



REPRESENTACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

José Manuel Molina López
Grupo de Inteligencia
Artificial Aplicada

CONTENIDO

Introducción

Fuentes de incertidumbre

Modelos de razonamiento con incertidumbre

Apuntes históricos del tratamiento de la
incertidumbre

Planteamiento de Ejemplos

INTRODUCCIÓN AL RAZONAMIENTO CON INCERTIDUMBRE

Razonamiento deductivo

- A partir de cierta información (premisas, Γ) intentamos obtener nueva información (conclusión, ϕ)
- Mediante la aplicación de un mecanismo de inferencia (eg. *Modus ponens*)
- Premisas:
 - Proposiciones sobre un solo objeto (Llueve, hace calor)
 - Relaciones entre varios objetos (Los coches potentes corren mucho)

La incertidumbre como grado de verdad o como excepción:

- Grado de certidumbre
 - Si un coche es potente, corre mucho
 - En qué grado es cierta esta regla, cuál es el significado de potente o de mucho,
 - Si llueve me mojo... y si llevo paraguas?
- Tratamiento de excepciones
 - Las aves tienen alas. Los animales con alas vuelan. El pingüino es un ave
 - Qué se puede hacer con las excepciones? Ignorarlas. Enumerarlas. Resumirlas

SISTEMAS DE REGLAS LÓGICA DE PRIMER ORDEN

Las relaciones entre objetos se expresan mediante reglas, Si... Entonces... ($A \rightarrow B$)

En la Lógica de Primer Orden los hechos son ciertos, falsos o desconocidos

La inferencia con la LPO únicamente es posible con hechos ciertos

- No puede expresar la incertidumbre.
- No puede hacer deducciones lógicamente incorrectas pero probables
- No puede revisar sus conclusiones a la luz de nuevo conocimiento

Limitación: casi todos los dominios reales tienen incertidumbre

FUENTES DE INCERTIDUMBRE

Información disponible (hechos)

- **Incompleta**
- **Incierta**
- **Errónea**

Conocimiento (modelo) del dominio (relaciones)

- **Impreciso**
- **Incompleto**
- **Contradictorio**

Representación del Conocimiento/información:

- Insuficiente poder descriptivo
- No eficiente (excesivo coste computacional)

PALABRAS RELACIONADAS CON LA INCERTIDUMBRE

Imprecisión

Una información o enunciado es impreciso si admite más de una interpretación posible. Decir que un sistema tiene una temperatura alta, se puede interpretar de muchas maneras

Vaguedad

Un concepto es vago cuando la frontera del conjunto de valores que especifica, no está bien definida, por ejemplo “Juan es Joven”

Incompletitud

Una información es incompleta respecto a un enunciado si no permite inferir la verdad o falsedad de ese enunciado (si no se si llevo paraguas no se si me voy a mojar aunque llueva)

Incetidumbre

Todo enunciado es incierto respecto a una información cuando no es posible determinar con seguridad su validez (Verdadero o Falso)

EJEMPLOS DE DOMINIOS CON INCERTIDUMBRE

Diagnóstico médico

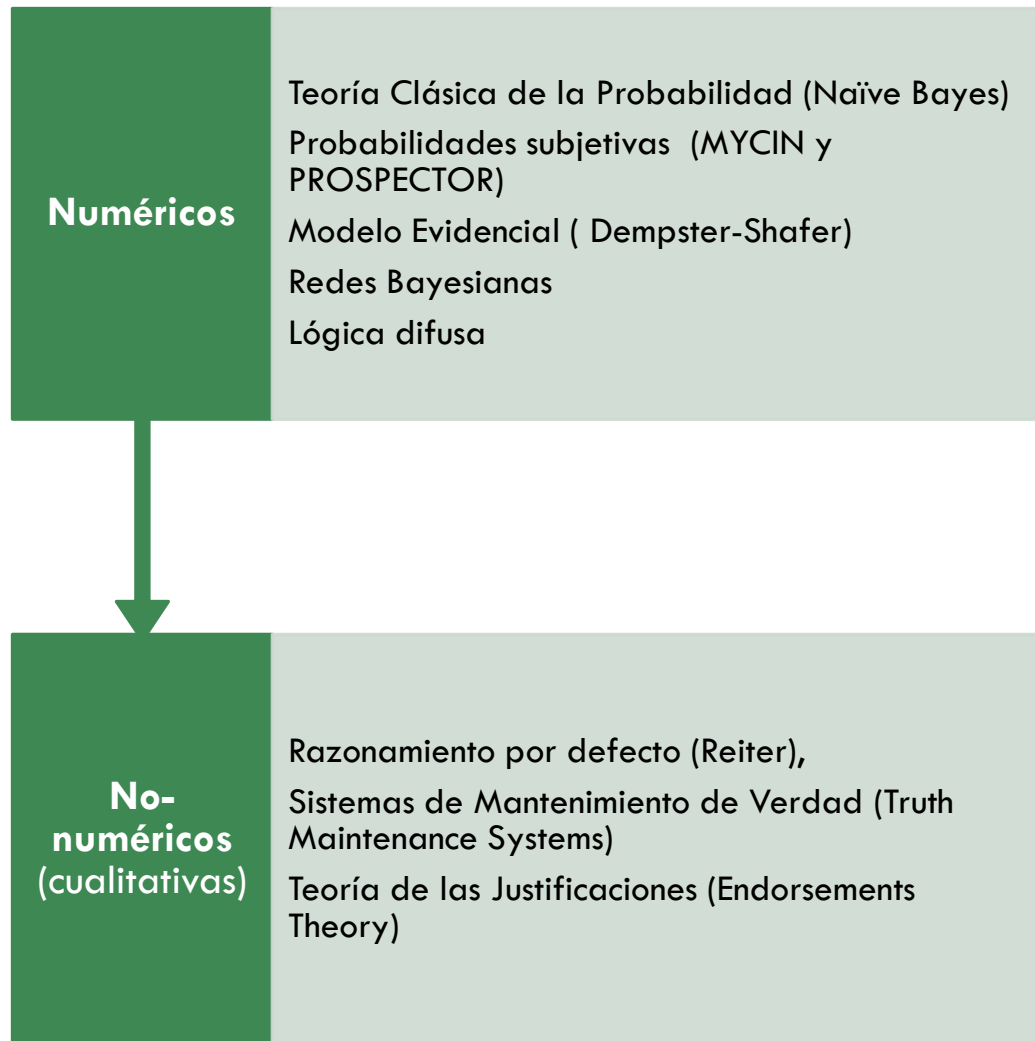
Predicción financiera

Exploración minera / petrolera

Interpretación de imágenes (visión)

Reconocimiento de lenguaje natural
(hablado y escrito)

Supervisión / control de procesos
industriales complejos



MODELOS DE RAZONAMIENTO CON INCERTIDUMBRE



Thomas Bayes



Pierre-Simon Laplace

APUNTES HISTÓRICOS

APUNTES HISTÓRICOS (I)

Método probabilista clásico

- En el siglo XVIII, Bayes y Laplace propusieron la **probabilidad como una medida de la creencia personal**. Redescubierto en los años 30 del s.XX
- Se basa en el concepto de **probabilidad condicional**. Se usó en los primeros **sistemas de diagnóstico médico**
- Inconvenientes principales:
 - gran cantidad de **parámetros** (probabilidades)
 - gran **complejidad computacional**
 - **poca verosimilitud** de las hipótesis simplificadoras

APUNTES HISTÓRICOS (II)

Representacion del conocimiento (60')

Marvin Minsky (MIT) Creador de los marcos (frames) y gran promotor de la IA simbólica

W. R. Quillian (Carnegie Mellon). Crea las Redes Semántica

APUNTES HISTÓRICOS (III)

Sistemas Expertos (60'-70')

DENDRAL (Feigenbaum & Buchanan), primer sistema que utiliza con éxito el razonamiento basado en reglas (sistemas de producción). Realiza análisis de estructura molecular mediante espectrografía de masas

MYCIN (E. Shortliffe). Diagnóstico de enfermedades infecciosas. Razonamiento de base probabilística, adaptado al encadenamiento de reglas: Factores de certeza.

PROSPECTOR (Duda & Hart). Prospección geológica para minería. Combina redes semánticas y reglas. Modelo de evidencias necesarias y suficientes.

APUNTES HISTÓRICOS (IV)

Sistemas expertos (80'). Modelo evidencial de Dempster-Shaffer

Redes bayesianas (80'), Judea Pearl

- **Modelo probabilista** inspirado en la **causalidad**
- **Modelo gráfico**, cuyos nodos representan variables y cuyos arcos representan mecanismos causales
- Extraordinario desarrollo experimentado por las redes bayesianas en las dos últimas décadas
- **Modelos de diagnóstico y algoritmos eficientes** para problemas con miles de variables

APUNTES HISTÓRICOS (IV)

Lógica borrosa (80') Lofti Zadeh

- Motivación inicial: estudio de la vaguedad
Relación vaguedad \leftrightarrow incertidumbre
- Paradoja del montón de arena (o del céntimo de euro)
- Solución: definir conjuntos con **grados de pertenencia**
- Muchas áreas de las matemáticas y la lógica se han “difuminado” desde entonces.

CONCLUSIONES

La necesidad de razonar con incertidumbre se da en casi todos los campos del conocimiento



Métodos cuantitativos de tratamiento de la incertidumbre más importantes:

Método probabilístico clásico (naïve Bayes)

Factores de certeza (certainty factors)

Lógica borrosa (fuzzy logic)

Redes bayesianas (bayesian networks)



El debate sobre el método más adecuado permanece abierto

Los modelos más usados actualmente son la Lógica Borrosa y las Redes Bayesianas

Los que mejor equilibran corrección semántica y eficiencia son las Redes Bayesianas

EJEMPLOS

Razonamiento Incierto por Enumeración

Razonamiento con Sensores

- Caso 1
- Caso 2

Pepe, Juan y Luis son sospechosos en un caso de asesinato. Pepe tiene coartada, el registro en un hotel alejado de la zona del crimen. Juan también tiene coartada, en el momento del crimen se encontraba visitando a su cuñado. Y Luis asegura que se encontraba viendo unos campeonatos de esquí en la sierra, pero sólo puede aportar su propio testimonio.

En base a la información disponible, en un primer momento la policía cree lo siguiente:

1. Pepe no cometió el crimen
2. Juan no cometió el crimen
3. Uno de los tres cometió el crimen



ENUMERACIÓN DE OPCIONES

Posteriormente, Luis pudo aportar pruebas de su coartada (fue captado por una cámara de televisión enfocando a público).

En ese momento se añade una nueva creencia:

4. Luis no cometió el crimen

ENUMERACIÓN DE OPCIONES

Las 4 creencias anteriores son inconsistentes, por lo que al menos una debe desestimarse. Se puede estimar que de las tres coartadas, la menos fiable es la de Juan (2). La base de (1) es buena y la de (4) es aún mejor.

La base de la (3) se soporta en que no hubo robo, y bajo esa circunstancia los únicos a los que se conoce un móvil son Pepe, Juan o Luis. Sin embargo no sabemos si existen otras personas que pudieran salir beneficiadas con este asesinato.

Así pues las dos creencias más débiles son (2) y (3). Se se debería desestimar una de las dos, buscando nuevos sospechosos o ampliando la investigación sobre Juan.



ENUMERACIÓN DE OPCIONES

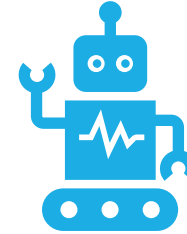


Utiliza 3 Sensores de diferente tipo

Un sensor es de tipo sónar, es decir, es capaz de extraer la posición en la que se encuentra un objeto.

Otro sensor es una cámara que permite identificar los contornos de un objeto.

El último sensor es un detector de temperatura.



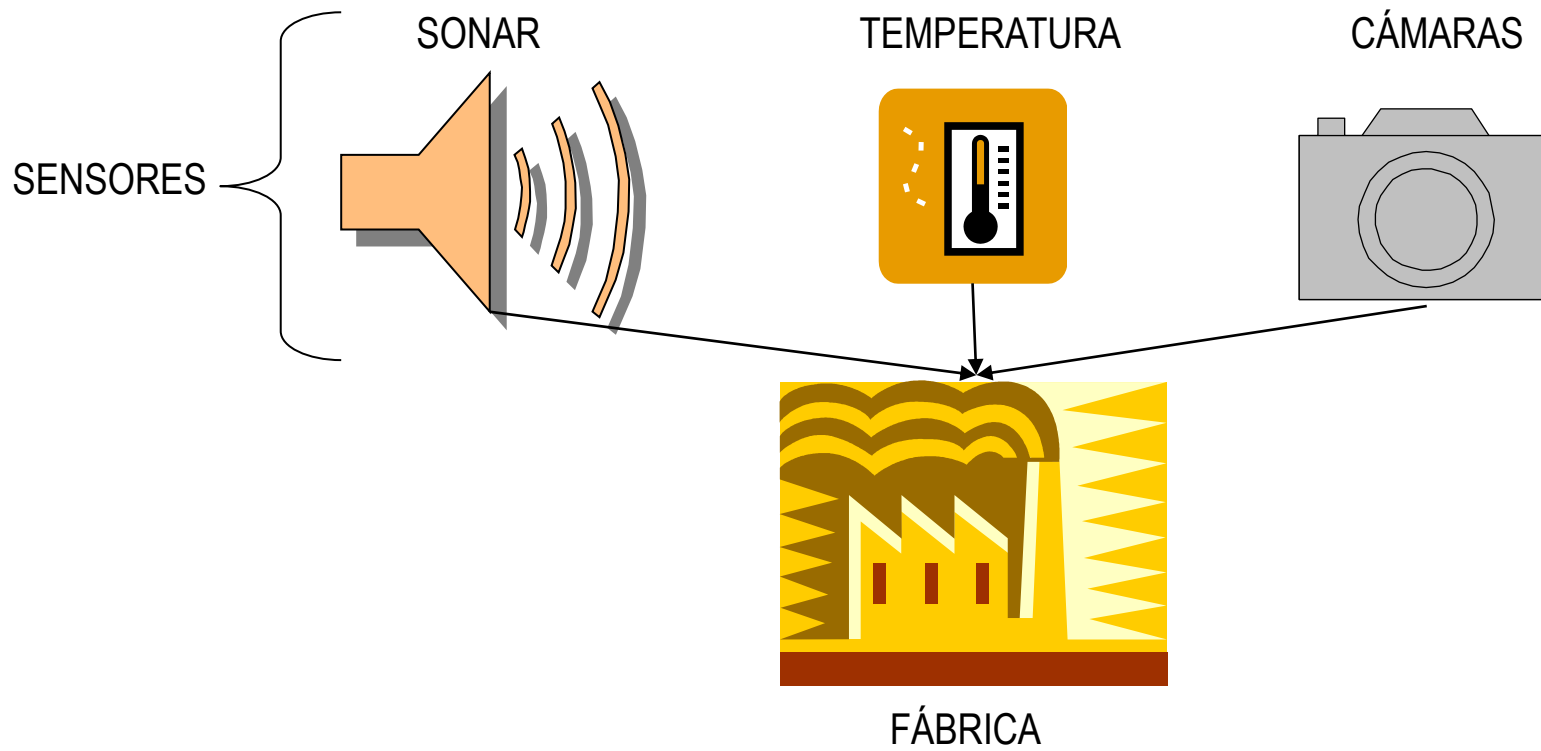
La tarea de los sensores es distinguir entre operarios humanos y robots

Con objeto de simplificar el problema suponemos que cada sensor decide la identidad del objeto de forma independiente

CASO 1: SISTEMA DE VIGILANCIA CON SENSORES HETEROGÉNEOS

EJEMPLO

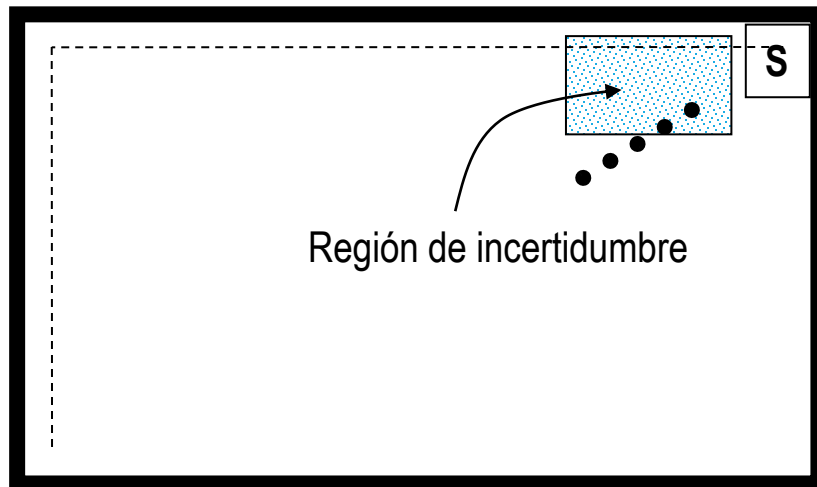
CASO 1. Sistema vigilancia (I)



OBJETIVO: Determinar la identidad de los objetos que aparecen en la fábrica: Robots / Humanos

EJEMPLO

CASO 1. Sistema vigilancia (II)

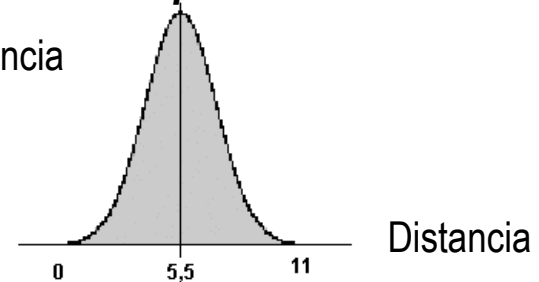


----- Movimientos de los Robots $[0, \sqrt{200}]$

• • • • • Movimientos de los humanos $[10, 14.14]$

Incertidumbre definida por los sensores:

Sonar: Distancia



Cámara: Comparación de firmas

$$r = \frac{\mu_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

$$\mu_{xy} = \frac{\sum_i (x_i - m_x)(y_i - m_y)}{N}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - m_x)^2}{N}}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_i (y_i - m_y)^2}{N}}$$

Temperatura:

Robots. Temperatura máxima $35^\circ \text{C} \pm 1$

Humanos. Cerca de 36.5°C

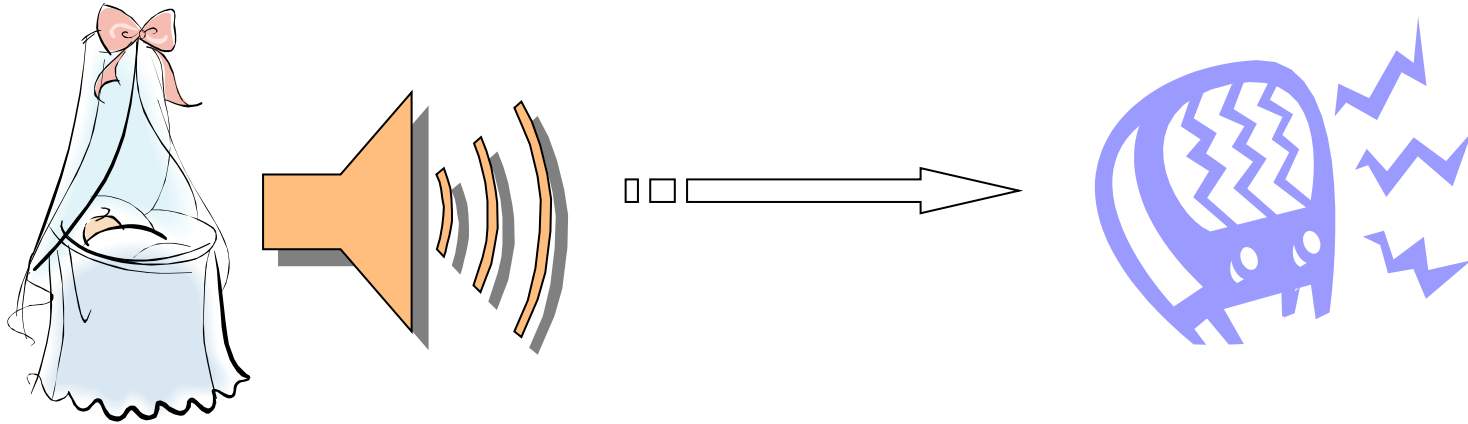
CASO 2: SISTEMA DE SUPERVISIÓN DE BEBÉS

Sistemas de transmisión de sonido. Es conveniente un modo de espera que reduce el consumo, y además evita darle a los padres información poco relevante. El aparato de recepción esté en modo de espera (consumo mínimo) hasta que el sistema considera que sucede algo digno de atención y avisa a los padres.

Capacidad de decisión en función de características del sonido como tono, intensidad y duración

EJEMPLO

CASO 2. Estado de bebé (I)



OBJETIVO: Discriminar del sonido ambiente un llanto o balbuceo de un bebé, así como un sonido que pudiera significar que el bebé se ha movido y necesita asistencia.

ENTRADA

- Tipo de sonido (frecuencia)
- Intensidad de sonido (dB)
- Duración del sonido

SALIDA

1. Sistema en reposo
2. Emitir

EJEMPLO

CASO 2. Estado de bebé (II)

- *Tipo de sonido (frecuencia)*

Voz	Rango de Frecuencias (Hz)
Soprano	247-1056
Mezzosoprano	220-900
Contralto	176-840
Tenor	132-528
Barítono	110-448
Bajo	82-396

Normal niño

Golpes, movimientos

Fuentes de incertidumbre:

- Existencia de sonido ambiental.
- Errores de medición del micrófono incorporado (distorsión de audio).

EJEMPLO

CASO 2. Estado de bebé (III)

■ *Intensidad (dB)*

Emisión	Intensidad (w/m^2)	Nivel sonoro (dB)
Nivel mínimo de la voz humana	10^{-10}	20
Mujer conversando en voz baja	3.16×10^{-10}	25
Hombre conversando en voz baja	10^{-9}	30
Hujer conversando en voz normal	10^{-7}	50
Hombre conversando en voz normal	3.16×10^{-7}	55
Mujer hablando en público	10^{-6}	60
Hombre hablando en público	3.16×10^{-6}	65
Mujer hablando esforzándose	10^{-5}	70
Hombre hablando esforzándose	3.16×10^{-6}	75
Mujer cantando	10^{-4}	80
Hombre cantando	3.16×10^{-4}	85
Nivel máximo de la voz humana	10^{-3}	90

- Balbuceo (20-30 dB)
- Llanto (40-50 dB)
- Golpe brusco (>50dB)

Fuentes de incertidumbre:

- Decidir los niveles de intensidad relevantes para cambiar el estado del sistema.
- Imprecisión debida a la distorsión de micrófono.

EJEMPLO

CASO 2. Estado de bebé (IV)

- ***Duración (segundos)***

“La duración promedio de una vocal puede estar en el rango de 0.2 – 1 segundos”

- ***Fuentes de incertidumbre:***

- Decidir los valores de la duración relevantes para cambiar el estado del sistema.