

Incertidumbre

# Incertidumbre

- Hasta ahora hemos descrito técnicas de representación del conocimiento y razonamiento para un modelo del mundo:
  - Completo: se conoce todo el conocimiento y los datos
  - Consistente: el conocimiento no da lugar a conclusiones contradictorias)
  - Inalterable: el conocimiento siempre es válido y no cambia
- Sin embargo, en la mayoría de los dominios de interés no es posible crear tales modelos debido a la presencia de incertidumbre:
  - “Falta de conocimiento seguro y claro de algo”. (DiccionarioRAE)
- En este tema se revisarán diversas aproximaciones para tratar con la incertidumbre que como indicamos es habitual en la mayoría de los problemas de interés que se aborden

# Fuentes de incertidumbre

- Con respecto a los hechos

- 1) **Ignorancia o desconocimiento**

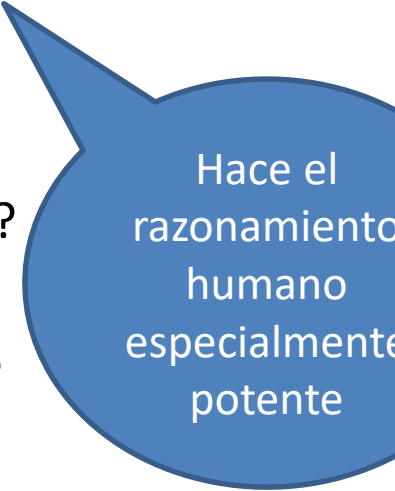
- Puede que en un campo el **conocimiento sea incompleto**
    - Aunque el conocimiento pueda llegar a ser completo, a veces conviene **tomar decisiones con conocimiento incompleto** : Por ejemplo, a veces conviene tratar a un paciente aunque todavía no se disponga de los resultados de todas las pruebas
    - A veces **la falta de conocimiento es irreducible o inevitable**:
      - ¿Cual será el resultado del sorteo?
      - ¿Es sincera esa persona?

- 2) **Vaguedad e imprecisión**: algunos **conceptos son vagos e imprecisos**: persona alta, deuda pequeña, asignatura difícil, ....

# Fuentes de Incertidumbre: Reglas

Con respecto a las reglas:

- Muchas veces las reglas que usan los expertos en determinadas situaciones son heurísticas.
- El ser humano razona y utiliza reglas que son:
  - **Inexactas o incompletas**
    - “Si es un ave entonces vuela”, ¿y los pingüinos
    - “Si está en España habla español”, ¿y algunos turistas?
  - **Imprecisas**
    - Cuando haga mucho calor, suba el aire acondicionado
  - **Inconsistentes**
    - Al que madruga dios le ayuda
    - No por mucho madrugar amanece más temprano

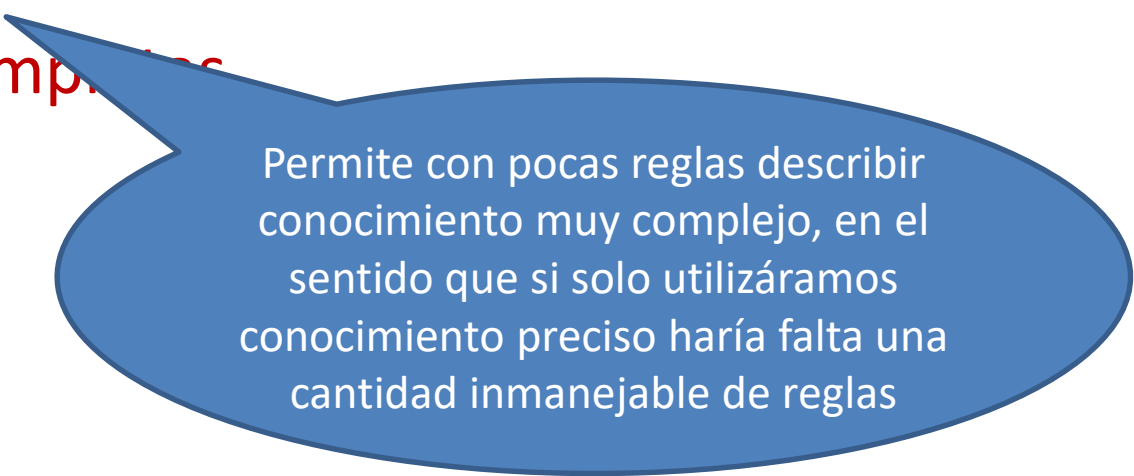


Hace el  
razonamiento  
humano  
especialmente  
potente

# Fuentes de Incertidumbre: Reglas

Con respecto a las reglas:

- Muchas veces las reglas que usan los expertos en determinadas situaciones son heurísticas.
- El ser humano razona y utiliza reglas que son:
  - Inexactas o incompletas
  - Imprecisas
  - Inconsistentes



Permite con pocas reglas describir conocimiento muy complejo, en el sentido que si solo utilizáramos conocimiento preciso haría falta una cantidad inmanejable de reglas

# Razonamiento con Incertidumbre

- Objetivo:
  - Razonar con conocimiento incompleto, impreciso e incluso parcialmente inconsistente.
- Implementación:
  - Es difícil cumplir estos requerimientos utilizando los modelos de razonamiento clásico (la lógica de primer orden)
  - Deben introducirse modelos para manejar información vaga, incierta, incompleta y contradictoria.
  - Crucial para un sistema que funcione en el mundo real

# Cuestiones a Resolver por las Aproximaciones a la Incertidumbre

- ¿Cómo **evaluar si se da una condición imprecisa**?
  - Si tiene fiebre alta beber mas agua
  - ¿Se puede aplicar con 37,8 grados? ¿Cuanta agua le damos entonces?
- ¿Cómo **combinar hechos imprecisos**?
  - Se con un grado de certidumbre que X es alto, y otro grado de certidumbre que X está delgado
  - ¿Con que certidumbre puedo afirmar X es alto y esta delgado?
- ¿Qué **confianza se puede tener en las conclusiones**?
  - Si X estudia bastante aprobará; - Juan estudia mucho
  - ¿Con que certidumbre puedo afirmar que Juan aprobará?

# Cuestiones a Resolver por las Aproximaciones a la Incertidumbre

- ¿Cómo combinar la incertidumbre de un mismo hecho deducidos por distintas deducciones?
    - Si duele la cabeza y la garganta, será amigdalitis con una certeza
    - Si hay puntos blancos en las amígdalas, será amigdalitis con otra certeza
- ¿Si duele la cabeza y la garganta y hay puntos blancos en las amígdalas, con que certeza podemos afirmar que será amigdalitis?



# Algo de Historia

- **Inicialmente** la mayoría de los investigadores en IA usaban **razonamiento simbólico** y evitaban la utilización de números
  - Los sistemas expertos no deben usar números puesto que los expertos humanos no lo hacen
  - Los expertos no pueden suministrar los números requeridos
- Al desarrollar aplicaciones concretas se dieron cuenta de la **necesidad de representar y manejar la incertidumbre**:
  - MYCIN (años 70), SE para el tratamiento de infecciones bacterianas fue el primer éxito en este campo
- Los **métodos numéricos** (midiendo la incertidumbre mediante números) son actualmente **la herramienta mas utilizada en IA** para manejar la incertidumbre
  - Debido a los éxitos prácticos

# Principales Modelos de Representación de la Incertidumbre

- **La lógica de primer orden (LPO) no es adecuada para modelar la incertidumbre por lo que son necesarios nuevos modelos, entre ellos destacan:**
- **Modelos Simbólicos**
  - Lógicas por Defecto
  - Lógicas basadas en Modelos Mínimos
    - La asunción del mundo cerrado
- **Modelos Numéricos**
  - Probabilidad
  - Teoría de Dempster-Shaffer
  - Lógica difusa

# Representación Simbólica de la Incertidumbre

- **La LPO asume que el conocimiento:**
  - Es exacto.
    - Los hechos son ciertos o falsos
  - Es completo.
    - Se conoce todo acerca del campo de trabajo.
  - Es consistente.
    - No tiene contradicciones.
- **Por tanto, con la LPO :**
  - No se puede expresar incertidumbre.
  - No puede hacer deducciones lógicamente incorrectas pero probables
  - No se puede trabajar con información contradictoria

# El Razonamiento no Monótono

- **Como la LPO asume que el conocimiento es completo y consistente, una vez que un hecho se asume/es cierto permanece así (Monotonía)**
  - Si de una Base de Conocimiento (BC) se deduce una expresión  $s$ , y se tiene otra Base de conocimiento  $BC'$  de forma que  $BC \subset BC'$ , entonces de  $BC'$  también se deduce  $s$ .
  - Por tanto el añadir nuevo conocimiento siempre incrementa el tamaño de la Base de Conocimiento.
- **La presencia de conocimiento incompleto nos lleva a modelos no monótonos:**
  - El conocimiento de nuevos hechos puede hacer que nos retractemos de algunas de nuestras creencias.

# Representación Simbólica de la Incertidumbre

- **Lógica por defecto**

- Propuesta por Reiter para solucionar el problema del conocimiento incompleto (1980).
- Para ello se introducen una serie de reglas por defecto.
- Intuitivamente:
  - “Las reglas por defecto expresan características comunes a un conjunto de elementos que se asumen ciertas salvo que se indique lo contrario”.

- **Asunción del mundo cerrado**

- Sirve para manejar conocimiento incompleto.
- Intuitivamente:
  - “Lo que no se puede probar a partir de mi Base de Conocimiento es falso”
- Utilizado en las B.D. y Prolog.

- **Inconvenientes**

- Teorías complejas y a veces inconsistentes.

# Representación Numérica de la Incertidumbre: Factores de Certeza

- **Los Factores de certeza aparecieron en el sistema experto MYCIN:**
  - desarrollado en la Universidad de Stanford (década de los 70) para el diagnóstico y consulta de enfermedades infecciosas.
- **Factores de certeza**
  - La Base de Conocimiento de MYCIN consistía en reglas de la forma:  
Evidencia  $\rightarrow$  Hipótesis  $FC(H|E)$
  - El **factor de certeza FC** representa la certidumbre en la Hipótesis cuando se observa la Evidencia.
  - Los FC varían entre  $-1$  (creencia nula) y  $1$  (creencia total)

# Reglas de la lógica por defecto

- Si se dan estas CONDICIONES\_POSITIVAS y NO se sabe CONDICIONES\_NEGATIVAS, entonces asumir CONSECUENTE
  - Si X es un ave y no se sabe que X no vuela, entonces deducir que X vuela
- Necesitan poder retractarse: Si CONSECUENTE y CONDICIONES\_POSITIVAS y CONDICIONES\_NEGATIVAS, entonces retractar CONSECUENTE
  - Si X vuela y X es un AVE y X no vuela, entonces retractar X vuela

# Ejemplo lógica por defecto

R1 (por defecto) Si X es un ave y no se sabe que X no vuela, entonces que X vuela

R2 Si X es un pingüino, X no vuela

## Base de hechos

- El usuario nos indica que Tweety es un ave

F1. Tweety es un ave

- Aplicando R1 el razonador añade que Tweety vuela

F1. Tweety es un ave F2. Tweety vuela

- Nuevo hecho conocido (nos informa el usuario que Tweety es un pingüino)

F1. Tweety es un ave F2. Tweety vuela F3. Tweety es un pingüino

- Aplicando R2 el razonador añade que Tweety no vuela

F1. Tweety es un ave F2. Tweety vuela F3. Tweety es un pingüino F4. Tweety no vuela

- Aplicando la retractación de R1, el razonador elimina F2

F1. Tweety es un ave F3. Tweety es un pingüino F4. Tweety no vuela



# Problemas de la lógica por defecto

Los hechos deducidos a partir de hechos asumidos por defecto, no se retractan si posteriormente los hechos por defecto son retractados.

Por ejemplo, si a partir de “Tweety vuela” hubiéramos deducido que “Tweety circula por el aire”, cuando retractemos “Tweety vuela” se mantendrá “Tweety circula por el aire”.

# Representación Numérica de la Incertidumbre: Factores de Certeza

- **Grados de creencia**

- Los FC se calculan a partir de los **grados de creencia GC** y no creencia en la hipótesis
- Los GC varían entre 0 (creencia nula) y 1 (creencia total)
- La relación entre FC y GC es:  $FC(H|E) = GC(H|E) - GC(\neg H|E)$

- **Propiedades**

- A diferencia de los grados de creencia probabilísticos  
 $GC(H|E) + GC(\neg H|E) \neq 1$

# Las Reglas en Mycin

- **Ejemplo:**

```
($AND      (SAME CNTXT GRAM GRAMNEG)
            (SAME CNTXT MORPH ROD)
            (SAME CNTXT AIR ANAEROBIC))
(CONCLUDE CNTXT IDENTITY BACTEROIDES TALLY .6)
```

- **Lo que significa:**

SI el organismo es gram-negativo

Y tiene forma de bastón

Y es anaerobio

ENTONCES el organismo es bacteriodes (con certeza 0.6)

- **Los factores de certidumbre se introducían a mano por el diseñador**

# Combinación de Factores de Certeza

- **Combinación de Reglas Convergentes**

Si  $E_1$  entonces  $H$  con  $FC(H|E_1)$

Si  $E_2$  entonces  $H$  con  $FC(H|E_2)$

---

Si  $E_1 \vee E_2$  entonces  $H$  con  $FC(H|E_1 \vee E_2)$

Con:  $FC(H|E_1 \vee E_2) = f_{\text{comb}}(FC(H|E_1), FC(H|E_2))$  definida como

$$f_{\text{comb}}(x, y) = \begin{cases} x + y - xy & x, y > 0 \\ (x + y) / (1 - \min(|x|, |y|)) & xy \leq 0 \\ x + y + xy & x, y < 0 \end{cases}$$

- **Encadenado de Reglas**

Si  $A$  entonces  $B$  con  $FC(B|A)$

Si  $B$  entonces  $C$  con  $FC(C|B)$

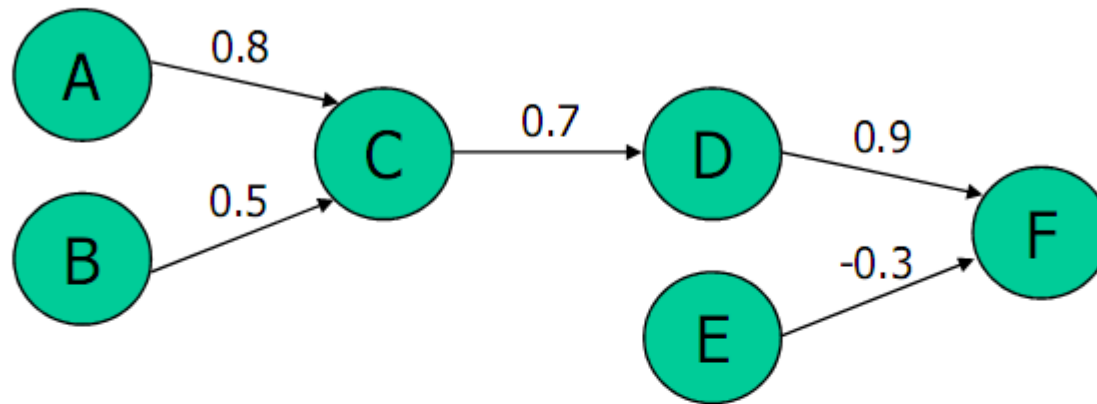
---

Si  $A$  entonces  $C$  con  $FC(C|A)$

$$\text{Con: } FC(C|A) = \begin{cases} FC(C|B) FC(B|A) & FC(B|A) \geq 0 \\ 0 & FC(B|A) < 0 \end{cases}$$

# Ejemplo de Combinación de Factores de Certeza

- Dadas siguientes reglas calcular el factor de certeza de la proposición  $A \vee B \vee E \rightarrow F$



- $A \rightarrow C, B \rightarrow C$   $FC(C|A,B) = 0.8 + 0.5(1 - 0.8) = 0.9$  (Convergencia)
- $A \vee B \rightarrow C, C \rightarrow D$   $FC(D|A,B) = 0.9 \times 0.7 = 0.63$  (Encadenado)
- $A \vee B \rightarrow D, D \rightarrow F$   $FC(F|A,B) = 0.63 \times 0.9 = 0.567$  (Encadenado)
- $A \vee B \rightarrow F, E \rightarrow F$   $FC(F|A,B,E) =$   
 $(0.567 - 0.3) / (1 - \min(0.567, 0.3))$   
 $= 0.38$  (Convergencia)

- Por tanto, si observamos A, B y E podemos concluir F con certidumbre 0.38

# ¿Cómo era el rendimiento de Mycin?

- **El sistema experto Mycin proporcionaba diagnósticos y recomendaciones terapéuticas que eran al menos tan buenas como los mejores expertos en la especialidad**
- **Sin embargo los factores de certeza pueden producir incoherencias, por ejemplo:**
  - De Sarampión→Ronchas (0.8) y Ronchas→Alergia (0.5) obtenemos (encadenado) Sarampión→Alergia (0.4)!