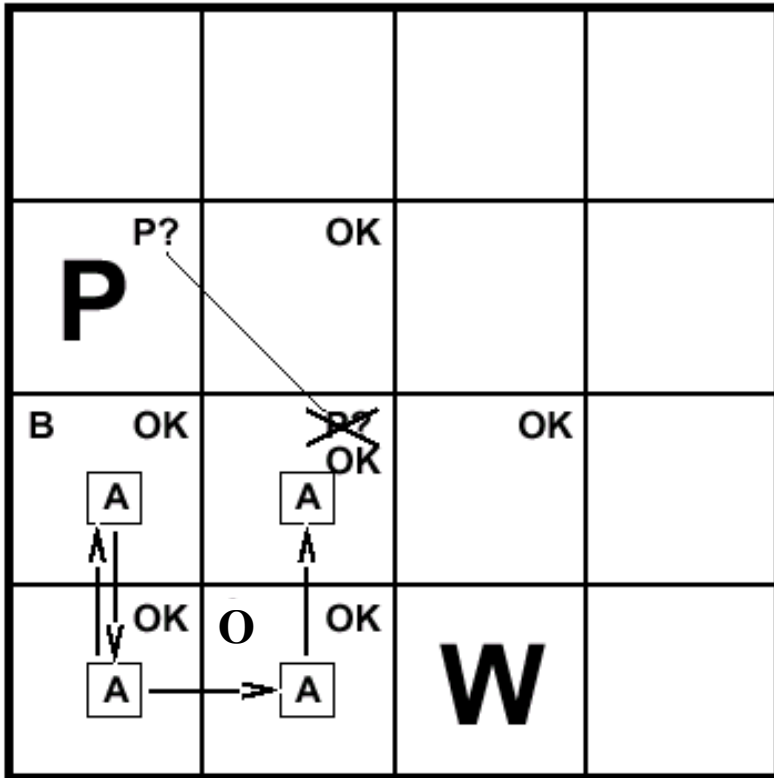
El juego del Wumpus

(0, 0, 0, 0, 0)

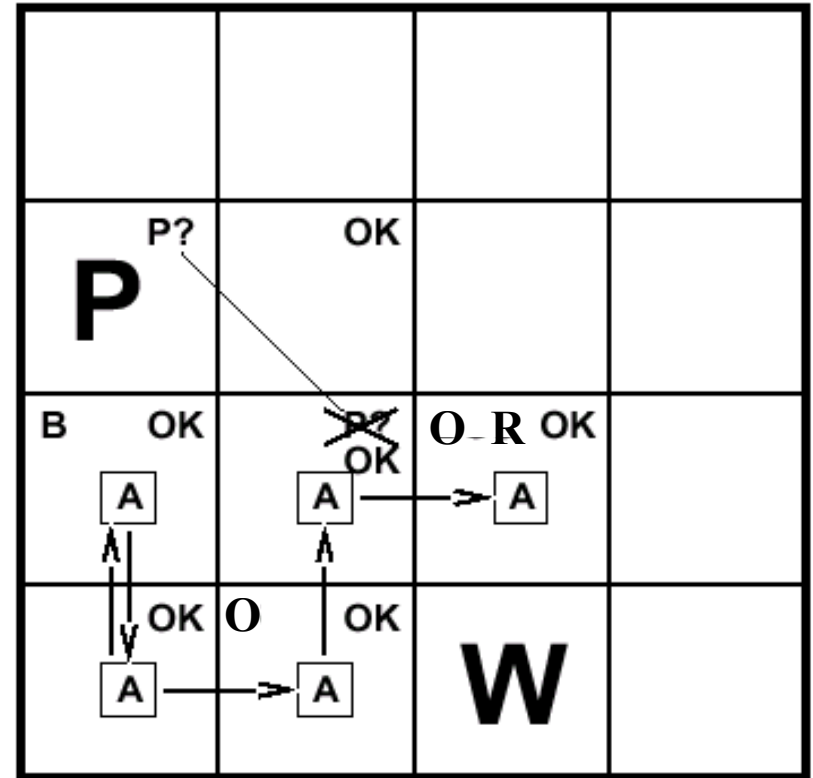


El juego del Wumpus

(0, 0, 0, 0, 0)



(1, 0, 1, 0, 0)



FIN

Lógica

Las **lógicas** son **lenguajes formales** para representar información y/o conocimiento de una forma que sea **tratable por computadoras**.

Lenguaje	Qué existe en el Mundo	Qué estados asume el conocimiento
Lógica Proposicional	Hechos	V / F
Lógica de predicados de 1er. orden	Hechos/objetos, relaciones	V / F
Lógica Temporal	Hechos/objetos, relaciones, tiempo	V / F
Lógica difusa	Grado de verdad	Grado de certeza 0 ...1

Lógica

Las **lógicas** son **lenguajes formales** para representar información y/o conocimiento de una forma que sea **tratable por computadoras**.

Sintaxis: define cómo deben ser las oraciones en el lenguaje.

Semántica: define el significado de las oraciones (por ejemplo: define la veracidad de una oración)

Por ejemplo, en el lenguaje de la aritmética:

“ $x + 2 = y$ ” es una oración

“ $x^2 + y >$ ” no es una oración

$x + 2 > y$ es **verdad** si y sólo si el número $x+2$ no es **menor** que y

$x + 2 > y$ es **verdad** en el mundo **donde** $x=7$, $y = 1$

$x + 2 > y$ es **falso** en el mundo **donde** $x=0$, $y = 6$

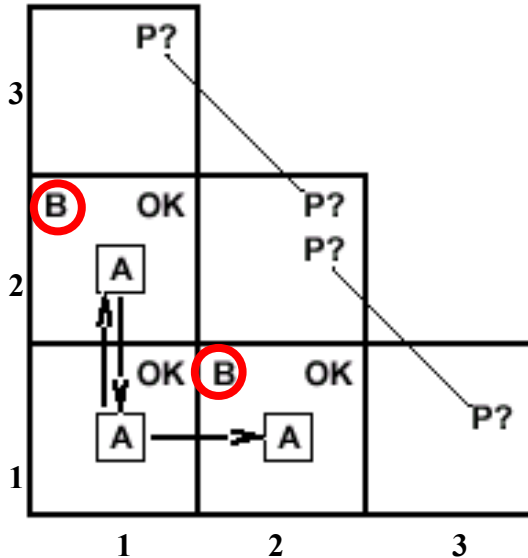
Lógica proposicional - sintaxis

“El cazador está en la celda (1,1) y no está en la celda (3,1)”

$$C_{1,1} \wedge \neg C_{3,1}$$

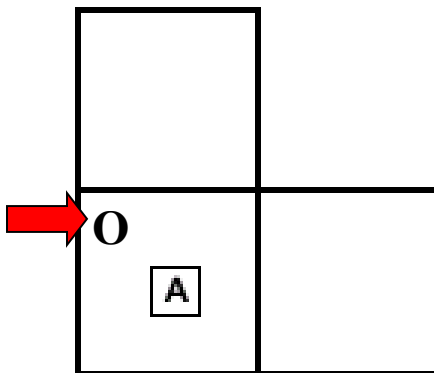
“Hay brisa en la celda (1,2) y en la celda (2,1)”

$$B_{1,2} \wedge B_{2,1}$$



“Si hay olor en una celda, entonces el Wumpus estará en alguna de las celdas adyacentes”

$$O_{1,1} \Rightarrow W_{2,1} \vee W_{1,2}$$



Lógica proposicional - semántica

La validez de los hechos o proposiciones puede probarse mediante **tablas de verdad** o a través de **Reglas de Inferencia**.

Lógica proposicional - reglas de inferencia

Modus Ponens

$$\alpha \Rightarrow \beta, \alpha$$

$$\beta$$

$$O_{1,1} \Rightarrow W_{2,1} \vee W_{1,2}$$

$$O_{1,1}$$

$$W_{2,1} \vee W_{1,2}$$

Modus Tollens

$$\alpha \Rightarrow \beta, \neg \beta$$

$$\neg \alpha$$

$$O_{1,1} \Rightarrow W_{2,1}$$

$$\neg W_{2,1}$$

$$\neg O_{1,1}$$

Lógica proposicional - reglas de inferencia

Eliminación- \vee

$$\alpha \vee \beta$$

$$\alpha$$

$$C_{1,1} \wedge \neg C_{3,1}$$

$$C_{1,1}$$

Resolución unitaria

$$\alpha \vee \beta, \neg\beta$$

$$\alpha$$

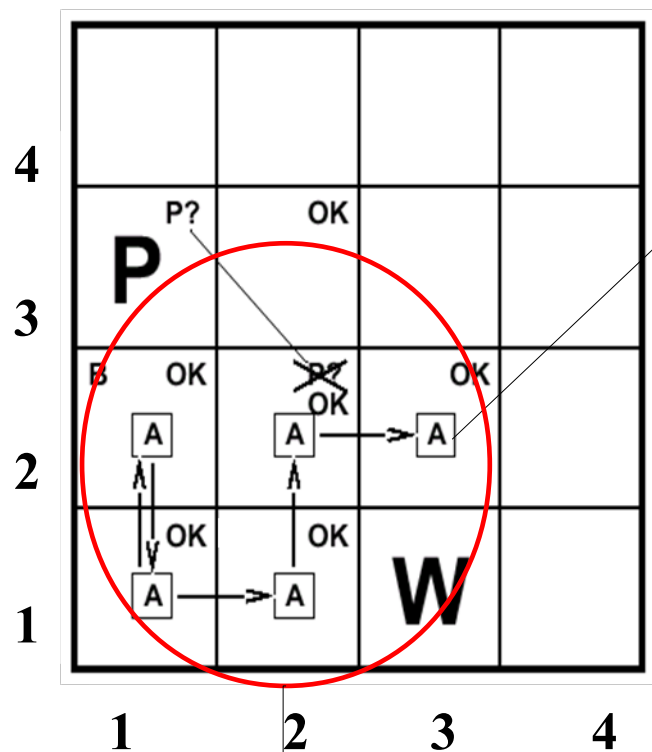
$$W_{2,1} \vee W_{1,2}$$

$$\neg W_{1,2}$$

$$W_{2,1}$$

Lógica proposicional e inferencia

Ejemplo: el juego del Wumpus



La percepción actual es

$(1, 1, 1, 0, 0)$

$B_{3,2}$

$O_{3,2}$

$R_{3,2}$

Además, ya sabemos que:

$\neg O_{1,1}$

$\neg B_{1,1}$

$O_{2,1}$

$B_{1,2}$

$\neg O_{1,2}$

$\neg B_{2,1}$

$P_{1,3}$

Lógica proposicional e inferencia

Ejemplo: el juego del Wumpus

Hechos:

$\neg O_{1,1}$
 $\neg B_{1,1}$

$O_{2,1}$

$B_{1,2}$

$\neg O_{1,2}$

$\neg B_{2,1}$

$P_{1,3}$

$B_{3,2}$

$O_{3,2}$

$R_{3,2}$

Sabemos estas reglas del juego:

R1: $\neg O_{1,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$

R2: $\neg O_{1,2} \Rightarrow \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{1,3} \wedge \neg W_{1,1}$

R3: $O_{2,1} \Rightarrow W_{1,1} \vee W_{2,2} \vee W_{3,1}$

Dadas estas afirmaciones, veremos cómo se puede inferir que:

$W_{3,1}$

Lógica proposicional e inferencia

Ejemplo: el juego del Wumpus

Aplicando *Modus Ponens* con las afirmaciones: R1 y $\neg O_{1,1}$, obtenemos

$$\neg O_{1,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1} \quad \wedge \quad \neg O_{1,1}$$

las siguientes afirmaciones

$$\neg W_{1,1} \quad \neg W_{1,2} \quad \neg W_{2,1}$$

Aplicando *Modus Ponens* con las afirmaciones: R2 y $\neg O_{1,2}$, obtenemos

a \Rightarrow b **a**

$$\neg O_{1,2} \Rightarrow \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{1,3} \wedge \neg W_{1,1} \quad \wedge \quad \neg O_{1,2}$$

Lo cual origina:

$$\neg W_{1,2} \quad \neg W_{2,2} \quad \neg W_{1,3} \quad \neg W_{1,1}$$

Lógica proposicional e inferencia

Ejemplo: el juego del Wumpus

Aplicando Modus Ponens con las afirmaciones: R_3 y $O_{2,1}$ obtenemos

$$W_{1,1} \vee W_{2,2} \vee W_{3,1}$$

Aplicando *Resolución* entre $(\overset{\beta}{W_{1,1}} \vee \overset{\alpha}{W_{2,2} \vee W_{3,1}})$ y $(\neg W_{1,1})$, obtenemos

$$W_{2,2} \vee W_{3,1}$$

Resolución unitaria

$\alpha \vee \beta, \neg\beta$

α

Lógica proposicional e inferencia

Ejemplo: el juego del Wumpus

Aplicando *Modus Ponens* con las afirmaciones: R_3 y $O_{2,1}$ obtenemos

$$W_{1,1} \vee W_{2,2} \vee W_{3,1}$$

Aplicando *Resolución* entre $(W_{1,1} \vee W_{2,2} \vee W_{3,1})$ y $(\neg W_{1,1})$, obtenemos

$$W_{2,2} \vee W_{3,1}$$

Aplicando *Resolución* entre $(W_{2,2} \vee W_{3,1})$ y $(\neg W_{2,2})$, obtenemos

$$W_{3,1}$$

Lógica de predicados de 1er orden

El problema de la **Lógica Proposicional** es que se requiere un gran número de proposiciones para expresar (aún pequeños) problemas.



Lógica de predicados de 1er orden

Sintaxis:

Constantes	rojo, grande,
Predicados	Hermano, > , =, ..
Funciones	raíz, mayor, ...
Variables	X, Y, W,.....
Conectivos	\wedge , \vee , \Leftrightarrow , \Rightarrow , \neg ,...
Cuantificadores	\forall , \exists

Semántica: reglas de inferencia

Lógica de predicados de 1er orden

Ejemplo

$\neg O_{1,1}$
 $\neg B_{1,1}$

$O_{2,1}$

$B_{1,2}$

$\neg O_{1,2}$

$\neg B_{2,1}$

$P_{1,3}$

$B_{3,2}$

$O_{3,2}$

$R_{3,2}$

Lógica de predicados de 1er orden

Ejemplo

Hechos:

\neg Olor(1,1)
 \neg Brisa(1,1)
Olor(2,1)
Brisa(1,2)
 \neg Olor(1,2)
 \neg Brisa(2,1)
Caverna(1,3)
Brisa(3,2)
Olor(3,2)
Resplandor(3,2)
Adyacente([1,1],[1,2])
Adyacente([1,1],[2,1])
...

Lógica de predicados de 1er orden

Ejemplo

$$\mathbf{R1: \neg O_{1,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}}$$

$$\mathbf{R2: \neg O_{1,2} \Rightarrow \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{1,3} \wedge \neg W_{1,1}}$$

Reglas:

$$\forall x,y \neg \text{Olor}(x) \wedge \text{Adyacente}(x,y) \Rightarrow \neg \text{Wumpus}(x) \wedge \neg \text{Wumpus}(y)$$

Lógica de predicados de 1er orden

Ejemplo

$$\mathbf{R1: \neg O_{1,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}}$$

$$\mathbf{R2: \neg O_{1,2} \Rightarrow \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{1,3} \wedge \neg W_{1,1}}$$

$$\mathbf{R3: O_{2,1} \Rightarrow W_{1,1} \vee W_{2,2} \vee W_{3,1}}$$

Reglas:

$$\forall x,y \neg \text{Olor}(x) \wedge \text{Adyacente}(x,y) \Rightarrow \neg \text{Wumpus}(x) \wedge \neg \text{Wumpus}(y)$$

$$\forall x \text{Olor}(x) \Rightarrow \exists y \text{Adyacente}(x,y) \wedge \text{Wumpus}(y)$$

Lógica de predicados de 1er orden

Ejemplo

Reglas:

$$\forall x,y \neg \text{Olor}(x) \wedge \text{Adyacente}(x,y) \Rightarrow \neg \text{Wumpus}(x) \wedge \neg \text{Wumpus}(y)$$

$$\forall x \text{ Olor}(x) \Rightarrow \exists y \text{ Adyacente}(x,y) \wedge \text{Wumpus}(y)$$

$$\forall x \text{ Brisa}(x) \Rightarrow \exists y \text{ Adyacente}(x,y) \wedge \text{Pozo}(y)$$

$$\forall x \text{ Pozo}(x) \Rightarrow [\forall y \text{ Adyacente}(x,y) \Rightarrow \text{Brisa}(y)]$$

Lógica de 1er orden e inferencia

Ejemplo: el juego del Wumpus

Hechos:

$\neg \text{Olor}(1,1)$ $\neg \text{Brisa}(1,1)$ $\text{Olor}(2,1)$ $\text{Brisa}(1,2)$ $\neg \text{Olor}(1,2)$ $\neg \text{Brisa}(2,1)$
 $\text{Caverna}(1,3)$ $\text{Brisa}(3,2)$ $\text{Olor}(3,2)$ $\text{Resplandor}(3,2)$
 $\text{Adyacente}([1,1],[1,2])$, $\text{Adyacente}([1,1],[2,1])$...

Reglas:

R1: $\forall x,y \neg \text{Olor}(x) \wedge \text{Adyacente}(x,y) \Rightarrow \neg \text{Wumpus}(x) \wedge \neg \text{Wumpus}(y)$

R2: $\forall x \text{Olor}(x) \Rightarrow \exists y \text{Adyacente}(x,y) \wedge \text{Wumpus}(y)$

R3: $\forall x \text{Brisa}(x) \Rightarrow \exists y \text{Adyacente}(x,y) \wedge \text{HayPozo}(y)$

R4: $\forall x \text{Pozo}(x) \Rightarrow [\forall y \text{Adyacente}(x,y) \Rightarrow \text{Brisa}(y)]$

Lógica de 1er orden e inferencia

Ejemplo: el juego del Wumpus

Aplicando *Modus Ponens* con R1 y $\neg\text{Olor}(1,1)$ y $\text{Adyacente}([1,1],[1,2])$ y $\text{Adyacente}([1,1],[2,1])$

Modus Ponens	
$\alpha \Rightarrow \beta$,	α
β	

$$\forall x,y \neg\text{Olor}(x) \wedge \text{Adyacente}(x,y) \Rightarrow \neg\text{Wumpus}(x) \wedge \neg\text{Wumpus}(y)$$

Lógica de 1er orden e inferencia

Ejemplo: el juego del Wumpus

Aplicando *Modus Ponens* con R1 y $\neg\text{Olor}(1,1)$ y $\text{Adyacente}([1,1],[1,2])$ y $\text{Adyacente}([1,1],[2,1])$

Inferimos:

$$\neg\text{Wumpus}(1,1) \wedge \neg\text{Wumpus}(1,2) \wedge \neg\text{Wumpus}(2,1)$$

Lógica de 1er orden e inferencia

José, Silvio y Claudio desempeñan los puestos de programador, ingeniero de conocimiento y gerente (pero no necesariamente en ese orden).

José le debe al programador \$10.

La esposa del gerente prohíbe pedir dinero prestado.

Silvio no está casado.

Diga a quién corresponde cada uno de los puestos anteriores.

Lógica de 1er orden e inferencia

empleado(x)

desempeña(x,y)

José, Silvio y Claudio desempeñan los puestos de programador, ingeniero de conocimiento y administrador (pero no necesariamente en ese orden).

José le debe al programador \$10.

La esposa del gerente prohíbe pedir dinero prestado.

Silvio no está casado.

debe(x,y,c)

Diga a quién corresponde cada uno de los puestos anteriores.

casado(x)

Lógica de predicados de 1er orden

Ejemplo de inferencia

Predicados:

empleado(x): $x = \{\text{José, Silvio, Claudio}\}$

desempeña (x,y): x desempeña el puesto y ; $y = \{\text{programador, KI, gerente}\}$

debe(x,y,c): x le debe a y la cantidad c

casado(x): x está casado.

Lógica de predicados de 1er orden

Ejemplo de inferencia

Reglas:

José le debe al programador \$10

- 1) $\text{debe}(\text{José}, y, 10) \wedge \text{desempeña}(y, \text{programador}).$
- 2) $\text{debe}(x, y, z) \rightarrow \neg \text{desempeña}(x, \text{gerente}) \wedge \neg \text{desempeña}(x, \text{programador}).$
- 3) $\neg \text{casado}(\text{Silvio}).$
- 4) $\text{desempeña}(x, \text{gerente}) \rightarrow \text{casado}(x).$

La esposa del gerente prohíbe pedir dinero prestado.

Lógica de predicados de 1er orden

Ejemplo de inferencia

Reglas:

- 5) $\text{desempeña}(\text{Claudio}, \text{gerente}) \vee \text{desempeña}(\text{José}, \text{gerente}) \vee \text{desempeña}(\text{Silvio}, \text{gerente}).$
- 6) $\text{desempeña}(\text{Silvio}, \text{programador}) \vee \text{desempeña}(\text{José}, \text{programador}) \vee \text{desempeña}(\text{Claudio}, \text{programador})$
- 7) $\text{desempeña}(\text{José}, \text{KI}) \vee \text{desempeña}(\text{Silvio}, \text{KI}) \vee \text{desempeña}(\text{Claudio}, \text{KI}).$
- 8) $\text{desempeña}(x, \text{programador}) \rightarrow \neg \text{desempeña}(x, \text{KI}) \wedge \neg \text{desempeña}(x, \text{gerente}).$
- 9) $\text{desempeña}(x, \text{KI}) \rightarrow \neg \text{desempeña}(x, \text{programador}) \wedge \neg \text{desempeña}(x, \text{gerente}).$
- 10) $\text{desempeña}(x, \text{gerente}) \rightarrow \neg \text{desempeña}(x, \text{KI}) \wedge \neg \text{desempeña}(x, \text{programador}).$

Lógica de predicados de 1er orden

Ejemplo de inferencia

1) debe(José, y, 10) ^ desempeña(y, programador).

Inferencia:

de 1

Y-eliminación ($p \wedge q = p$)

11) debe(José,y,10)

Lógica de predicados de 1er orden

Ejemplo de inferencia

Inferencia:

de 1 *Y-eliminación* ($p \wedge q = p$)

11) debe(José,y,10)

2) $\text{debe}(x,y,z) \rightarrow \neg \text{desempeña}(x,\text{gerente}) \wedge \neg \text{desempeña}(x, \text{programador}).$

de 2 y 11 *modus ponens* ($p \rightarrow q \wedge p = q$)

12) $\neg \text{desempeña}(\text{José},\text{gerente}) \wedge \neg \text{desempeña}(\text{José},\text{programador})$

Lógica de predicados de 1er orden

Ejemplo de inferencia

Inferencia:

de 1 *Y-eliminación* ($p \wedge q = p$)
11) debe(José,y,10)

de 2 y 11 *modus ponens* $(p \rightarrow q \wedge p = q)$
12) $\neg \text{desempeña}(\text{José}, \text{gerente}) \wedge \neg \text{desempeña}(\text{José}, \text{programador})$

de 3 y 4 ($p \rightarrow q \wedge \neg q = \neg p$) *modus tollens*

13) $\neg \text{desempeña}(\text{Silvio}, \text{gerente})$

de 5 y 12 y 13 $(p \vee q \vee r \wedge \neg q \wedge \neg r \rightarrow p)$ *resolución unitaria*
14) desempeña(Claudio,gerente)

Lógica de predicados de 1er orden

Ejemplo de inferencia

de 10 y 14 $(p \rightarrow q \wedge p = q)$ *modus ponens*

15) $\neg \text{desempeña}(\text{Claudio}, \text{KI}) \wedge \neg \text{desempeña}(\text{Claudio}, \text{programador})$

de 6 y 12 y 15 $(p \vee q \vee r \wedge \neg q \wedge \neg r \rightarrow p)$ *resolución unitaria*

16) $\text{desempeña}(\text{Silvio}, \text{programador})$

Lógica de predicados de 1er orden

Ejemplo de inferencia

de 8 y 16 $(p \rightarrow q \wedge p = q)$ *modus ponens*

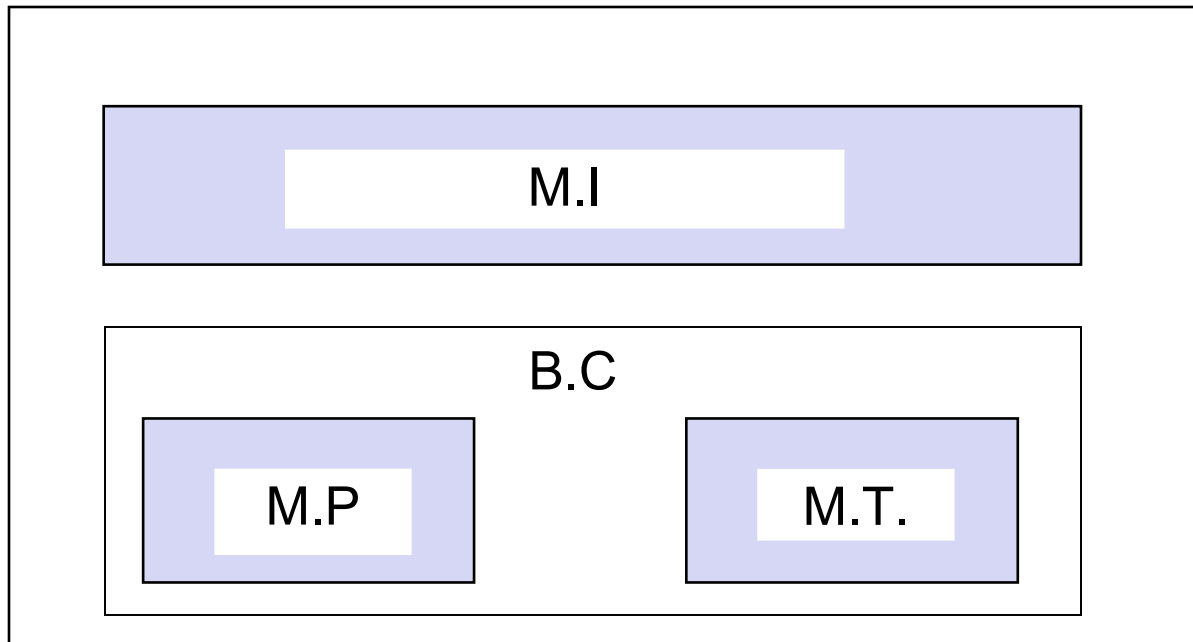
17) $\neg \text{desempeña}(\text{Silvio}, \text{KI}) \wedge \neg \text{desempeña}(\text{Silvio}, \text{gerente})$

de 7 y 15 y 17 $(p \vee q \vee r \wedge \neg q \wedge \neg r \rightarrow p)$ *resolución unitaria*

18) $\text{desempeña}(\text{José}, \text{KI})$

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)



M.I: Máquina de inferencia

BC: Base de conocimiento

MP: Memoria de producciones

MT: Memoria de trabajo.

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

- ✓ Se comienza desde las sentencias atómicas (hechos) de la memoria de trabajo y se infiere añadiendo las sentencias atómicas nuevas hasta que no se puedan realizar más inferencias o hasta que el objetivo haya sido agregado.
- ✓ Cada inferencia es la aplicación de *Modus Ponens*
- ✓ Utiliza solamente cláusulas positivas: disyunción de literales de los cuales sólo uno es positivo.

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

- Memoria de Trabajo (MT):

Contiene un conjunto de literales positivas que no contienen variables.

Por ejemplo:

(perro tiene pelo)

(Tito es_un caballo)

(Perro es_un mamífero)

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

- Memoria de Producciones (MP):
está constituidas por reglas del tipo:

IF	{	lado izquierdo - antecedentes
<cond 1>		
<cond 2>		
...		
<cond n>		
THEN	{	lado derecho - consecuentes
<acc 1>		
...		
<acc n>		

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

- Memoria de Producciones (MP):

- Lado Izquierdo:

- cada antecedente debe aparear con una afirmación

- puede contener variables

- Lado Derecho:

- especifica acciones sobre la memoria de trabajo (agregar, eliminar elementos de la MT)

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

■ Ejemplo de Regla:

IF

(?x tiene pelo)

Then

add (?x es un mamifero).

?x: es una variable que adquiere valor cuando la regla es apareada con algún hecho de la MT.

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

Fases

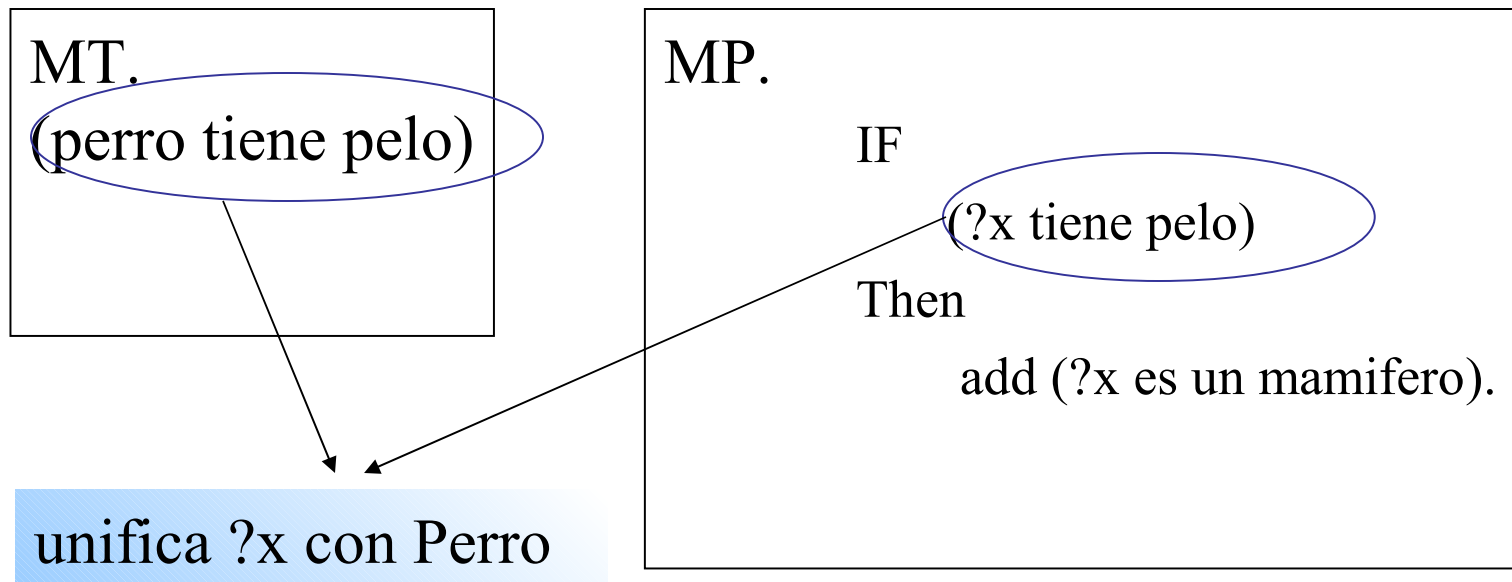
- 1) **Match (fase de cotejo):** Se compara cada elemento de la premisa con el contenido de la MT. Se incorporan al **conjunto de conflicto** aquellas reglas cuya premisas se satisfacen con la **memoria de trabajo** actual.
- 1) **Resolución de conflictos:** Se decide cuál de las reglas contenidas en el **conjunto de conflicto** se va a ejecutar. Entre los criterios empleados se pueden mencionar: la más específica, la satisfecha con hechos más recientes, etc.
- 1) **Aplicación:** Se aplica el **consecuente** de la regla seleccionada. Se agregan a la **memoria de trabajo** los hechos que componen el **consecuente** o se ejecutan las acciones.

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

1) Fase de cotejo:

Unificar las variables de los antecedentes con los elementos de la MT.



Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

1) Fase de cotejo:

Unificar las variables de los antecedentes con los elementos de la MT.

Identifica todas aquellas reglas que satisfacen sus antecedentes.

Resultado: conjunto de reglas candidatas a disparar.

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

2) Fase de resolución de conflictos:

Seleccionar cuál de las reglas candidatas ejecutar.

Estrategias:

- ☒ No duplicación
- ☒ Novedad
- ☒ Especificidad
- ☒ Prioridad de operación.

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

3) Fase de ejecución:

Una vez que se seleccionó cuál regla aplicar, se la ejecuta.

Existen dos interpretaciones posibles:

- Agregar los consecuentes a la MT
- Ejecutar las acciones indicadas en el consecuente (add, erase, modify)

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

Ejemplo: robot que reconoce animales en un Zoológico

Suponga que el robot *Robbie* reconoce los animales que ve en un zoológico. Robbie puede percibir características básicas de los animales tales como color, tamaño, si tiene o no pelo y si da leche. Él puede distinguir animales de otros objetos pero no puede usar el hecho de que un animal en particular tiene un cuello largo para concluir que el animal luce como una jirafa.

Suponga que el zoológico contiene solamente 7 animales: un tigre, un leopardo, una cebra, un avestruz, un pingüino y un tucán.

Existen ciertas reglas que le van a permitir a Robbie identificar a los animales.

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

Como por ejemplo que todos los mamíferos tienen pelos. También se sabe que los mamíferos dan leche. Las aves, por el contrario, tienen plumas, vuelan y ponen huevos. Dentro de los mamíferos, aquellos que comen carne se llaman carnívoros. Pero también para poder identificar un carnívoro se puede analizar si es un mamífero, si tiene dientes afilados, tiene garras y si los ojos miran hacia adelante. Una vez que se identifican quienes son carnívoros, se deben identificar los distintos tipos de carnívoros. Por ejemplo, el leopardo es un carnívoro que tiene color amarillento y manchas oscuras, en cambio el tigre también es un carnívoro de color amarillento pero tiene rayas negras.

Los mamíferos que son rumiantes y apoyan el extremo de los dedos, revestidos de una uña (pezuña) se llaman ungulados. Dentro de los ungulados, podemos distinguir también dos grupos. Un ungulado que tenga cuello largo, patas largas, color amarillento y manchas negras es una jirafa. Pero si el ungulado es de color blanco con rayas negras, es una cebra.

Para distinguir las aves, sabemos que hay aves que no vuelan. El avestruz, por ejemplo, es un ave que no vuela, que tiene cuello largo y patas largas y es blanco y negro. Otro ave que no vuela porque nada es el pingüino, y es de color blanco y negro. Dentro de las aves que vuelan está el Tucán que tiene plumas de brillantes colores y un pico muy grande.

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

Suponga que tenemos las siguientes percepciones, para cada una de ellas identifique qué animal está viendo *Robbie*:

- ✓ Matilde tiene pelos, tiene cuello largo, patas largas, es rumiante, color amarillento y manchas negras.
- ✓ Facundo tiene pelos, garras, tiene los ojos hacia delante, color amarillento y rayas negras, y dientes afilados.
- ✓ Mario tiene plumas, es de color blanco y negro, no vuela y nada.

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

- $\text{pelos}(x) \Rightarrow \text{mamífero}(x)$
“todos los mamíferos tienen pelos ”

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

- $\text{pelos}(x) \Rightarrow \text{mamífero}(x)$
- $\text{daLeche}(x) \Rightarrow \text{mamífero}(x)$

“se sabe que los mamíferos dan leche”

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

- $\text{pelos}(x) \Rightarrow \text{mamífero}(x)$
- $\text{daLeche}(x) \Rightarrow \text{mamífero}(x)$
- $\text{plumas}(x) \Rightarrow \text{ave}(x)$
- $\text{vuela}(x) \Rightarrow \text{ave}(x)$
- $\text{poneHuevos}(x) \Rightarrow \text{ave}(x)$

“Las aves, por el contrario, tienen plumas, vuelan y ponen huevos ”

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

- $\text{mamífero}(x) \wedge \text{comecarne}(x) \Rightarrow \text{carnívoro}(x)$
- $\text{mamífero}(x) \wedge \text{dientes}(x, \text{afilados}) \wedge \text{garras}(x) \wedge \text{ojos}(x, \text{adelante}) \Rightarrow \text{carnívoro}(x)$
- $\text{mamífero}(x) \wedge \text{rumiante}(x) \Rightarrow \text{ungulado}(x)$

- **$\text{carnívoro}(x) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{manchas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{leopardo}(x)$**
- $\text{carnívoro}(x) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{rayas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{tigre}(x)$
- $\text{ungulado}(x) \wedge \text{piernas}(x, \text{largas}) \wedge \text{cuello}(x, \text{largo}) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{manchas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{jirafa}(x)$
- $\text{ungulado}(x) \wedge \text{color}(x, \text{blanco}) \wedge \text{rayas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{cebra}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{noVuela}(x) \wedge \text{patas}(x, \text{largas}) \wedge \text{cuello}(x, \text{largo}) \wedge \text{color}(x, \text{blancoynegro}) \Rightarrow \text{avestruz}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{noVuela}(x) \wedge \text{nada}(x) \wedge \text{color}(x, \text{blancoynegro}) \Rightarrow \text{pingüino}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{vuela}(x) \Rightarrow \text{tucán}(x)$

- $\text{carnívoro}(x) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{manchas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{leopardo}(x)$
- **$\text{carnívoro}(x) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{rayas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{tigre}(x)$**
- $\text{ungulado}(x) \wedge \text{piernas}(x, \text{largas}) \wedge \text{cuello}(x, \text{largo}) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{manchas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{jirafa}(x)$
- $\text{ungulado}(x) \wedge \text{color}(x, \text{blanco}) \wedge \text{rayas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{cebra}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{noVuela}(x) \wedge \text{patas}(x, \text{largas}) \wedge \text{cuello}(x, \text{largo}) \wedge \text{color}(x, \text{blancoynegro}) \Rightarrow \text{avestruz}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{noVuela}(x) \wedge \text{nada}(x) \wedge \text{color}(x, \text{blancoynegro}) \Rightarrow \text{pingüino}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{vuela}(x) \Rightarrow \text{tucán}(x)$

- $\text{carnívoro}(x) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{manchas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{leopardo}(x)$
- $\text{carnívoro}(x) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{rayas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{tigre}(x)$
- **$\text{ungulado}(x) \wedge \text{piernas}(x, \text{largas}) \wedge \text{cuello}(x, \text{largo}) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{manchas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{jirafa}(x)$**
- $\text{ungulado}(x) \wedge \text{color}(x, \text{blanco}) \wedge \text{rayas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{cebra}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{noVuela}(x) \wedge \text{patas}(x, \text{largas}) \wedge \text{cuello}(x, \text{largo}) \wedge \text{color}(x, \text{blancoynegro}) \Rightarrow \text{avestruz}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{noVuela}(x) \wedge \text{nada}(x) \wedge \text{color}(x, \text{blancoynegro}) \Rightarrow \text{pingüino}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{vuela}(x) \Rightarrow \text{tucán}(x)$

- $\text{carnívoro}(x) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{manchas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{leopardo}(x)$
- $\text{carnívoro}(x) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{rayas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{tigre}(x)$
- $\text{ungulado}(x) \wedge \text{piernas}(x, \text{largas}) \wedge \text{cuello}(x, \text{largo}) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{manchas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{jirafa}(x)$
- **$\text{ungulado}(x) \wedge \text{color}(x, \text{blanco}) \wedge \text{rayas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{cebra}(x)$**
- $\text{ave}(x) \wedge \text{noVuela}(x) \wedge \text{patas}(x, \text{largas}) \wedge \text{cuello}(x, \text{largo}) \wedge \text{color}(x, \text{blancoy negro}) \Rightarrow \text{avestruz}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{noVuela}(x) \wedge \text{nada}(x) \wedge \text{color}(x, \text{blancoy negro}) \Rightarrow \text{pingüino}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{vuela}(x) \Rightarrow \text{tucán}(x)$

- $\text{carnívoro}(x) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{manchas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{leopardo}(x)$
- $\text{carnívoro}(x) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{rayas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{tigre}(x)$
- $\text{ungulado}(x) \wedge \text{piernas}(x, \text{largas}) \wedge \text{cuello}(x, \text{largo}) \wedge \text{color}(x, \text{amarillento}) \wedge \text{manchas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{jirafa}(x)$
- $\text{ungulado}(x) \wedge \text{color}(x, \text{blanco}) \wedge \text{rayas}(x, \text{negras}) \Rightarrow \text{cebra}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{noVuela}(x) \wedge \text{patas}(x, \text{largas}) \wedge \text{cuello}(x, \text{largo}) \wedge \text{color}(x, \text{blancoynegro}) \Rightarrow \text{avestruz}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{noVuela}(x) \wedge \text{nada}(x) \wedge \text{color}(x, \text{blancoynegro}) \Rightarrow \text{pingüino}(x)$
- $\text{ave}(x) \wedge \text{vuela}(x) \Rightarrow \text{tucán}(x)$

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

Memoria de trabajo:

$\text{pelos}(\text{Matilde}) \wedge \text{cuello}(\text{Matilde}, \text{largo}) \wedge \text{patas}(\text{Matilde}, \text{largas}) \wedge \text{rumiante}(\text{Matilde})$
 $\wedge \text{color}(\text{Matilde}, \text{amarillento}) \wedge \text{manchas}(\text{Matilde}, \text{negras})$

$\text{pelos}(\text{Facundo}) \wedge \text{garras}(\text{Facundo}) \wedge \text{ojos}(\text{Facundo}, \text{adelante}) \wedge \text{color}(\text{Facundo},$
 $\text{amarillento}) \wedge \text{rayas}(\text{Facundo}, \text{negras}) \wedge \text{dientes}(\text{Facundo}, \text{afilados})$

$\text{plumas}(\text{Mario}) \wedge \text{color}(\text{Mario}, \text{blancoynegro}) \wedge \text{noVuela}(\text{Mario}) \wedge \text{nada}(\text{Mario})$

$pelos(x) \Rightarrow mamífero(x)$

$plumas(x) \Rightarrow ave(x)$

1er ciclo:

Fase de cotejo: conjunto de reglas activas = {1, 3}

Elementos de la MT que unifican con antecedentes:

(pelos(Matilde), pelos(Facundo), plumas(Mario))

Fase de resolución de conflicto: se selecciona la regla 1 por prioridad, con los elementos pelos(Matilde) y pelos(Facundo)

Fase de ejecución: se agrega a la memoria de trabajo:

mamífero(Matilde), mamífero(Facundo)

Memoria de trabajo:

$\text{pelos}(\text{Matilde}) \wedge \text{cuello}(\text{Matilde}, \text{largo}) \wedge \text{patas}(\text{Matilde}, \text{largas}) \wedge \text{rumiante}(\text{Matilde})$
 $\wedge \text{color}(\text{Matilde}, \text{amarillento}) \wedge \text{manchas}(\text{Matilde}, \text{negras})$

$\text{pelos}(\text{Facundo}) \wedge \text{garras}(\text{Facundo}) \wedge \text{ojos}(\text{Facundo}, \text{adelante}) \wedge \text{color}(\text{Facundo},$
 $\text{amarillento}) \wedge \text{rayas}(\text{Facundo}, \text{negras}) \wedge \text{dientes}(\text{Facundo}, \text{afilados})$

$\text{plumas}(\text{Mario}) \wedge \text{color}(\text{Mario}, \text{blancoynegro}) \wedge \text{noVuela}(\text{Mario}) \wedge \text{nada}(\text{Mario})$

$\text{mamífero}(\text{Matilde}) \wedge \text{mamífero}(\text{Facundo})$

2do ciclo:

Fase de cotejo: reglas activas={1, 3, 7 y 8}.

Elementos de la MT que unifican con antecedentes:

(pelos(Matilde), pelos(Facundo), plumas(Mario), garra(Facundo), ojos(Facundo, adelante), mamífero(Facundo), mamífero(Matilde), dientes(Facundo, afilados))

Fase de resolución de conflicto: entre la 7 y la 8 que son las reglas que unifican con valores más recientes en la MT, se selecciona la 7 por ser más específica.

Fase de ejecución: se agrega a la memoria de trabajo:
carnívoro(Facundo)

3er ciclo:

Fase de cotejo: reglas activas={1, 3, 7, 8, 10}.

Elementos de la MT que unifican con antecedentes:

(pelos(Matilde), pelos(Facundo), plumas(Mario), garra(Facundo), ojos(Facundo, delante), mamífero(Facundo), mamífero(Matilde), dientes(Facundo, afilados), carnívoro(Facundo), color(Facundo, amarillento))

Fase de resolución de conflicto: se selecciona la 10 es la regla que unifica con valores más recientes en la MT

Fase de ejecución: se agrega a la memoria de trabajo: **tigre(Facundo)**

Sistemas Expertos

(o de producción con encadenamiento hacia adelante)

Respuesta:

Facundo es un tigre, Matilde es una jirafa y Mario es un pingüino