Integración de
Bases de ConocimientoDatos

2do Cuatrimestre de 2020

Clase 3: Representación de Conocimiento
Parte 2

Profesora: Vanina Martinez
mvmartinez@dc.uba.ar

DEPARTAMENTO
DE COMPUTACION
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA

Razonamiento

- El Razonamiento permite obtener información que se encuentra explícita o implícita en la KB.
- El siguiente es un ejemplo de una base de conocimiento expresada en Lógica Proposicional:

$$KB = \{ A, A \rightarrow B \}$$

- Si suponemos que su mecanismo de inferencia está basado en el Modus Ponens, podemos ver que:

$KB \Rightarrow A$ (trivial y explícitamente)

$KB \Rightarrow A \rightarrow B$ (trivial y explícitamente)

$KB \Rightarrow B$ (por aplicación del Modus Ponens)

Representación y Razonamiento

- En el análisis y en la resolución de los problemas abordados por la IA es necesario una gran cantidad de conocimiento, y, por tanto los mecanismos para manipularlo se tornan complejos.
- Existen diversas propuestas para representar el conocimiento: todas presentan una habilidad especial en relación a una clase particular de dominios.
- Esto es natural, ya que se pueden aprovechar las características particulares del dominio.
  - Ej.: Lógica deóntica en dominios jurídicos (lógica de las normas y de las ideas normativas. Su campo de estudio corresponde, como «autorizado», «prohibido», «obligatorio», «indiferente»).

Representación y Razonamiento

- Los diferentes métodos y tecnologías comparten elementos para definirlos.
- En un sistema de Representación de Conocimiento y Razonamiento se distinguen los siguientes componentes:

1. Un lenguaje formal de representación.
2. Una semántica que relaciona la representación con su significado.
3. Una teoría de raciocinio o teoría de prueba o procedimiento de prueba que implementa la máquina de inferencia.

1. Un lenguaje formal

- Describe las fórmulas válidas utilizables para expresar conocimiento acerca del dominio ("mundo").
- Un lenguaje define (por medio de una gramática) los símbolos legales y como pueden formarse expresiones a partir de ellos.
- Una Base de Conocimiento es un conjunto de sentencias válidas del lenguaje.
- Preguntas sobre el lenguaje:
  - ¿Qué tan expresivo?
  - ¿Qué puedo y que no puedo decir con él?

1. Un lenguaje formal

Lógica proposicional:

- $Prop$: un conjunto finito de variables proposiciones p,q,r (notación en minúscula).
- Conectivos lógicos: negación ($\neg$) , disyunción ($\vee$), conjunción ($\wedge$), condicional ($\rightarrow$), equivalencia lógica ($\leftrightarrow$)

Formulas bien formadas (fbf):

- $true$, $false$ *son fbfs*
- p es una fbf para todo $p \in Prop$
- $\neg f$ es una fbf para toda f que es una fbf.
- Si f_1, f_2 son fbfs, entonces $f_1 \wedge f_2$, $f_1 \vee f_2$, $f_1 \rightarrow f_2$, y $f_1 \leftrightarrow f_2$ son fbfs.

2. Una Semántica

- Especifica el significado de las sentencias del lenguaje.
- Hace explícita la relación entre los elementos del lenguaje y el dominio.
- Este compromiso semántico permite discutir la corrección y la veracidad del conocimiento de forma independiente de su utilización.
- La semántica de la lógica proposicional define la “verdad” de una sentencia con respecto a un modelo.
- Un modelo establece un valor de verdad (verdadero o falso) para cada variable proposicional.
- La semántica tiene que definir cómo se le asigna el valor de verdad a cualquier sentencia.

2. Una Semántica

En este caso, la asignación de valores de verdad se define:

- $True$ es verdadero y $false$ es falso, en todo modelo.
- El valor de verdad de cada proposición se establece directamente en el modelo.
- Para formulas complejas tenemos las siguientes reglas: para cualquier fbf P y Q y cualquier modelo m:
  - $\neg P$ es verdadero ssi P es falso en m
  - $P \wedge Q$ es verdadero ssi ambos P y Q son verdaderos en m
  - $P \vee Q$ es verdadero ssi o bien P o bien Q es verdadero en m
  - $P \rightarrow Q$ es verdad en m a menos que P sea verdadero y Q sea falso en m
  - $P \leftrightarrow Q$ es verdadero ssi P y Q son ambos verdaderos o ambos falsos en m

2. Una Semántica

- Un modelo m satisface una fbf F ($m \vDash F$) ssi F es verdadera en m.
- Una fbf F es satisfacible si existe un modelo que la satisface, sino es insatisfacible.
- Dado un conjunto de sentencias KB, decimos que KB modela o deriva F (KB $\vDash F$) ssi todo modelo de KB es también modelo de F.

3. Una teoría de prueba

- Especifica como obtener una respuesta de la KB.
- Típicamente, esta teoría es formada por un conjunto de Reglas de Inferencia de algún tipo.
- Es posible que la teoría de prueba y la semántica no se adecuen.
- Si la teoría de prueba sólo infiere respuestas verdaderas de acuerdo a la semántica, se dice que es Correcta/Sana.
- Si genera todas las respuestas correctas se dice que es Completa.

3. Una teoría de prueba

- Para la lógica proposicional tenemos varios algoritmos.
- Un algoritmo naive puede computar todos las posibles asignaciones de verdad para las proposiciones y evaluar en cada caso si cada modelo de KB es modelo de K.
- Alternativamente vamos a ver: encadenamiento hacia adelante y encadenamiento hacia atrás.
- Ambos algoritmos son sanos y completos para la lógica proposicional.

Suposición de Mundo Cerrado (CWA)

- Esta suposición se basa en asumir que toda la información positiva que es necesario saber está en la KB.
- Al asumir esto resulta posible obtener la información negativa.
- La información que no es mencionada en la KB se toma como falsa, esto es, si no se encuentra una instancia positiva en KB entonces se supone que vale la negación.

$$Suposición\ del\ Mundo\ Cerrado = Close\ World\ Assumption.$$

Suposición de Mundo Cerrado (CWA)

- Supongamos la siguiente base de datos sobre vuelos entre Aeroparque y Bahía Blanca:

Parte	**Arriba**	**Hora**
AEP	BHI	08:10
AEP	BHI	19:25
BHI	AEP	09:50
BHI	AEP	21:15

➡ Una consulta sobre la existencia de un vuelo de AEP a BHI a las 08:10 se responderá <u>*afirmativamente*</u>.

➡ Una consulta sobre la existencia de un vuelo de AEP a BHI a las 17:00 se responderá <u>*negativamente*</u>, *i.e.* la negación de la existencia es cierta.

Suposición de Mundo Cerrado (CWA)

- Formalmente:

$$CWA(KB) = KB \cup \{ \neg p \ si \ KB \not\models p \}$$

donde p es una fbf construida a partir de $Prop$, y el operador $CWA(\cdot)$ representa la clausura de KB por la Suposición de Mundo Cerrado.

- Notemos que este tipo de razonamiento *no es* monótono, *i.e.* puede suceder que $KB_1 \subseteq KB_2$ y sin embargo $CWA(KB_1) \not\subseteq CWA(KB_2)$. Ejercicio: muestre un ejemplo concreto de este resultado.

- En nuestro ejemplo de los vuelos si se agregará el vuelo de las 17:00 de AEP a BHI ya no se podría inferir la negación.

Suposición de Mundo Cerrado (CWA)

- Si se incluye información disyuntiva pueden existir problemas.
- Sea $KB = \{\ a \vee\ b\ \}$, de esta base de conocimiento no se puede inferir ni a ni b.
- La $CWA(KB) = KB \cup \{\ \neg p\ si\ KB \not\models p\ \}$, esto es $\{\ a \vee\ b\ \} \cup \{\ \neg a, \neg b\ \}$ Luego, de la $CWA(KB)$ que incluye tanto $\neg a$ como $\neg b$ se puede inferir a y b.
- Es decir, $CWA(KB)$ es inconsistente en este caso.

Ejemplo: Sistema para mantener un cuerpo legal o normativo

Modificación de un cuerpo de leyes o normas:

- Representación de las leyes en forma de reglas en un lenguaje lógico/computacional.
- Representación de cómo algunas leyes afectan a otras: implicación, contradicción, es una generalización o un caso particular, etc.

Problema: se deroga una ley…¿Cómo tengo que modificar mi conjunto de leyes para reflejar el cambio y que esa ley no se implique más del mismo? ¿Cómo hago los mínimos cambios posibles?

Encadenamiento para adelante (forward chaining)

- Orientada por los Hechos (e.j., proposiciones en la KB) usa las reglas de la Base de Conocimiento para deducir nuevos hechos.

Estrategia:

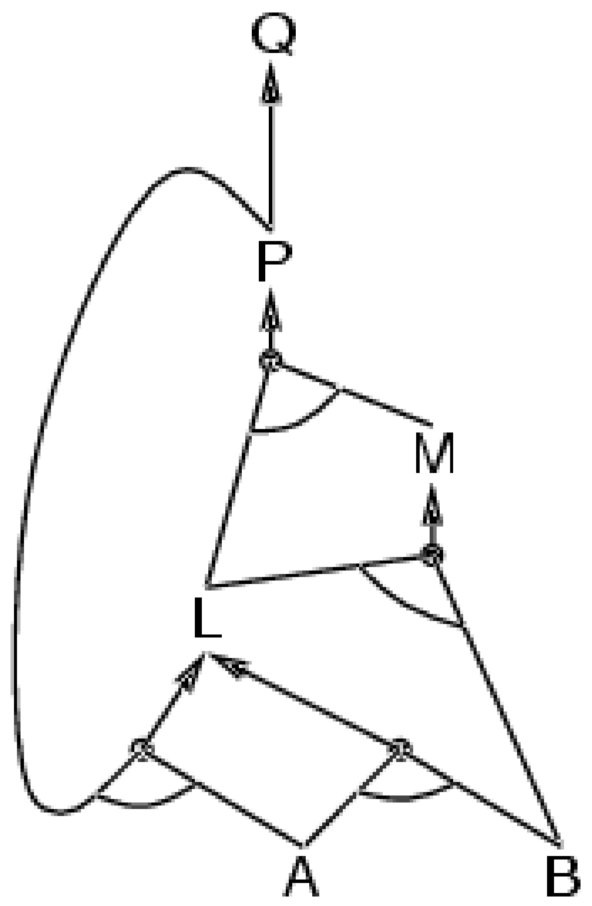
- Los hechos básicos originan el “disparo” de reglas.
- Las reglas conducen a la obtención de conclusiones intermedias.
- Las conclusiones intermedias en conjunto con los hechos básicos originan el “disparo” de más reglas.

El proceso continua hasta que:

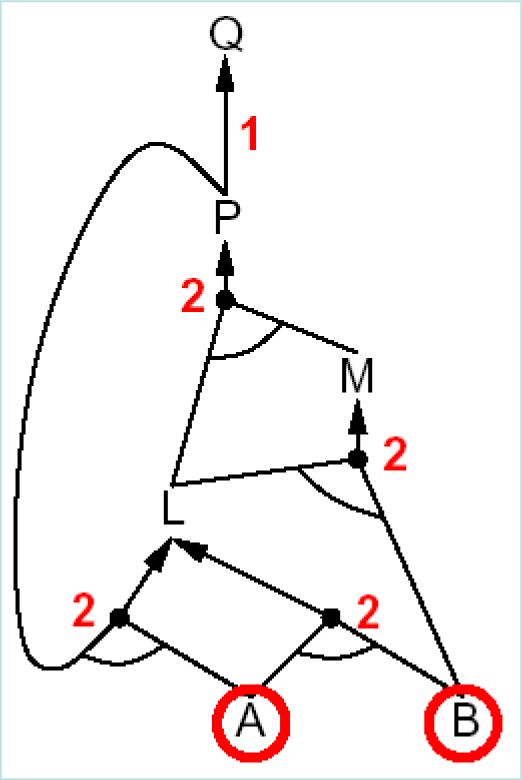
- Se obtengan conclusiones finales (si tal fuera posible) y no haya más lugar a la posibilidad de “disparo” de nuevas reglas.

Encadenamiento para adelante: Ejemplo

$$P \Rightarrow Q$$
$$L \wedge M \Rightarrow P$$
$$B \wedge L \Rightarrow M$$
$$A \wedge P \Rightarrow L$$
$$A \wedge B \Rightarrow L$$
$$A$$
$$B$$

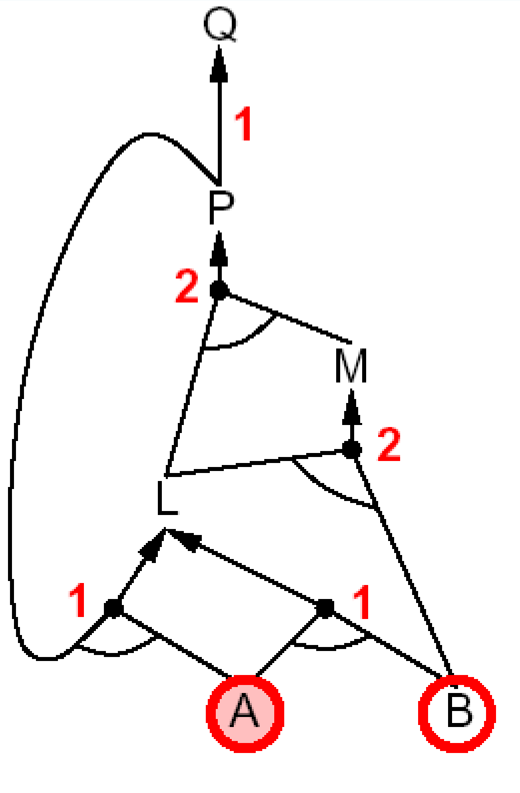


Encadenamiento para adelante: Ejemplo



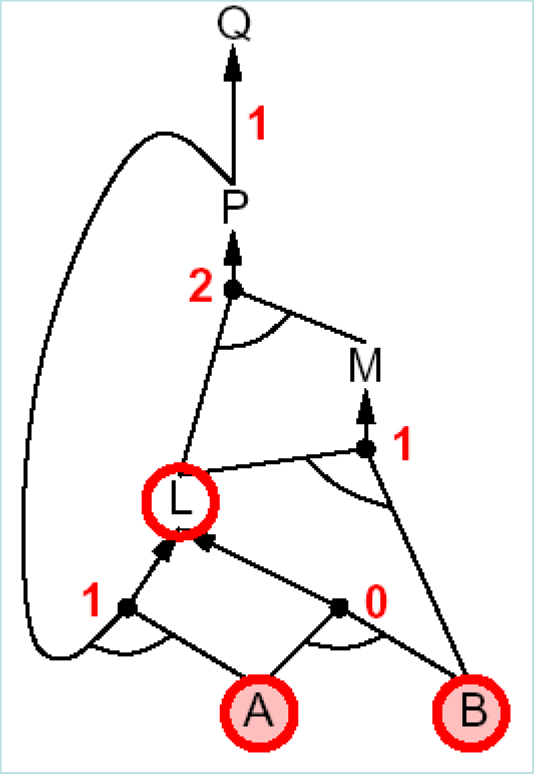
$P \Rightarrow Q$
$L \wedge M \Rightarrow P$
$B \wedge L \Rightarrow M$
$A \wedge P \Rightarrow L$
$A \wedge B \Rightarrow L$
A
B

Encadenamiento para adelante: Ejemplo



$$P \Rightarrow Q$$
$$L \wedge M \Rightarrow P$$
$$B \wedge L \Rightarrow M$$
$$A \wedge P \Rightarrow L$$
$$A \wedge B \Rightarrow L$$
$$A$$
$$\boxed{B}$$

Encadenamiento para adelante: Ejemplo



$P \Rightarrow Q$

$L \wedge M \Rightarrow P$

$B \wedge L \Rightarrow M$

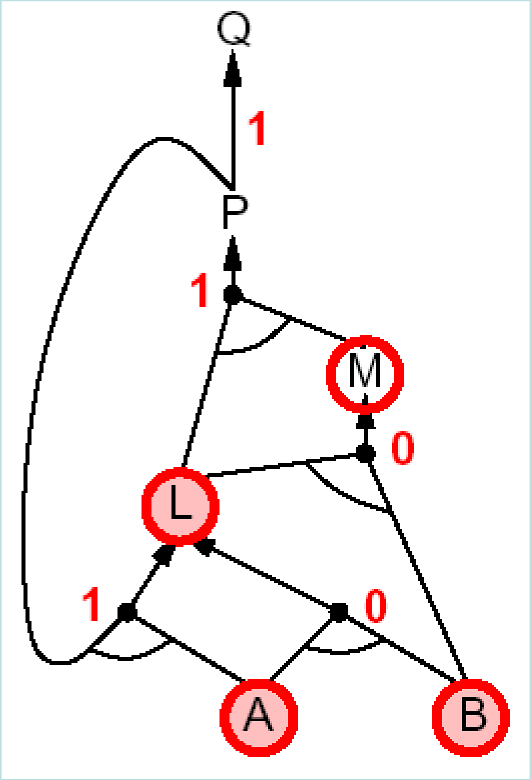
$A \wedge P \Rightarrow L$

$\boxed{A \wedge B \Rightarrow L}$

A

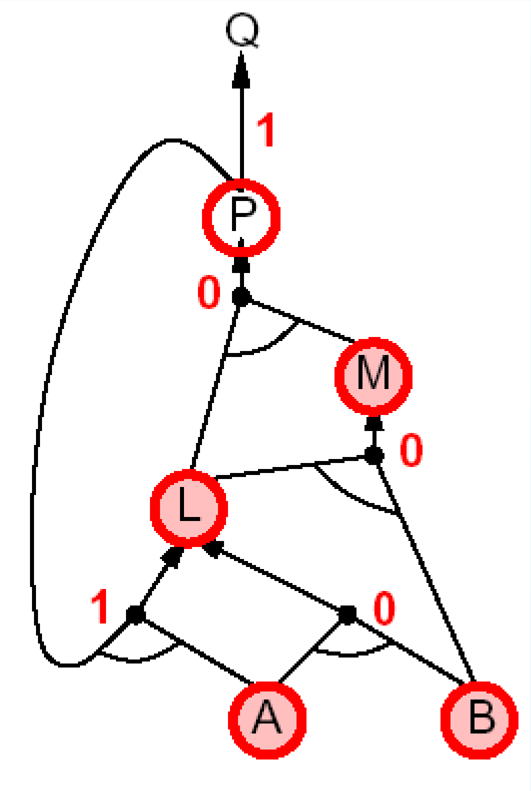
B

Encadenamiento para adelante: Ejemplo



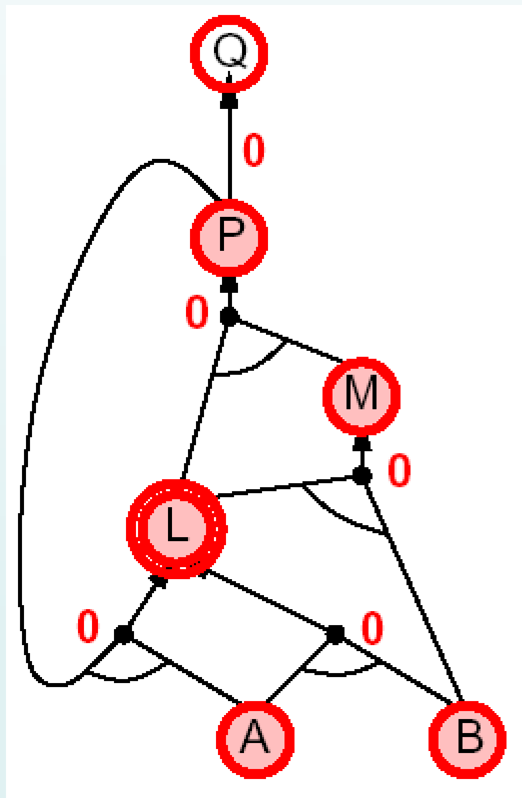
$P \Rightarrow Q$
$L \wedge M \Rightarrow P$
$\boxed{B \wedge L \Rightarrow M}$
$A \wedge P \Rightarrow L$
$A \wedge B \Rightarrow L$
A
B

Encadenamiento para adelante: Ejemplo



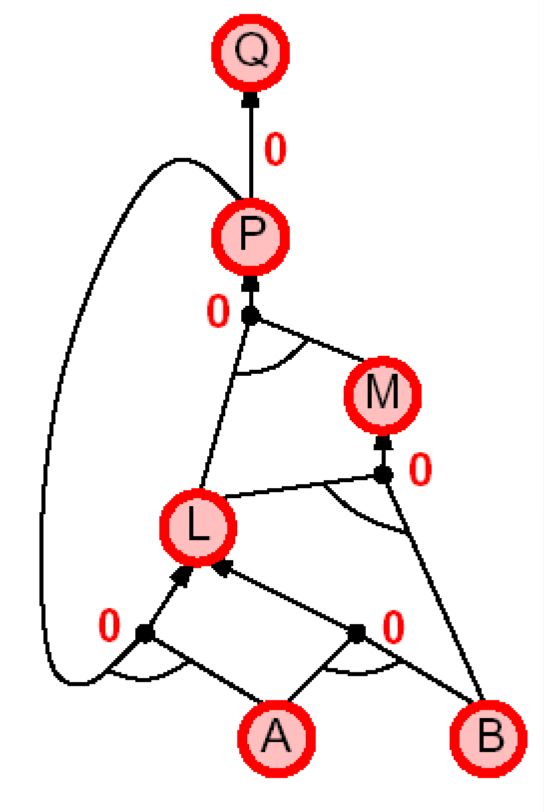
$$
\begin{array}{l}
P \Rightarrow Q \\
\boxed{L \wedge M \Rightarrow P} \\
B \wedge L \Rightarrow M \\
A \wedge P \Rightarrow L \\
A \wedge B \Rightarrow L \\
A \\
B
\end{array}
$$

Encadenamiento para adelante: Ejemplo



$$\boxed{P \Rightarrow Q}$$
$$L \wedge M \Rightarrow P$$
$$B \wedge L \Rightarrow M$$
$$\boxed{A \wedge P \Rightarrow L}$$
$$A \wedge B \Rightarrow L$$
$$A$$
$$B$$

Encadenamiento para adelante: Ejemplo



$P \Rightarrow Q$
$L \wedge M \Rightarrow P$
$B \wedge L \Rightarrow M$
$A \wedge P \Rightarrow L$
$A \wedge B \Rightarrow L$
A
B

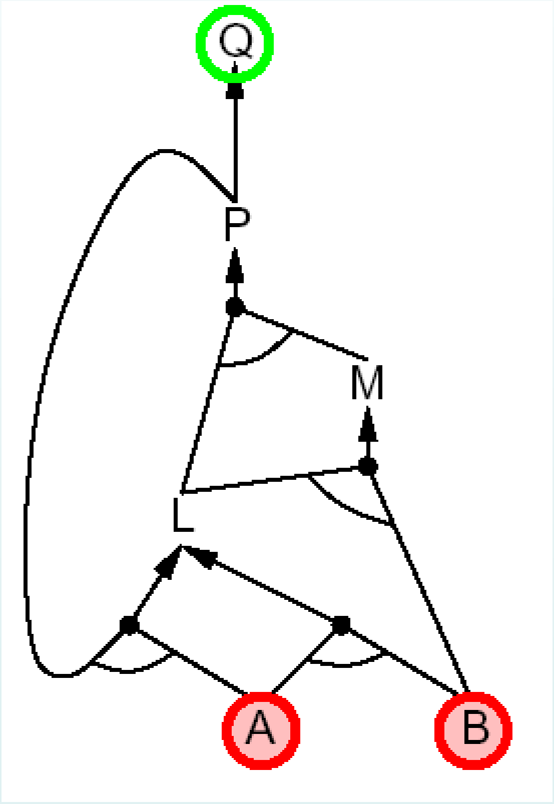
Encadenamiento para atrás (backward chaining)

La **inferencia descendente**: Orientada a los objetivos

Estrategia:

- Buscar las reglas talque los objetivos aparezcan como conclusiones del lado derecho de las reglas.
- Las **conclusiones** son probadas probando las condiciones que aparecen en el lado izquierdo de la regla.
- Las **condiciones del lado izquierdo** de la regla pueden ser soportadas por conclusiones intermedias de otras reglas o por hechos básicos en la KB.
- Las reglas se expresan de la misma manera solo que la interpretación de la regla es hecha en sentido inverso.

Encadenamiento para atrás: Ejemplo



$P \Rightarrow Q$

$L \wedge M \Rightarrow P$

$B \wedge L \Rightarrow M$

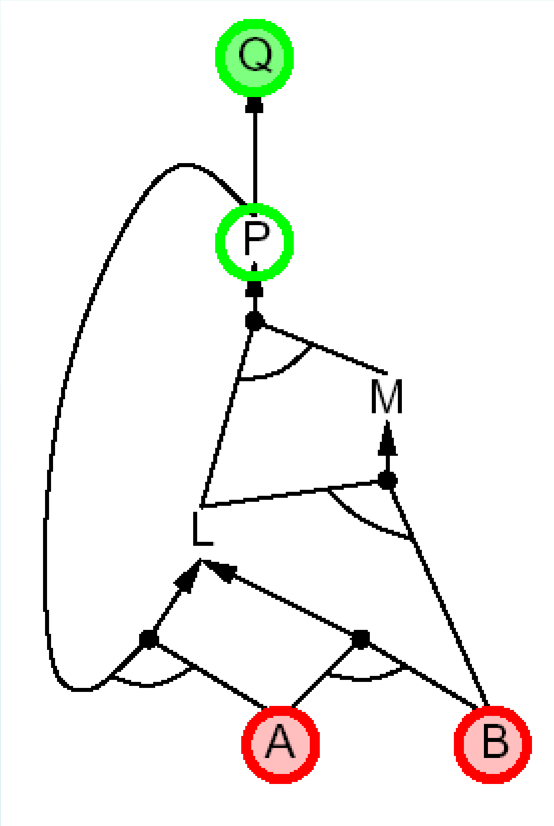
$A \wedge P \Rightarrow L$

$A \wedge B \Rightarrow L$

A

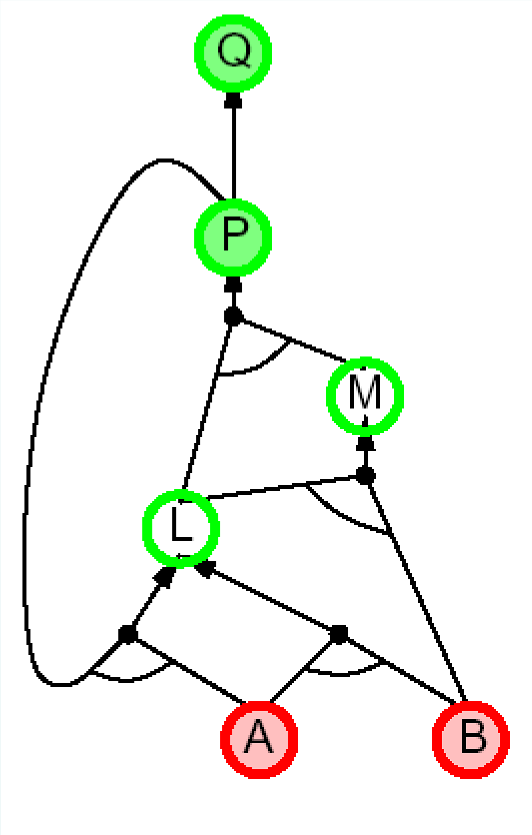
B

Encadenamiento para atrás: Ejemplo



$P \Rightarrow Q$
$L \wedge M \Rightarrow P$
$B \wedge L \Rightarrow M$
$A \wedge P \Rightarrow L$
$A \wedge B \Rightarrow L$
A
B

Encadenamiento para atrás: Ejemplo



$P \Rightarrow Q$

$\boxed{L \wedge M \Rightarrow P}$

$B \wedge L \Rightarrow M$

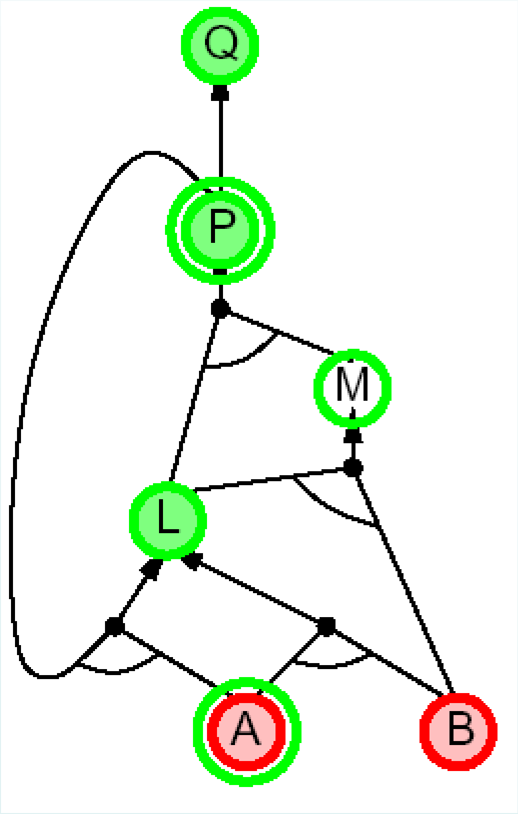
$A \wedge P \Rightarrow L$

$A \wedge B \Rightarrow L$

A

B

Encadenamiento para atrás: Ejemplo



$P \Rightarrow Q$

$L \wedge M \Rightarrow P$

$B \wedge L \Rightarrow M$

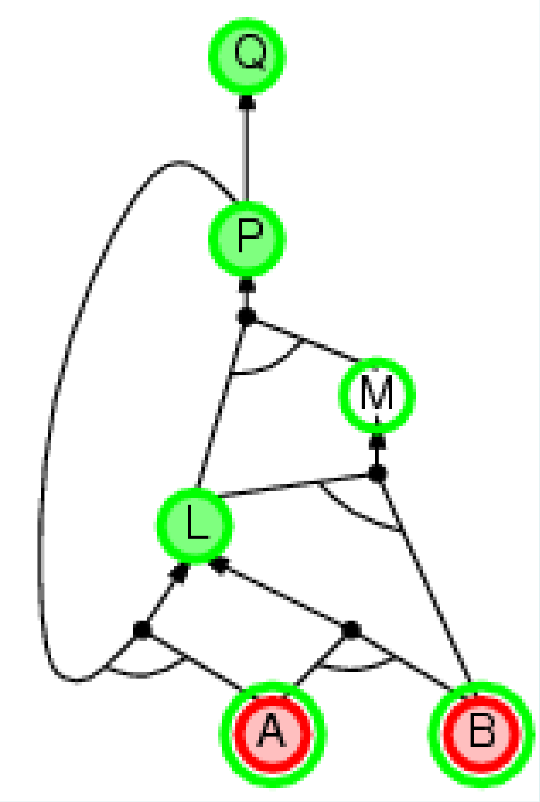
$\boxed{A \wedge P \Rightarrow L}$

$A \wedge B \Rightarrow L$

A

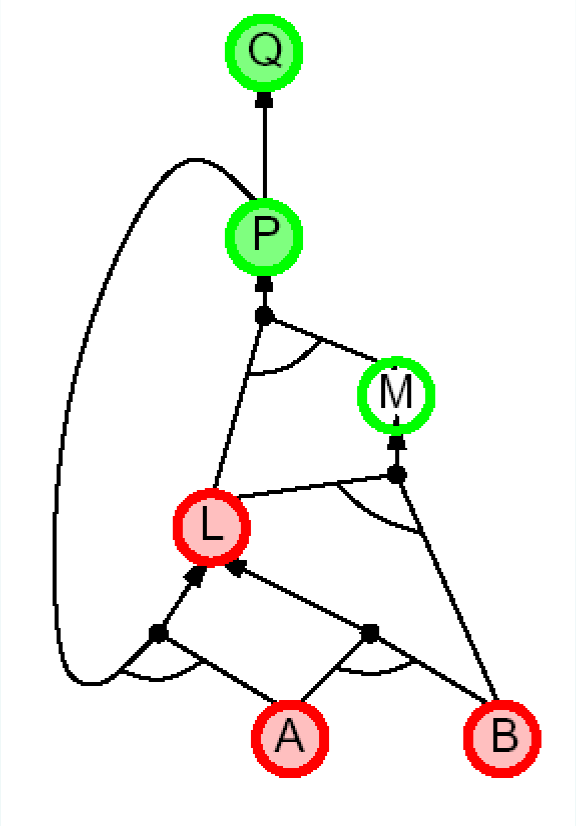
B

Encadenamiento para atrás: Ejemplo



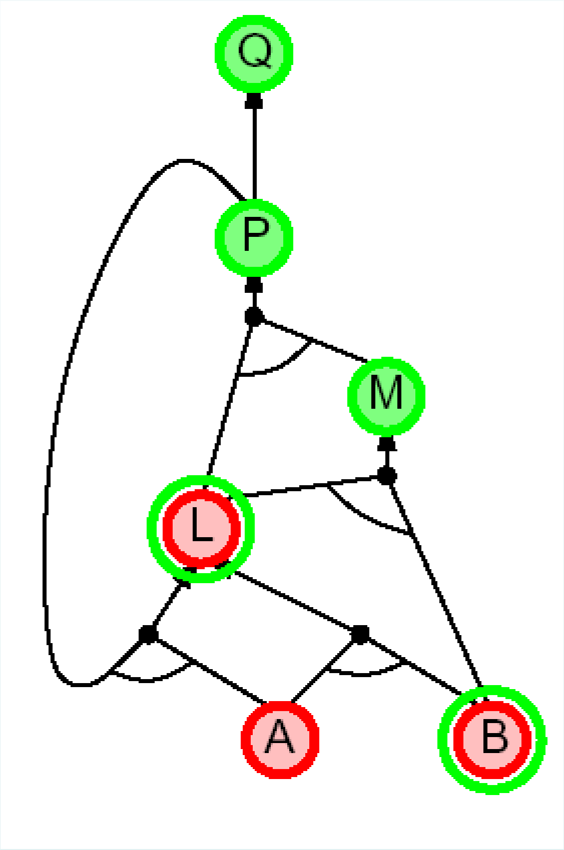
$$P \Rightarrow Q$$
$$L \wedge M \Rightarrow P$$
$$B \wedge L \Rightarrow M$$
$$A \wedge P \Rightarrow L$$
$$\boxed{A \wedge B \Rightarrow L}$$
$$A$$
$$B$$

Encadenamiento para atrás: Ejemplo



$$P \Rightarrow Q$$
$$L \wedge M \Rightarrow P$$
$$B \wedge L \Rightarrow M$$
$$A \wedge P \Rightarrow L$$
$$A \wedge B \Rightarrow L$$
$$A$$
$$B$$

Encadenamiento para atrás: Ejemplo



$P \Rightarrow Q$

$L \wedge M \Rightarrow P$

$\boxed{B \wedge L \Rightarrow M}$

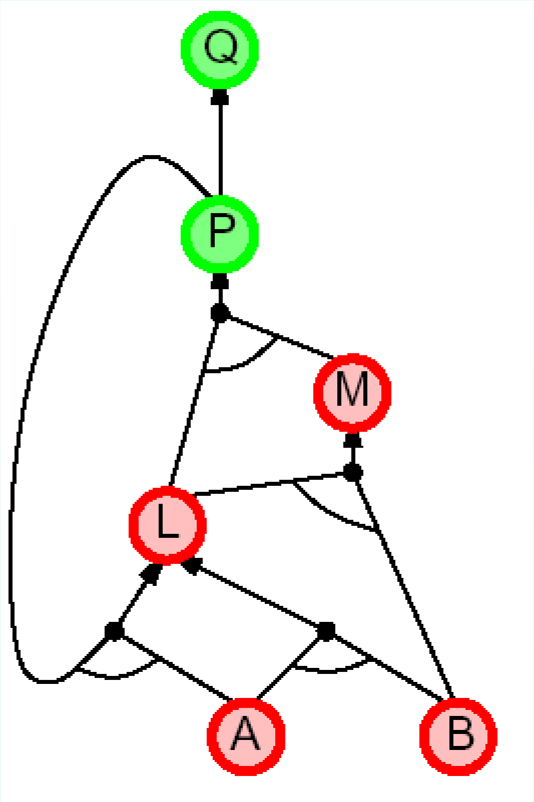
$A \wedge P \Rightarrow L$

$A \wedge B \Rightarrow L$

A

B

Encadenamiento para atrás: Ejemplo



$P \Rightarrow Q$

$\boxed{L \wedge M \Rightarrow P}$

$B \wedge L \Rightarrow M$

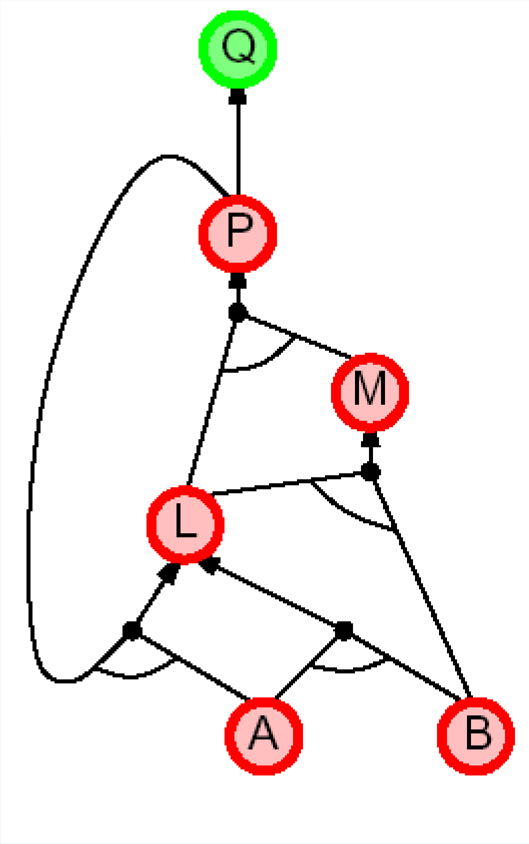
$A \wedge P \Rightarrow L$

$A \wedge B \Rightarrow L$

A

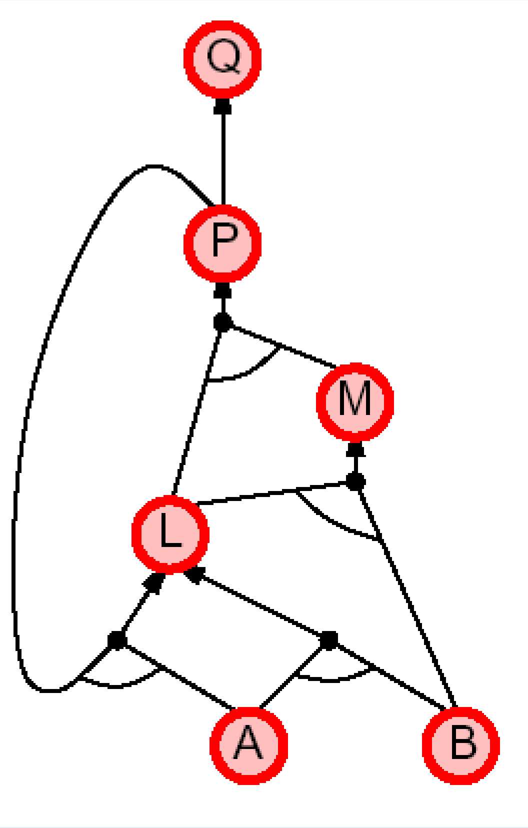
B

Encadenamiento para atrás: Ejemplo



$$P \Rightarrow Q$$
$$L \wedge M \Rightarrow P$$
$$B \wedge L \Rightarrow M$$
$$A \wedge P \Rightarrow L$$
$$A \wedge B \Rightarrow L$$
$$A$$
$$B$$

Encadenamiento para atrás: Ejemplo



$$P \Rightarrow Q$$
$$L \wedge M \Rightarrow P$$
$$B \wedge L \Rightarrow M$$
$$A \wedge P \Rightarrow L$$
$$A \wedge B \Rightarrow L$$
$$A$$
$$B$$

Encadenamiento para adelante vs para atrás

Encadenamiento para adelante	Encadenamiento para atrás
Planeamiento, monitorización y control	Diagnósticos
Presente hacia el futuro	Presente hacia el pasado
Antecedente hacia consecuente	Consecuente hacia antecedente
Razonamiento *bottom-up* basado en los datos	Razonamiento *top-down* basado en objetivo
Trabajar hacia adelante hasta encontrar soluciones que derivan de los hechos	Trabajar hacia atrás hasta encontrar los hechos que suportan una hipótesis
Antecedentes determinan la búsqueda	Consecuencias determinan la búsqueda

Deducción: Monotonía

- Algunos ejemplos donde la deducción (la monotonía, etc.) no son apropiadas.
- En lógica
  - Si A→ B, entonces A $\wedge$ C → B
- En nuestras vidas
  - Si me voy de vacaciones la paso bien (V → B)
  - Si me voy de vacaciones y estoy enferma (V $\wedge$ E → ?)

Deducción: Contrapositiva

- $P \rightarrow Q$ es equivalente a $\neg Q \rightarrow \neg P$
- Los médicos no entienden de cirugía cerebral.
- Conclusión, los que entienden de cirugías celébrales no son médicos.

Deducción: Modus Ponens

$$\frac{\begin{array}{l}A \rightarrow B \\ A\end{array}}{B}$$

Si tengo gripe tengo fiebre

Tengo gripe

Entonces tengo fiebre

Deducción: Modus Ponens

<u>Dialogo con el Médico</u>

Paciente: Doctor tengo gripe.

Médico: Ah, debe tener fiebre.

Paciente: Justamente tengo.

Médico: Ok, 50€. Siguiente ...

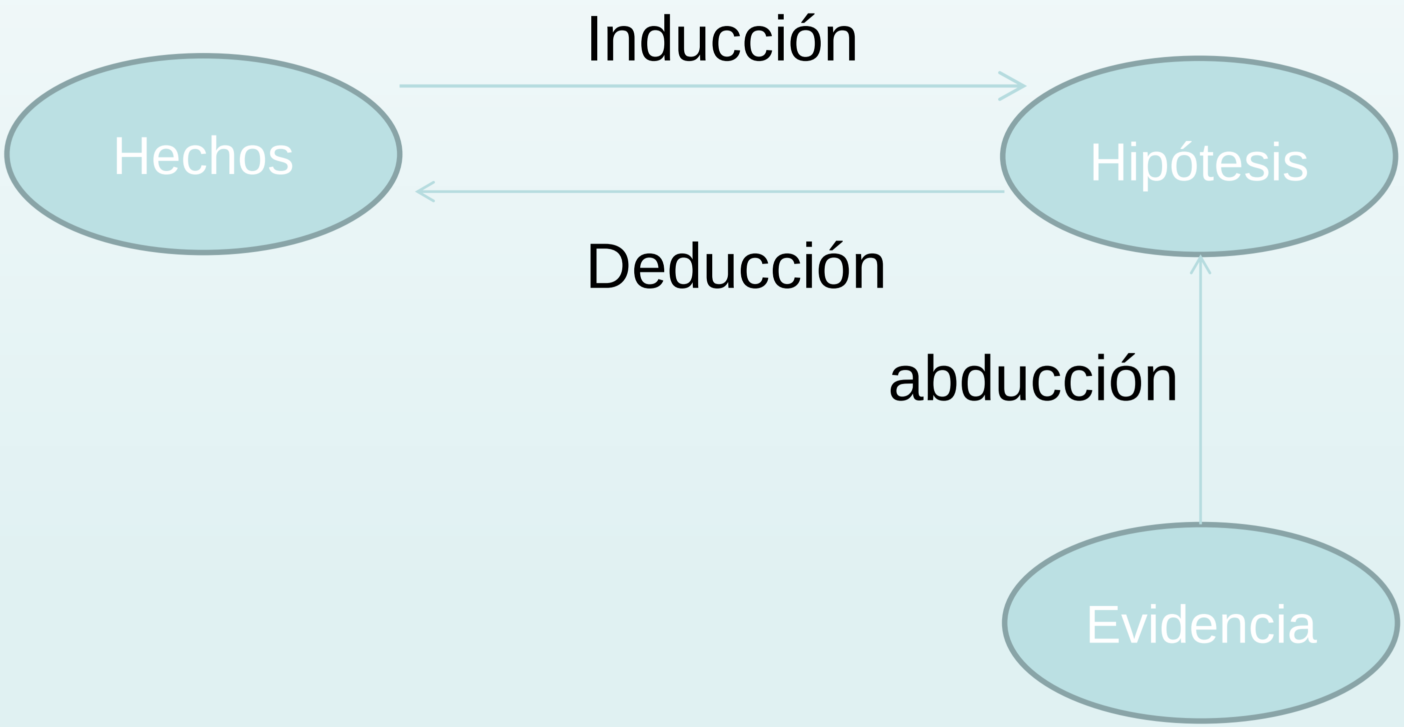
Razonamiento Inductivo

- Razonar inductivamente es partir de premisas particulares, en la búsqueda de una ley general, universal.
- Por ejemplo:
  - Todos los días el sol aparece.
  - Mañana también aparecerá.

Razonamiento Abductivo

- También llamado inferencia de diagnóstico o mejor explicación. Crea hipótesis.
- Por ejemplo:
  - Sabemos que el auto no arranca.
  - Puede ser que se acabó la gasolina.

Relación entre diferentes formas de Razonamiento



Otros tipos de Razonamiento

Analogía

- Si dos situaciones son iguales en algunos de sus aspectos, lo normal es que puedan serlo en otros.
- Ejemplo:
  - En Estocolmo hace frío, entonces en Lund (que es cerca) también hace frío.

Probabilístico

A→B con 80%

A con 65%

B con X%

Posibilístico

Las personas altas normalmente caminan deprisa.

Juan mede 1,81 m

¿Qué podemos inferir?

Razonamiento No-Monótono

- A veces el conocimiento es incompleto.
- Sin embargo para poder representar razonamiento de sentido común es necesario saltar a una conclusión plausible a partir del conocimiento existente.
- Para poder inferior conclusiones de este estilo es necesario hacer suposiciones.
- La mayoría del conocimiento que tenemos del mundo es a partir de reglas generales que especifican propiedades típicas de los objetos.
- Por ejemplo, “los pájaros vuelan”, en realidad significa: “normalmente” los pájaros vuelan pero puede haber excepciones, como pingüinos, avestruces, etc...

Razonamiento No-Monotono

- Razonamiento no monótono se ocupa de derivar conclusiones plausibles, pero no infalibles, a partir de una KB.
- Dado que las conclusiones no son certeras, tiene que ser posible retractarlas si aparece Nuevo conocimiento que muestra que la suposición no era válida.

Como vimos, la lógica clásica es monotónica:

$$\text{Si } A \rightarrow B, \text{ entonces } A \wedge C \rightarrow B$$

Razonamiento No-Monotono

- Ejemplo, supongamos que nuestra KB contiene:

Típicamente los pájaros vuelan.

Los pingüinos no vuelan.

Tweety es un pájaro.

Podemos concluir que *Tweety vuela*.

- Sin embargo, si agregamos a nuestra KB que:

Tweety es un pingüino

- La conclusión previa debería retractarse y deberíamos poder derivar que *Tweety no vuela* es verdadera.

Razonamiento No-Monotono

No podemos representar logica clásica:

“Los pájaros típicamente vuelan“:

$$\forall \mathrm{X}(\mathit{bird}(\mathrm{X}) \wedge \neg \mathit{exception}(\mathrm{X}) \rightarrow \mathit{fly}(\mathrm{X}))$$

Y luego agregar otra regla:

$$\forall \mathrm{X}(\mathit{exception}(\mathrm{X}) \leftrightarrow \mathit{penguin}(\mathrm{X}) \vee \mathit{ostrich}(\mathrm{X}) \vee \mathit{canary}(\mathrm{X}) \vee \ldots)$$

- No sabemos de antemano todas las posibles excepciones. Para concluir que “Tweety vuela” deberíamos probar que “tweety no es una excepción”, es decir: $\neg \mathit{penguin}(\mathit{tweety})$, $\neg \mathit{ostrich}(\mathit{tweety})$, . . .

Razonamiento No-Monotono

- La declaración "típicamente A" se puede leer como: "ante la ausencia de información de lo contrario, se asume A".
- El problema es definir el significado preciso de "en ausencia de información de lo contrario".
- Puede querer decir: "no hay nada en la KB que es inconsistente con asumir A".
- Hay otras interpretaciones posibles que dan lugar a diferentes lógicas no monótonas desde los años ´80:
  - Non-monotonic logic, by McDermott and Doyle, ’80
  - Default Logic, by Reiter, ’80
  - Circumscription, by McCarthy, ’80
  - Autoepistemic logic, Moore ’84

Ejercicios Tema 3

1. En el ejemplo del termostato: ahora podemos pensarlo como un agente racional:
   – ¿Qué creencias tendría el agente? ¿Qué deseos? ¿Qué intenciones?

Describa con sus palabras en lenguaje informal.

2. Notemos que este tipo de razonamiento *no es* monótono*, i.e.* puede suceder que $KB_1 \subseteq KB_2$ y sin embargo $CWA(KB_1) \not\subseteq CWA(KB_2)$. Ejercicio: muestre un ejemplo concreto de este resultado.

3. Mundo de bloques: modele el mundo de bloques en lógica proposicional. Debe modelar el estado de la mesa: tenemos 3 bloques (y solo 3) A, B y C. Debemos poder expresar que los bloques están sobre la mesa, o sobre otro bloque. También queremos expresar la siguiente propiedad (para los tres bloques): un bloque se puede *desapilar* siempre y cuando esté sobre otro bloque y no tenga un bloque encima. Cual sería la KB que represente como estado inicial el hecho de que A está sobre la mesa, B está sobre A y C está sobre la mesa? Muestre que para la consulta "se puede desapilar A?", la respuesta es negativa, usando ambos algoritmos de inferencia (encadenamiento hacia atrás y hacia adelante). Asuma CWA. Recuerde que además de las reglas que defina en la teoría, puede utilizar las reglas de inferencia y equivalencias lógicas para la lógica proposicional (Artificial Intelligence A Modern Approach. Sección 7 – tercera Edición). Una lista completa de las reglas puede encontrarse en: https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Reglas_de_inferencia

Ejercicios Tema 3

4. ¿Que tipo de razonamiento cree usted que lleva a cabo un algoritmo de clasificación basado en datos, de acuerdo a los tipos vistos en clase?
5. Describa otro ejemplo concreto que muestre la necesidad de razonamiento no monótono, similar al de “Tweety”; muestre por qué la lógica clásica falla en ese caso en particular.

Referencias

1. Commonsense Reasoning, Erik T. Muller, Elsevier 2006
2. Daniel Dennett, The Intentional Stance, MIT Pres, 1989 p. 17
3. Modeling Rational Agents within a BDI-architecture M Georgeff, A Rao