

## Aprendizaje en sistemas inteligentes

---

1. **Preliminares:** fuentes, definiciones, enfoques y métodos
2. **Algoritmos genéticos y redes neuronales**
3. **Inducción de árboles clasificadores**
4. **Inducción de reglas**
5. **Minería de datos**

Tom Mitchell: *Machine Learning*. McGraw-Hill, 1997

Ian Witten & Eibe Frank: *Data Mining*, 2nd. ed. Elsevier, 2005.  
(El libro de WEKA)

---

## Interés del aprendizaje artificial

- **Científico:**
  - para inteligencia artificial:  
«no hay inteligencia sin aprendizaje»
  - para psicología:  
teorías del aprendizaje natural
- **Tecnológico:**
  - adquisición de conocimiento para KBS
  - visión, lenguaje, ICAI...
- **Mercantil:**
  - minería de datos
  - agentes que aprenden, personalización de servicios...

## Fuentes de inspiración

---

- **Lógica:** leyes prescriptivas  
(prescriben cómo han de ser los razonamientos correctos)  
⇒ *modelos funcionales*  
(pero los razonamientos más interesantes en el aprendizaje son inductivos)
- **Psicología:** leyes descriptivas  
(describen cómo funciona la mente)  
⇒ *modelos procesales*  
(pero los modelos que proporciona son cualitativos y poco detallados)
- **Neurofisiología** ⇒ *modelos basados en la ontogénesis*
- **Biología evolutiva** ⇒ *modelos basados en la filogénesis*

---

## Deducción, inducción y abducción

---

- **Razonamientos deductivos**
  - Las premisas respaldan totalmente a la conclusión
  - Preservan la verdad
  - Conceptos de «validez» y «solidez»  
⇒ **Aprendizaje analítico**
- **Razonamientos inductivos**
  - Las premisas respaldan parcialmente a la conclusión
  - Preservan la falsedad (en caso de generalización)
  - «Validez» relativa; fuerza inductiva  
⇒ **Aprendizaje empírico y analógico**
- **Razonamientos abductivos**
  - No preservan verdad ni falsedad ⇒ **Aprendizaje bayesiano**

## Razonamientos inductivos: generalización

---

En la generalización inductiva

- Las premisas son particulares y la conclusión es general
- La falsedad de una premisa invalida la conclusión

*Ejemplo:*

El cisne 1 es blanco  
El cisne 2 es blanco  
El cisne 3 es blanco  
El cisne 4 es blanco  

---

Todos los cisnes son blancos

## Razonamientos inductivos: analogía

---

**(a)** *De lo general a lo general:*

Todos los gorriones son pájaros y hacen nidos  
Todas las gaviotas son pájaros y hacen nidos  
Todos los cuervos son pájaros  

---

Todos los cuervos hacen nidos

**(b)** *De lo particular a lo particular:*

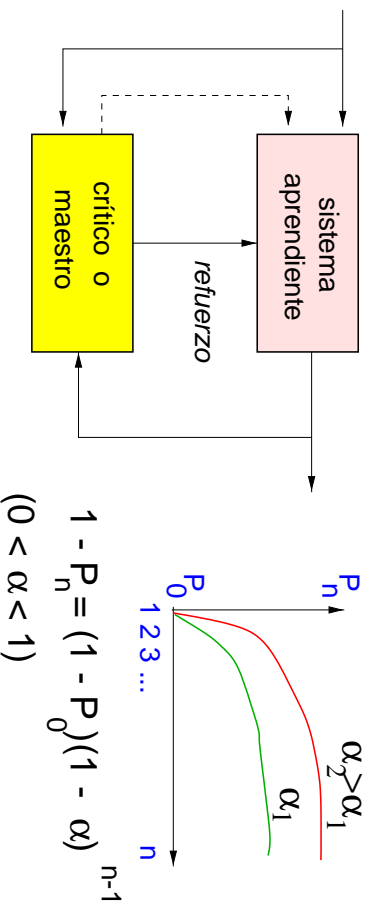
A es político y es mentiroso  
B es político y es mentiroso  
C es político  

---

C es mentiroso

## Aprendizaje en psicología conductista

- Estímulo-respuesta = «caja negra»  
= modelos de entrada-salida
- Ejemplo: probabilidad de éxito a medida que aumenta el número de experimentos:

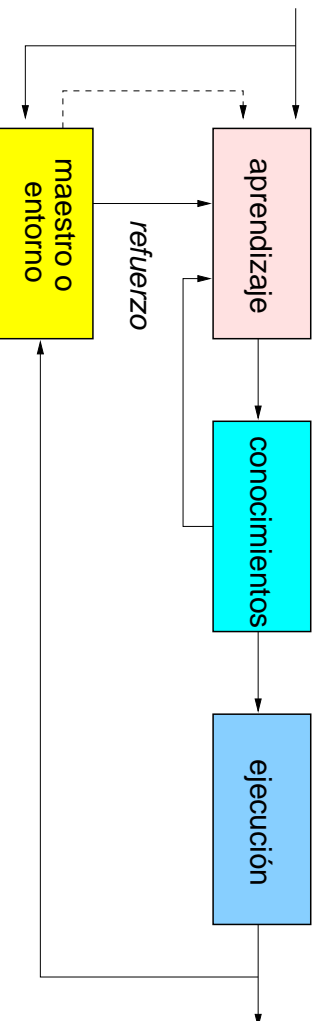


### Énfasis en medida de la eficiencia

~> Inducción de conocimiento tácito

## Aprendizaje en psicología cognitiva

- Modelos de espacio de estados:  
procesador cognitivo, redes semánticas, marcos...



### Énfasis en representación del conocimiento

~> Inducción de conocimiento explícito

## Definiciones de aprendizaje: conductistas

---

- «...[El aprendizaje] implica cambios adaptativos en el sistema para que realice la misma tarea (u otra de la misma clase) con mayor eficacia a la siguiente ocasión» (Simon, 1983)
- «Decimos que un programa aprende de la experiencia E con respecto a una clase de tareas T y medida de rendimiento P si su rendimiento sobre tareas de T, medido por P, mejora con la experiencia E» (Mitchell, 1997)

## Definiciones de aprendizaje: cognitivas

---

- «...[Aprender es] construir o modificar representaciones de aquello [estímulos o procesos cognitivos] con lo que se experimenta» (Michalski, 1983)
- «**Aprender.** (Del lat. *aprehendĕre*; de *ad*, a, y *prehendĕre*, percibir.) tr. Adquirir el conocimiento de alguna cosa por medio del estudio o de la experiencia» (D.R.A.E.)
- «**Learn.** tr. Gain knowledge of or skill in by study, experience, or being taught» (The Concise Oxford)

## Métodos subsimbólicos y simbólicos

---

- Enfoques conductistas
  - ⇒ métodos subsimbólicos (lenguaje opaco):  
redes neuronales,  
métodos bayesianos,  
algoritmos genéticos de Holland,  
...
- Enfoques cognitivos
  - ⇒ métodos simbólicos (lenguaje inteligible):  
inducción de árboles,  
adquisición de conceptos,  
descubrimiento,  
...

---

## Tipos de aprendizaje

---

- Deductivo o analítico (p. ej. EBL)
- Analógico (p. ej. CBR)
- Generalización inductiva:
  - por refuerzo
  - **supervisado**, p. ej., clasificación, regresión
    - ↪ «*adquisición de concepto*»
  - **no supervisado**, p. ej., agrupamiento (*clustering*)
    - ↪ «*formación de concepto*»

## Aprendizaje inductivo por generalización

---

*Entrada:* Un conjunto, o sucesión, de **ejemplos**

*Salida:* Una **descripción de concepto**, que cubre (satisface) a todos (o a la mayoría de) los ejemplos presentados y a otros no vistos

Dos tipos de algoritmos:

- *incrementales:* si se presenta un nuevo ejemplo se refina el concepto
- *de un paso:* si se añade un ejemplo hay que volver a ejecutar el algoritmo sobre todo el conjunto

---

### El concepto de «concepto»

---

*Concepto estricto:*

- «Concepto»  $\equiv$  clase de equivalencia de objetos o entidades (ejemplares)
- Todos los ejemplares son igualmente representativos
- Descripciones precisas y excluyentes

*Concepto laxo:*

- «Concepto»  $\equiv$  clase de equivalencia borrosa
- Ejemplares prototípicos, grados de pertenencia
- Clasificación con incertidumbre

*Descripción de concepto*  $\approx$  *Función de clasificación*

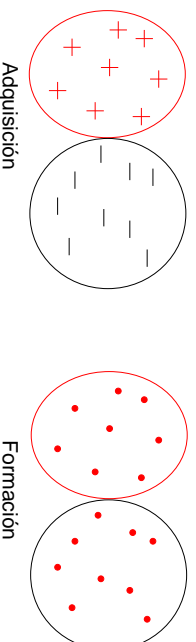
---

## Adquisición y formación de conceptos

---

**Adquisición:** inducción del concepto (o de los conceptos) a partir de ejemplares clasificados (aprendizaje supervisado) o de situaciones y realimentación (aprendizaje por refuerzo).

**Formación:** inducción del concepto a partir de ejemplares (aprendizaje no supervisado, agrupamiento)



En ambos casos la metodología generalmente separa los ejemplares disponibles en un **conjunto de entrenamiento** y un **conjunto de prueba**

---

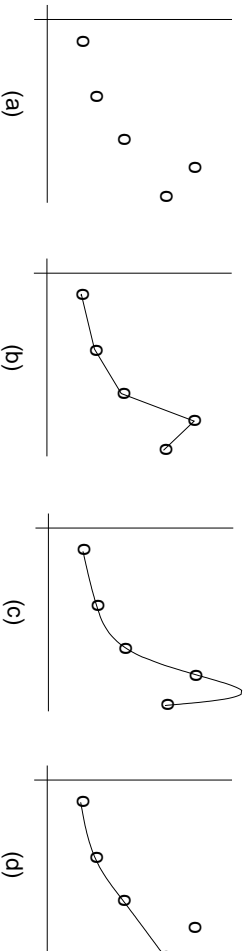
## Generación de hipótesis

- **En aprendizaje supervisado (adquisición de conceptos):**
  - a partir de *ejemplos clasificados*:  $\{\langle \vec{x}_e, f(\vec{x}_e) \rangle\}$
  - elaborar una **hipótesis**,  $h(\vec{x})$ , que aproxime  $f(\vec{x})$  (los conceptos)
- **En aprendizaje no supervisado (formación de conceptos):**
  - a partir de *ejemplos*:  $\{\langle \vec{x}_e \rangle\}$
  - elaborar una **hipótesis**,  $h(\vec{x})$ , que generalice casos observados («inventar» los conceptos)
  - « $\vec{x}_e$ »: vector de valores de atributos (numéricos, nominales...)
  - « $f(\vec{x}_e)$ »: concepto al que pertenece el ejemplo

Normalmente hay **hipótesis alternativas**

---

## Quando hay varias (o muchas) hipótesis...



Necesidad de un **criterio de preferencia (bias)**

Criterio general: **Navaja de Occam (Occam)**

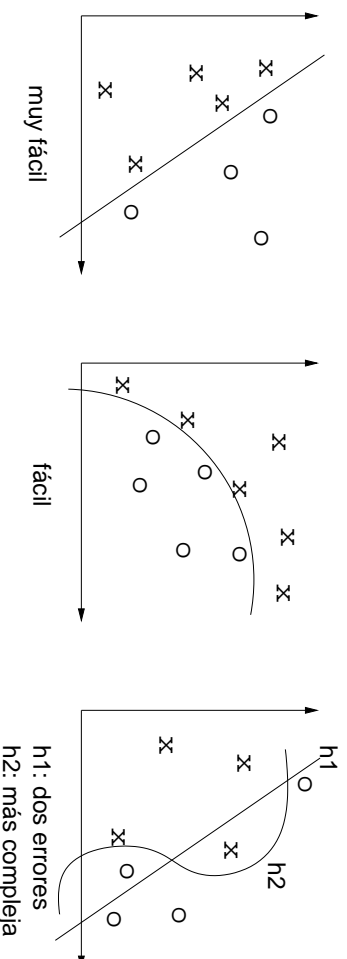
«*Pluralitas non est ponenda sine necessitate*»

⇒ La hipótesis preferible de entre todas las consistentes con las observaciones es **la más sencilla**



## Elección de hipótesis: ejemplo

Clasificación de ejemplos con dos atributos con valores reales:



$h(\vec{x}) \approx f(\vec{x})$  que minimice  $E(h, f(\vec{x})) + \alpha \cdot C(h)$ ,  
con  $E(h, f(\vec{x}))$ : % errores en datos,  $C(h)$ : complejidad de  $h$

- No hay regla general
- Normalmente limitado por el algoritmo