

**¿Qué formalismo tiene menos limitaciones en cuanto a su capacidad de inferencia (lo que se puede inferir)?.**

- a) reglas
- b) grafos de Sowa
- c) lógica de predicados
- d) grafos de dependencia conceptual

**Para responder a esta cuestión debe especificar claramente las capacidades de inferencia de cada uno de los métodos mencionados.**

➤ **SOLUCIÓN:**

**¿Qué pretende este problema?** Determinar el formalismo más rico desde el punto de vista de su capacidad de inferencia, a la vez que repasar las capacidades de cada uno de los métodos señalados.

- a) Primero, la respuesta escueta a la primera pregunta es: la *lógica de predicados* es la que tiene menos limitaciones en cuanto a su capacidad de inferencia. Al repasar la inferencia realizada por cada uno de estos métodos se puede verificar la corrección de esta respuesta. A continuación se comparan los diferentes métodos con la lógica.

**Reglas y lógica de predicados:** (apartado 6.7.2, pág. 258 libro base de teoría)

*Resumen:* más restringidas que la lógica de predicados ya que no usan todas las reglas de inferencia (p.ej. modus tollens). Aunque abordan superficialmente la incertidumbre (MYCIN) y se acercan a las *lógicas modales*, al *razonamiento no monótono* y al *razonamiento aproximado*. Los dos métodos más habituales asociados a las reglas son los *factores de certeza al estilo de MYCIN* y la *lógica difusa*. Tanto unos como otros son objeto de fuertes críticas.

En su formulación más simple, las reglas pueden considerarse como una versión reducida de la lógica de predicados. Tal como señala Clancey, el paradigma de las reglas guarda semejanza con la demostración automática de teoremas, aunque en este nuevo método las proposiciones lógicas —las reglas— no son contempladas como datos para un programa —el demostrador de teoremas— sino como el programa mismo.

Por otra parte, la principal diferencia entre ambos métodos es que *las reglas limitan la expresividad y la capacidad de inferencia con el fin de lograr una mayor eficiencia*. En una regla nunca puede inferirse una de las premisas ni su negación a partir de la información relativa al consecuente. Por este motivo, el encadenamiento de reglas, a pesar de estar basado en el principio de resolución, está lejos de alcanzar todas las inferencias que un sistema basado en lógica podría obtener. [Comentario sobre el compromiso entre eficiencia y expresividad.]

Además de mejorar la eficiencia, las reglas *son capaces de tratar la incertidumbre* que aparece en prácticamente todos los problemas de la vida real. De este modo, las reglas superan una de las limitaciones de la lógica clásica y se acercan a las *lógicas modales*, al *razonamiento no monótono* y al *razonamiento aproximado*. Los dos métodos más habituales asociados a las reglas son los *factores de certeza al estilo de MYCIN* y la *lógica difusa*. Tanto unos como otros son objeto de fuertes críticas.

**Lógica Clásica y Grafos de Sowa:** (apartados: 7.1.4 y 7.2, pág. 274 y 7.2.2 pág. 276 y **7.2.3 pág. 281** libro base de teoría)

*Resumen:* pueden agrupar proposiciones y relacionarlas, usar variables y referirse a distintos tipos de elementos: conceptos genéricos, individuales y relaciones conceptuales (unitarias, binarias y ternarias). Abordar otros problemas de inteligencia artificial que escapan a los planteamientos de la lógica clásica. Una de las extensiones posibles consiste en introducir relaciones conceptuales modales; hemos visto anteriormente un ejemplo al representar la frase “Probablemente iré mañana”. Permiten razonar con esquemas (p.ej. aves: "generalment"

vuelan, relacionado con el razonamiento por defecto). Intenta abordar el razonamiento aproximado pero deja muchas cuestiones sin resolver frente a la lógica clásica (deducción lógica) que está bien consolidada.

En concreto sobre inferencia (apartado 7.2.3 pág. 281):

Existen varios tipos de *operaciones* que se pueden realizar sobre este tipo de grafos. Supongamos que tenemos el siguiente ejemplo:

**G1:** [ PERS]←( AGT )←[ BEBER]→( OBJ )→[ AGUA ]

La **restricción** consiste, dicho *grosso modo*, en concretar más la información del grafo. Así, podríamos restringir G1 para obtener G2 ó G3:

**G2:** [ PERS: Marta]←( AGT )←[ BEBER]→( OBJ )→[ AGUA ]

**G3:** [ NIÑA]←( AGT )←[ BEBER]→( OBJ )→[ AGUA ]

En el primer caso, indicamos quién es la persona que bebe agua. En el grafo G3, la restricción consiste en concretar que la persona que bebe agua es una niña. Tanto desde G2 como desde G3 podemos obtener una nueva restricción:

**G4:** [ NIÑA: Marta]←( AGT )←[ BEBER]→( OBJ )→[ AGUA ]

La operación recíproca de la anterior es la **generalización**. Así, G4 puede generalizarse hacia G2 o hacia G3, y cada uno de estos dos puede generalizarse a G1. Puesto que este proceso no introduce ninguna información nueva, si el grafo original representaba una proposición verdadera, también será verdadera la proposición del grafo generalizado. La restricción, en cambio, introduce nueva información que no estaba incluida en el grafo original, y por eso a veces se pierde la veracidad del grafo resultante.

Otras dos operaciones posibles son la unión y la simplificación, que suelen aplicarse conjuntamente sobre un par de grafos. Si introducimos un nuevo grafo G5,

**G5:** [ NIÑA: Marta]←( AGT )←[ BEBER]→( INSTR )→[ VASO ]

tras aplicar la unión a G4 y G5 y tras simplificar el resultado podemos obtener un nuevo grafo G6:

**G6:** [ BEBER]  
( AGT )→[ NIÑA: Marta ]  
( OBJ )→[ AGUA ]  
( INSTR )→[ VASO ]

Este proceso de unión y simplificación nos recuerda la unificación que se utiliza en lógica matemática con el fin de aplicar la regla de resolución. De hecho, estas operaciones, junto con unas sencillas reglas de cálculo, permiten implementar mediante grafos conceptuales toda la lógica de primer orden e incluso algunas características de la lógica de orden superior. Es lo que podríamos denominar *razonamiento exacto* o *razonamiento deductivo* mediante grafos de Sowa.

Además, este autor trató de extender su método de representación para que fuera capaz de abordar otros problemas de inteligencia artificial que escapan a los planteamientos de la lógica clásica. Una de las extensiones posibles consiste en introducir relaciones conceptuales modales; hemos visto anteriormente un ejemplo al representar la frase “Probablemente iré mañana”.

Otra posible extensión consiste en utilizar *esquemas*. También hemos visto un ejemplo anteriormente, en el que se afirmaba que las aves generalmente vuelan. De este modo los grafos conceptuales tratan de implementar el razonamiento por defecto (sec. ???) y el razonamiento mediante esquemas (sec. ???), que se encuentran descritos en otros lugares de este libro. Por ahora, baste señalar que, a diferencia del razonamiento exacto, el razonamiento con

incertidumbre (también llamado razonamiento aproximado) mediante grafos de Sowa aún no se encuentra completamente desarrollado; en realidad, su creador se limita a señalar y sugerir algunas posibilidades. No es de extrañar que esto sea así pues, a diferencia de la deducción en lógica clásica, que está bien consolidada desde hace varias décadas, en el razonamiento con incertidumbre existen aún muchas cuestiones sin resolver; en la actualidad se está investigando con intensidad un buen número de métodos, cada uno de ellos con sus cualidades y sus deficiencias.

Con respecto a su capacidad expresiva:

En los *grafos relacionales*, cada nodo corresponde un concepto. Sin embargo, estos tipos de redes presentan serias limitaciones a la hora de abordar el lenguaje natural; de hecho, ni siquiera *son capaces de representar la lógica de primer orden*. En efecto, estos grafos son capaces de tratar un operador existencial implícitamente mediante un nodo genérico; por ejemplo, la frase “Juan tiene un amigo” puede representarse mediante un grafo. Sin embargo, estos modelos de redes son incapaces de representar el operador universal, por lo que una frase como “*Todo* hombre tiene algún amigo” o “Hay un hombre a quien todos admiran” *no pueden ser traducidas* a grafos relacionales.

Otra de las limitaciones de los estos grafos al tratar la interacción entre más de dos proposiciones. Así, una afirmación como “Cuando es de noche baja la temperatura”, puede representarse trazando un enlace de simultaneidad entre los dos verbos. Sin embargo, la afirmación “*Cuando* es de noche y hay niebla *resulta* peligroso conducir” indica una implicación cuyo antecedente viene dado por la conjunción de dos proposiciones. Para poder traducirla a un grafo se hace necesario poder representar la *conjunción de proposiciones como un nodo* (o como un contexto) para poder trazar un enlace hacia el consecuente de la implicación. Algo parecido puede decirse de la afirmación “Luis piensa que si ahorra dinero podrá irse de viaje”; en este caso, el objeto de “pensar” no es una proposición sino una implicación en la que participan dos proposiciones.

Una vez mostradas las limitaciones de los modelos relacionales, vamos a hablar ahora de ciertos tipos de redes en que los nodos no representan solamente conceptos, sino que también pueden representar sintagmas, cláusulas, frases, párrafos e incluso historias completas. Los tres trabajos más importantes en esta línea son los de Shapiro [1971, 79], Hendrix [1979] y Sowa [1984].

En las redes de particiones, de Hendrix, y en los grafos conceptuales, de Sowa, la determinación de los contextos se realiza trazando rectángulos que agrupen cierto número de nodos. Puesto que las redes de particiones son muy similares a los grafos conceptuales y éstos están mucho más desarrollados que aquéllas, nos vamos a limitar aquí a estudiar el modelo propuesto por Sowa. En esta representación, el ejemplo anterior vendría dado por el siguiente diagrama:

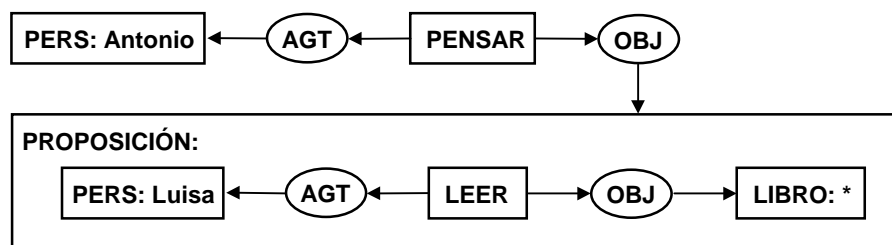


Fig. 1.7.. Grafo conceptual de Sowa para el mismo ejemplo de la Fig 1.6..

Permiten representar el cuantificador existencial y universal. Incluso pueden precisar más detalles:

- *Un río* [RÍO: \*]  $\equiv$  [RÍO]
- *Algunos ríos* [RÍO: { \* }]
- *Tres ríos* [RÍO: { \* }@3]
- *El río (uno específico)* [RÍO: #]
- *¿Qué río?* [RÍO: ?]
- *Todo río, todos los ríos* [RÍO:  $\forall$ ]

En la notación lineal, al no poder unir los nodos mediante líneas discontinuas, se utilizan variables para indicar los nodos que coinciden:

```
[CONDICIONAL: -
  (SI)  $\rightarrow$  [PROPOSICIÓN: [POSEER] -
    (AGT)  $\rightarrow$  [PERS: *x]
    (OBJ)  $\rightarrow$  [COCHE: *y]]
  (ENT)  $\rightarrow$  [PROPOSICIÓN: [UTILIZAR] -
    (AGT)  $\rightarrow$  [T: *x]
    (OBJ)  $\rightarrow$  [T: *y]]]
```

Obsérvese la semejanza con la representación de esta frase en la lógica de predicados:

$$\forall x, \forall y, (\text{COCHE}(y) \wedge \text{POSEE}(x, y)) \Rightarrow \text{UTILIZA}(x, y)$$

Las variables no sólo pueden representar un nodo-concepto, sino cualquier nodo más complejo; el siguiente ejemplo, corresponde a la frase “Dije a Ana que la clase se había suspendido y ella se lo comentó a Luis”:

```
[DECIR] -
  (AGT)  $\rightarrow$  [PERS: #yo]
  (RCP)  $\rightarrow$  [PERS: Ana *x]
  (OBJ)  $\rightarrow$  [PROPOSICIÓN:
    [CLASE: #]  $\leftarrow$  (OBJ)  $\leftarrow$  [SUSPENDER] *y]
  (PASADO)
[COMENTAR] -
  (AGT)  $\rightarrow$  [*x]
  (RCP)  $\rightarrow$  [PERS: Luis]
  (OBJ)  $\rightarrow$  [*y]
  (PASADO)
```

En este caso, la variable  $x$  representa una persona, Ana, mientras que la variable  $y$  representa toda una proposición, “la clase se había suspendido”, que es lo que Ana comentó a Luis.

Recapitulando lo que hemos visto hasta ahora, se observa que en un grafo de Sowa intervienen elementos de tres clases:

- **Conceptos genéricos**, tales como LIBRO, PERS, PENSAR y COMER.
- **Conceptos individuales**, tales como [PERS: Luis], que representa a una persona determinada, o [PENSAR], que representa un acto de pensamiento (ver la fig. 1.7.).
- **Relaciones conceptuales**, que pueden ser *unitarias* (PASADO, NEG, etc.), *binarias* (AGT, OBJ, ATR, LOC, etc.) e incluso *ternarias* (ENTRE, para indicar que  $A$  se encuentra ENTRE  $B$  y  $C$ ).

Esquema: AVE(x) es

[Ave:\*x]  $\leftarrow$  (AGT)  $\leftarrow$  [VOLAR]

A diferencia del concepto, lo que diga el esquema no tiene por qué cumplirse necesariamente (p.ej. los pingüinos no vuelan).

**Lógica Clásica y Grafos de Dependencia Conceptual:** (apartados: 7.1.3 pág. 270 y 7.1.4 pág. 274 libro base de teoría)

*Resumen:* basado en los estudios de la lingüística abordaba el problema del lenguaje desde cualquier idioma: *conceptos* en lugar de *palabras*. Su inferencia está relacionada con la capacidad de interpretar frases a partir de un modelo basado en primitivas (con la ventaja de que determinan unívocamente la representación del conocimiento y se podría plantear la construcción de un intérprete). Los grafos conceptuales resuelven este problema mediante la *descomposición* de cualquier frase en los elementos y acciones más simples que intervienen. Uno de los tipos de **inferencias** que aparecen en los grafos de Schank consiste en establecer las *condiciones*. Por ejemplo, de la frase “Juan comió un filete” se infiere que Juan existía, que el filete existía y que ambos estuvieron en contacto en algún momento. Otro de los tipos de inferencias consiste en hallar las *causas*, y entre ellas las *intenciones*. Así, de “Juan pidió el libro a María” se infiere que María tenía un libro y que Juan quería leer ese libro. También se puede inferir el *resultado* de las acciones: de “Juan comió un filete” se deduce que el filete dejó de existir, y de “Juan viajó a Barcelona” se deduce que Juan estuvo en Barcelona. *Tienen las limitaciones de ser grafos relacionales y no poder asociar proposiciones.*

La idea principal de este método consiste en interpretar cualquier frase mediante un número de **primitivas**, a saber, 6 categorías conceptuales, 16 reglas sintácticas y varias acciones primitivas (Schank afirma que 12 de ellas son suficientes para comprender gran parte del lenguaje natural). Las *categorías conceptuales* son: objeto físico (una cosa o un ser vivo), acción, atributo de un objeto físico, atributo de una acción, tiempo y localización. Las *reglas sintácticas* determinan los diferentes tipos de relación que pueden existir entre los elementos de una frase; en seguida mostraremos algunas de ellas. Y, por último, entre las *acciones primitivas* se encuentran las siguientes:

PTRANS	Transferir físicamente (cambiar de lugar un objeto)
ATRANS	Transferir una relación abstracta, como posesión o control
MTRANS	Transferir mentalmente (decir, contar, comunicar, etc.)
PROPEL	Empujar
MOVE	Mover un miembro de un animal
GRASP	Coger, atrapar
INGEST	Ingerir
etc.	

Explicaremos estas ideas mediante algunos ejemplos. En la Fig 1.4. tenemos la representación de la frase “Juan bebe agua”.

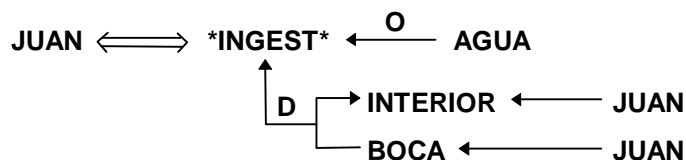


Fig. 1.4.. Representación de “Juan bebe agua” mediante un grafo conceptual.

El elemento central del diagrama viene dado por una de las acciones primitivas: INGERIR. También podemos reconocer cuatro relaciones sintácticas: *sujeto-verbo* (en forma de doble flecha), *objeto-verbo* (una flecha con una O), *posesión o parte-de* (dos flechas sencillas indican que se trata de la boca y del interior de Juan) y *dirección* (una flecha marcada con una D indica la dirección en que el agua es ingerida).

Problemas: se cuestiona la validez de las primitivas elegidas (universales) y del número y al final dependen del idioma. Por otro lado, requieren una descripción demasiado detallada de las acciones (difíciles de manejar). Además se critica el centrar la representación en torno al verbo.

**Lógica de predicados:** (apartados: **5.3** **pág. 188** y 7.1.4 **pág. 274** libro base de teoría)

*Resumen:* es la más versátil, p.ej. con las 8 reglas de inferencia del modelo básico de Gentzen. El usuario se enfrenta a un modelo de más posibilidades a priori. No obstante, todos se pueden reducir a un solo principio de inferencia. Por ejemplo, el Principio de Resolución de Robinson, se basa en una extensión del *modus ponens* en Forma Normal Disyuntiva.