
Sistemas inteligentes, o «inteligencia artificial»

<https://moodle.lab.dit.upm.es/moodle/>

¿Inteligencia artificial?

Entrevista a Claude Shannon:

- Could machines «think»?
- You bet. I'm a machine and you're a machine, and we both think, don't we?

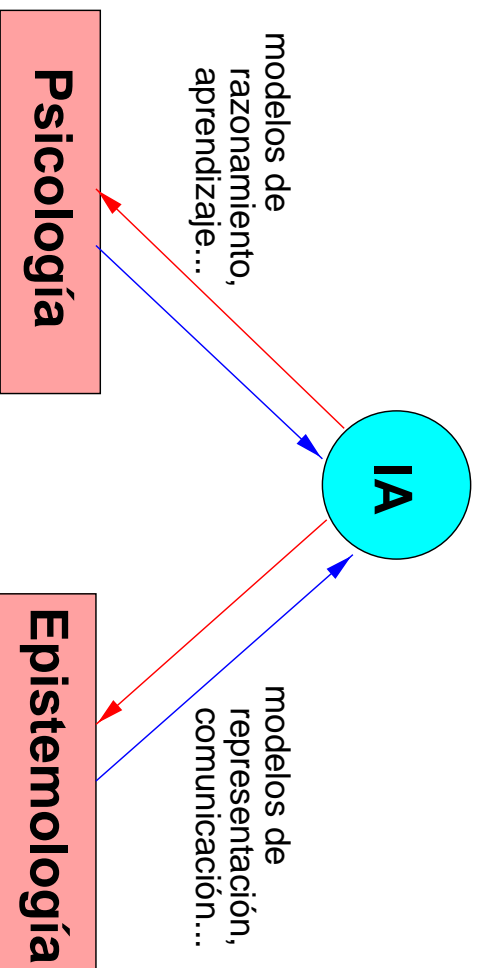
(J. Horgan: «Claude E. Shannon», IEEE Spectrum, 29, 4, Apr.1992, pp.72-75)



Claude Shannon
(1916-2001)

Depende de lo que entendamos por «pensar», «inteligencia»...

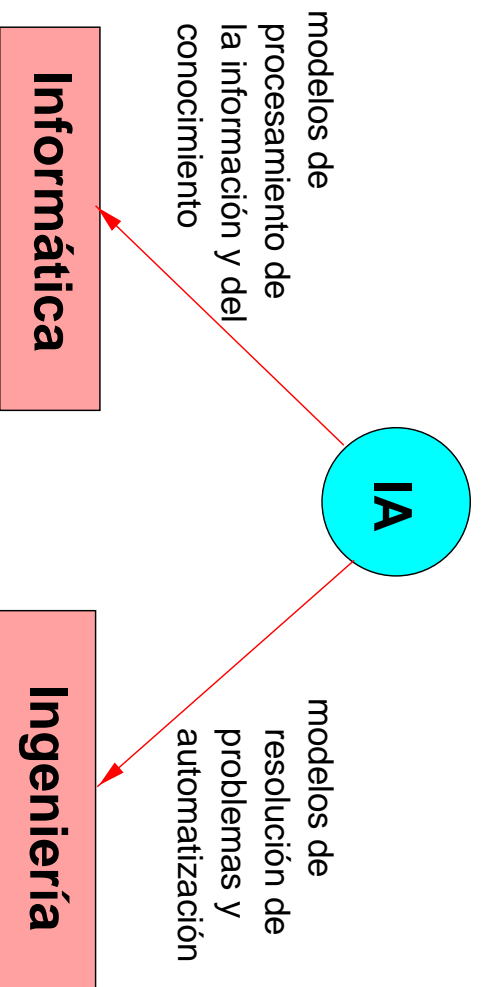
IA/Ciencia



« *Estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computacionales* »

(Charniak y McDermott, 1985)

IA/Ingeniería



« *Cómo hacer que los ordenadores ejecuten tareas cognoscitivas que, por ahora, las personas realizan mejor* » (Rich y Knight, 1991)

Inteligencia artificial: « *La atribuida a las máquinas capaces de hacer operaciones propias de los seres inteligentes* » (R.A.E).

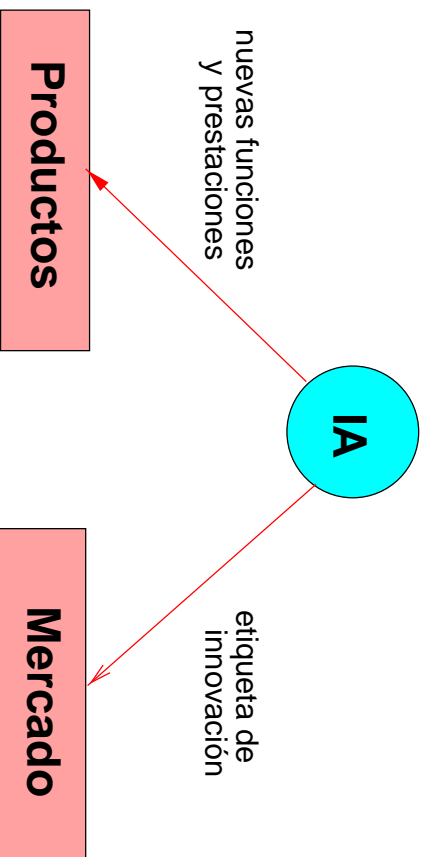
Clasificación de definiciones según AIMA

- Charniak y McDermot: énfasis en *pensamiento*; criterio: *inteligencia ideal, o racionalidad*
- Rich y Knight y R.A.E.: énfasis en *comportamiento*; criterio: *inteligencia humana*

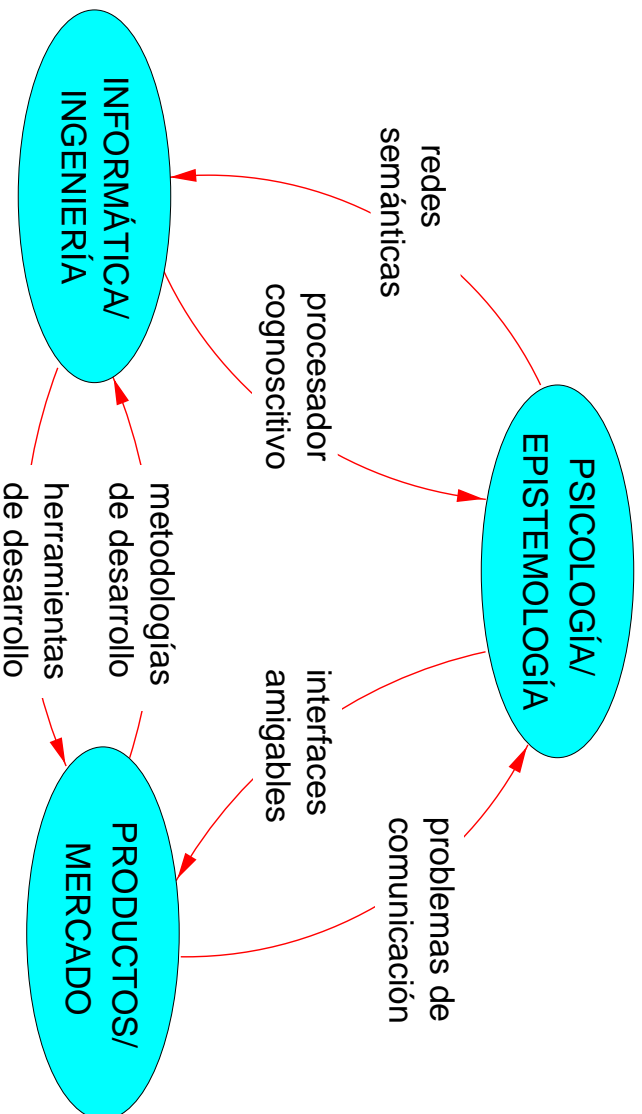
	inteligencia humana	racionalidad
pensamiento	Sistemas que piensan como humanos: <i>Enfoque cognoscitivo</i>	Sistemas que piensan racionalmente: <i>Enfoque lógico</i>
comportamiento	Sistemas que actúan como humanos: <i>Enfoque «prueba de Turing»</i>	Sistemas que actúan racionalmente: <i>Enfoque de agentes racionales</i>

Russell, S. y Norvig, P.: *Artificial Intelligence: A Modern Approach, 3rd. ed.* («AIMA»). Prentice Hall, 2010
Traducido en Pearson Educación

IA/Negocio



Evolución de las «etiquetas»: sistemas expertos, ingeniería del conocimiento, agentes inteligentes, gestión del conocimiento, inteligencia de negocio...



Paradigmas de la IA

- **Procesamiento simbólico:** problemas de naturaleza no numérica (lógica)
- **Búsqueda heurística:** hacer tratable la complejidad del proceso
- **Sistemas expertos:** visión conductista, funcional
- **Sistemas basados en conocimiento:** visión cognoscitiva, estructural
- **Aprendizaje automático:** sistemas con autonomía, inducción de conocimiento
- **Agentes inteligentes:** «sociedades» de componentes con «personalidad»

Procesamiento simbólico

Asimilado en la informática desde los años 50.

Relación con la terminología:

- «computador/a»: orígenes, procesamiento numérico
- «ordenador»: Francia, finales 50

Hipótesis del sistema de símbolos físicos (Newell y Simon, 1976):

Un sistema de símbolos físicos tiene los medios necesarios y suficientes para una acción inteligente general. Es decir:

- Todo sistema que muestre comportamiento inteligente es un sistema de símbolos físicos (incluidos los seres humanos).
- Un sistema de símbolos físicos suficientemente bien organizado puede mostrar la misma inteligencia que puede observarse en el comportamiento humano.

Paradigmas de la IA

- **Procesamiento simbólico:** problemas de naturaleza no numérica (lógica)
- **Búsqueda heurística:** hacer tratable la complejidad del proceso
- **Sistemas expertos:** visión conductista, funcional
- **Sistemas basados en conocimiento:** visión cognoscitiva, estructural
- **Aprendizaje automático:** sistemas con autonomía, inducción de conocimiento
- **Agentes inteligentes:** «sociedades» de componentes con «personalidad»

Formulación del problema de resolver problemas

Idea básica: Espacio de búsqueda \equiv espacio de estados
(años 50: influencia de la teoría de autómatas)

$$\langle Q, R, C \rangle$$

Q: Estructura de datos que describe al estado

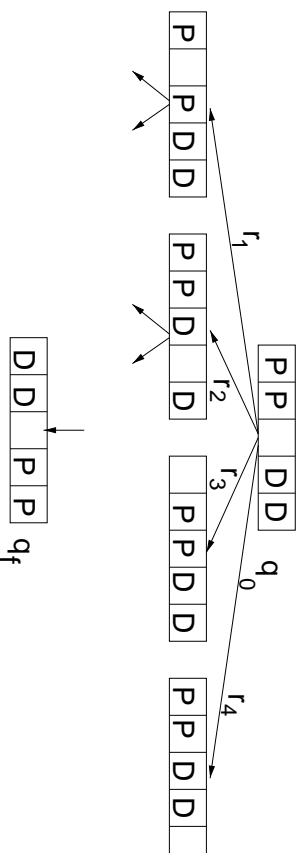
R: Reglas u operaciones que describen las transiciones en el espacio de estados

$$R \times Q \rightarrow Q$$

C: Estrategia de control

Resolución: Búsqueda de una secuencia r_1, r_2, \dots, r_n que conduzca de q_0 a q_f

Ejemplo de búsqueda: «pesetas y duros»

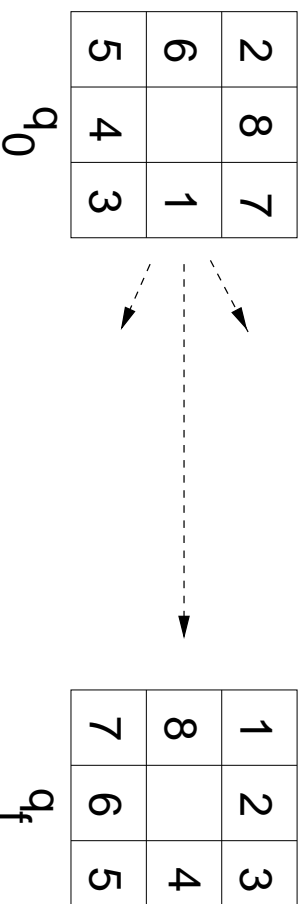


Estado: lista con dos «P», dos «D» y un « »

Reglas: r_1 : desplazar P a hueco a la derecha
 r_2 : desplazar D a hueco a la izquierda
 r_3 : saltar P a la derecha
 r_4 : saltar D a la izquierda

card(Q) = 27 \rightsquigarrow algoritmo de búsqueda exhaustiva

Ejemplo de búsqueda: «puzzle $k^n - 1$ »



Estado: matriz

Reglas: $r_1 = \uparrow$, $r_2 = \downarrow$, $r_3 = \rightarrow$, $r_4 = \leftarrow$

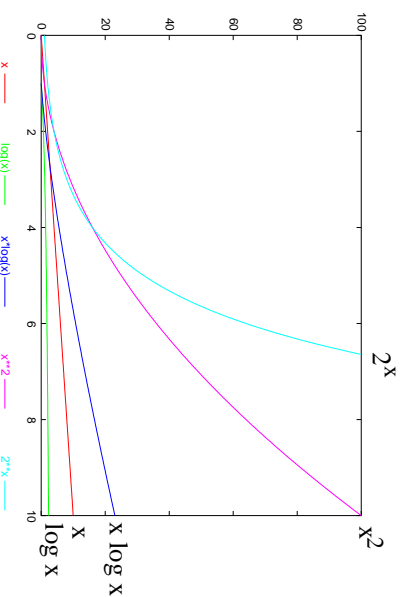
$\text{card}(Q) = 9! = 362.880$

\rightsquigarrow búsqueda exhaustiva aún posible, pero
para «puzzle 15», $\text{card}(Q) = 16! \approx 2 \times 10^{13} \dots$

Complejidad algorítmica: Notación O

Complejidad temporal y espacial: crecimiento *asintótico*

- $k + \log(x) + x + x^2 + \dots + x^n = O(x^n)$ (polinómico)
- $O(x^n) + \dots + m^x = O(m^x)$ (exponencial)



Heurísticos

- R.A.E.: «heurística» = «arte de inventar»
- En I.A.:
 - Como *adjetivo*, para distinguir de «algorítmico» \approx «seguro»
 - Como *sustantivo*, truco o regla empírica que ayuda a encontrar la solución de un problema (pero que no garantiza que se encuentre)

Búsqueda heurística

En el desarrollo del árbol de búsqueda no fijarse en todos los estados posibles («nodos»), sólo en los más «prometedores»

Algoritmo A*: en cada nodo se *estima* la distancia, o coste, del camino que pasando por ese nodo lleva desde el estado inicial al final (la solución).

Función de evaluación: $f(n) = g(n) + h(n)$

$g(n)$: coste de n_0 a n (conocido)

$h(n)$: estimación del coste de n a n_f

(menor que el coste real, para que el algoritmo encuentre solución óptima, si la encuentra)

De los sucesores de cada nodo se elije el de menor $f(n)$

Ejemplos de heurísticos para el 8-puzzle

- $h_1(n)$: Número de piezas mal colocadas
- $h_2(n)$: Suma de «distancias Manhattan»

5	4	
6	1	8
7	3	2

Estado n

1	2	3
8		4
7	6	5

Estado final

$$h_1(n) = 7$$

$$h_2(n) = 2 + 3 + 3 + 2 + 4 + 2 + 0 + 2 = 18$$

Paradigmas de la IA

- Procesamiento simbólico: problemas de naturaleza no numérica (lógica)
- Búsqueda heurística: hacer tratable la complejidad del proceso
- **Sistemas expertos:** visión conductista, funcional
- **Sistemas basados en conocimiento:** visión cognoscitiva, estructural
- Aprendizaje automático: sistemas con autonomía, inducción de conocimiento
- Agentes inteligentes: «sociedades» de componentes con «personalidad»

Sistema experto

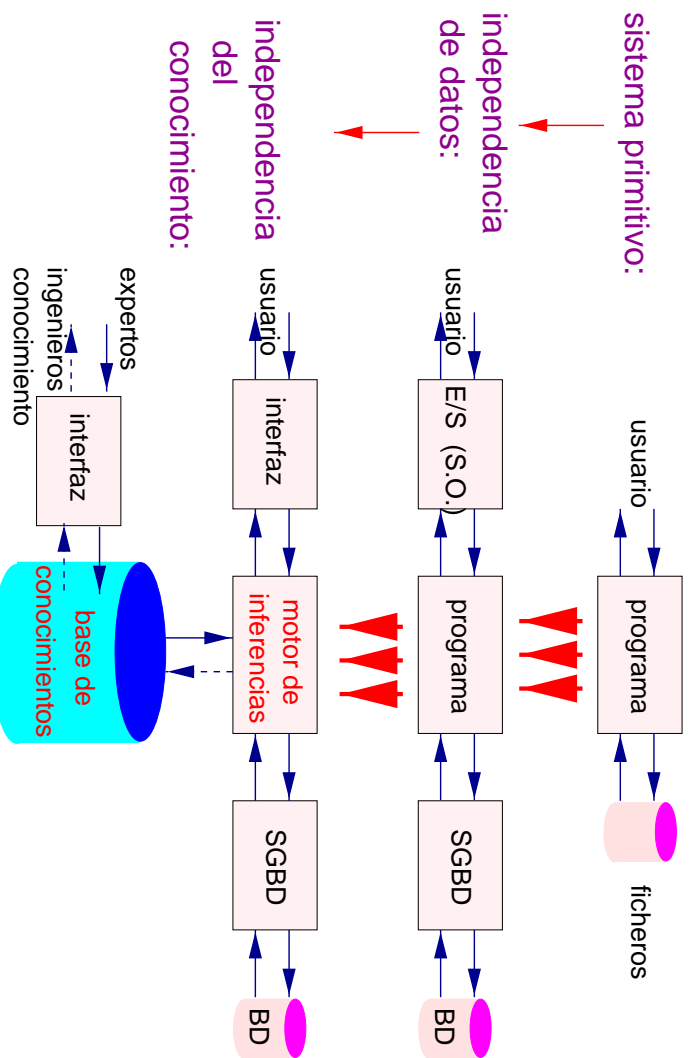
British Computer Society, 1983:

«Incorporación en un ordenador [..] de la pericia de un experto de modo que el sistema pueda dar *consejos inteligentes* o tomar *decisiones inteligentes* y *justificar* su razonamiento»

Aplicable el «test de Turing».

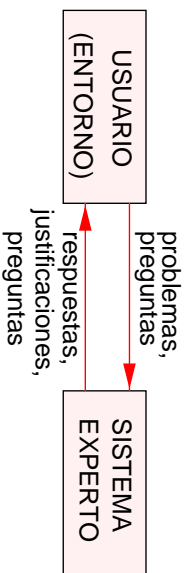
Sistema basado en conocimiento (SBC, o KBS)

Evolución de modelos estructurales de sistemas software:

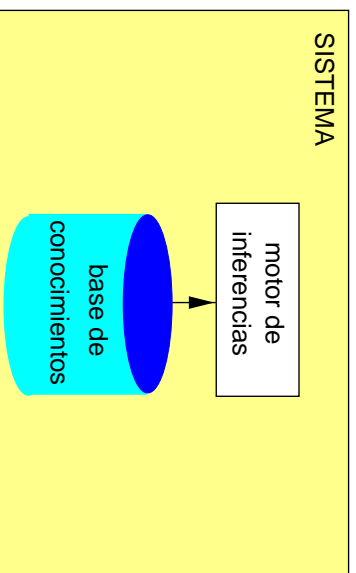


SS.EE. vs. SS.BB.C.

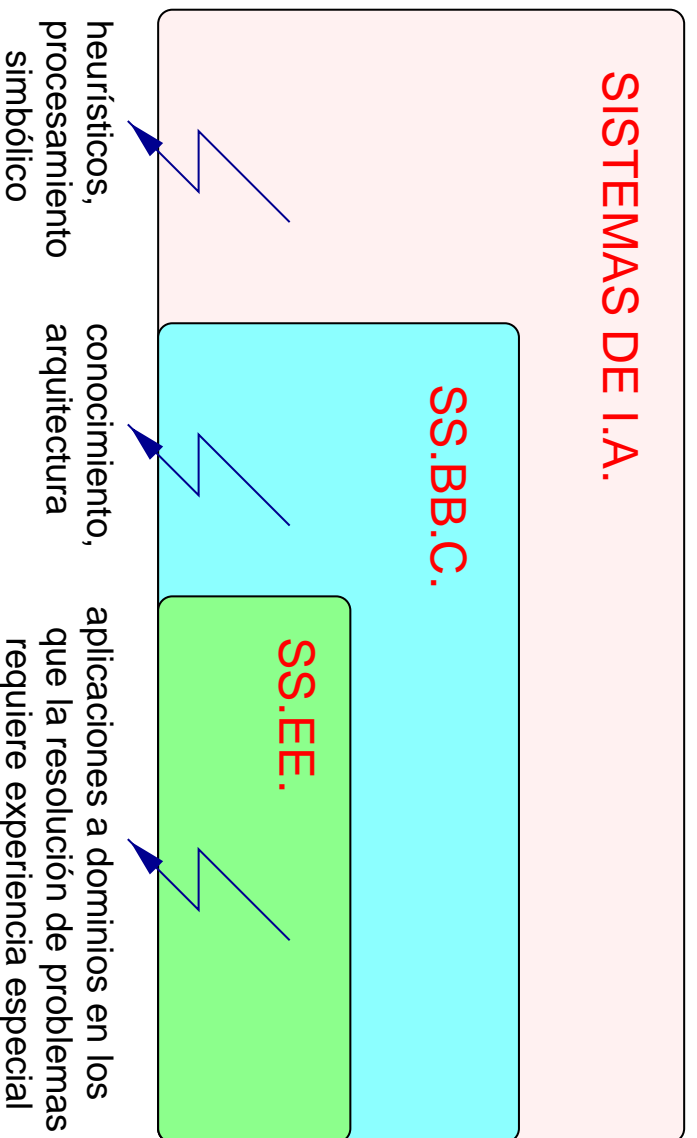
SE: punto de vista funcional (conductorista)



SBC: punto de vista estructural (cognoscitivo)



I.A., SS.BB.C. y SS.EE.



Ingeniería del conocimiento

Heterodoxia

(con respecto a la ingeniería del software):

- Conocimiento humano incompleto, inconsistente, impreciso, incierto, tolerante...
- Razonamiento y respuestas del sistema inseguros
- Conocimiento evolutivo, posibilidad de aprendizaje
- Responsabilidad del diseño, desarrollo y mantenimiento: ingenieros, expertos y usuarios finales
- No aplicable el ciclo de vida en cascada

Representación del conocimiento

Modelos y lenguajes basados en la psicología

- Sistemas de reglas de producción:
Si <antecedente>entonces <consecuentes> (implicación)
Si <condiciones>entonces <acción> (activación)
- Redes semánticas y marcos, basados en teorías de la formación de conceptos en la mente humana

Formalización en lenguajes lógicos

- Lógicas de base: proposiciones, predicados ~↔ Prolog
- Lógicas de descripciones ~↔ web semántica
- Lógicas modales ~↔ creencias, deseos, intenciones...
- Lógica borrosa

Paradigmas de la IA

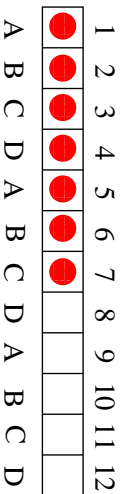
- Procesamiento simbólico: problemas de naturaleza no numérica (lógica)
- Búsqueda heurística: hacer tratable la complejidad del proceso
- Sistemas expertos: visión conductista, funcional
- Sistemas basados en conocimiento: visión cognoscitiva, estructural
- **Aprendizaje automático:** sistemas con autonomía, inducción de conocimiento
- Agentes inteligentes: «sociedades» de componentes con «personalidad»

¿Puede aprender una máquina?

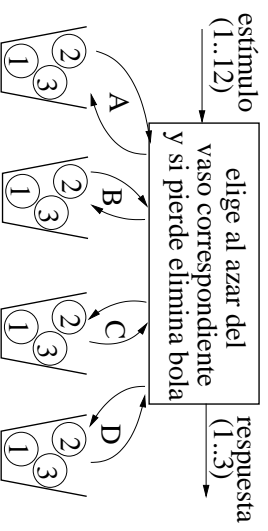
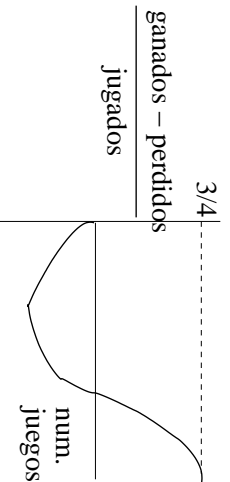
Depende (recordar a Shannon)

Si «aprender» = «mejorar con la experiencia» ...

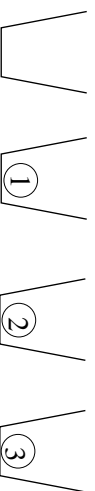
Juego «el que se queda con la última pierde»:



Curva de aprendizaje:
(empezando la máquina)



"Conocimiento" final:



"Ha aprendido" la estrategia...

Evolución Ingeniería del Conocimiento/Aprendizaje

Ingeniería del conocimiento

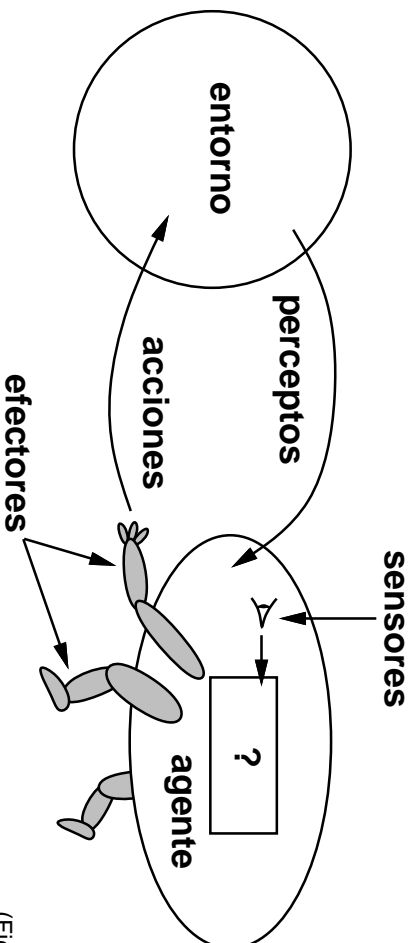
Aprendizaje

- 1950: prueba de Turing
- 1955: Logic Theorist
- 60's: GPS, búsqueda... («tesis»)
⇒ reconocimiento de formas
- ...
- 1971: MYCIN («antitesis»)
- 1979: XCON
- 1981: conferencia Tokyo
- Herramientas, comercialización ss. ee...
(«síntesis»)
- 1992: conferencia Tokyo
- 90's: asimilación («fagocitosis»)
- 1956: homeostato de Ashby
- 1957: programas de Samuel
- 1958: Perceptron ...
⇒ sistemas adaptativos
- ...
- 80's: redes neuronales
- ...
- 90's: aplicaciones: minería de datos
- ...
- 00's: asimilación (p.ej., filtros spam)

Paradigmas de la IA

- Procesamiento simbólico:
problemas de naturaleza no numérica (lógica)
- Búsqueda heurística:
hacer tratable la complejidad del proceso
- Sistemas expertos:
visión conductista, funcional
- Sistemas basados en conocimiento:
visión cognoscitiva, estructural
- Aprendizaje automático:
sistemas con autonomía, inducción de conocimiento
- **Agentes inteligentes:**
«sociedades» de componentes con «personalidad»

Paradigma de la «agencia»



(Figura de AIMA)

Agente: Sistema que actúa (eventualmente, por encargo) para producir ciertos efectos en su entorno

Agencia: Cualidades (funcionales, estructurales y/o procesales) propias de los agentes
(en inglés: *agency*, o *agenthood*)

Agentes software

- El «entorno» puede ser accesible mediante sensores y efectores, pero más frecuentemente está formado por *otros agentes y/o personas* (que también se consideran «agentes») accesibles localmente (en la misma máquina en la que se ejecuta el agente) o (más interesante) remotamente.
- “?” es un sistema basado en conocimiento.
- Los «perceptos» y las «acciones» son actos de comunicación expresados en un lenguaje.
- Agente y entorno deben compartir el lenguaje y una «*visión del mundo*», u «*ontología*»:
vocabulario y significado de los términos.

SINT vs. MIT-6.034

«6.034 Artificial Intelligence» (M.I.T.)

T. Lozano–Pérez y L. Kaelbling

<http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-034-artificial-intelligence-spring-2005/>

Tema	horas	Tema	horas
Búsqueda	—	Search	6
Representación del conocimiento	8	Knowledge Representation and Inference	15
Aprendizaje	10	Machine Learning	15
Agentes	18	—	—
Herramientas y aplicaciones	18	—	—

Sistemas Inteligentes: Temas

Tema/horas	Profesor
Representación/8	gfer@dit.upm.es
Aprendizaje/10	gfer@dit.upm.es
Agentes/18	isoto@dit.upm.es
Herramientas y aplicaciones/18	mga@dit.upm.es

gfer: Gregorio Fernández

isoto: Ignacio Soto

mga: Mercedes Garijo