



# Introducción a la Inteligencia Artificial

Luis Alonso Romero  
Catedrático de Ciencia de la Computación e  
Inteligencia Artificial  
Universidad de Salamanca  
lalonso@usal.es



## Objetivos

- ⌘ Intentar delimitar el concepto de "Inteligencia Artificial"
- ⌘ Hacer una breve reseña histórica
- ⌘ Describir los problemas computacionales que plantea
- ⌘ Panorámica de los logros y los fracasos.
- ⌘ Breve introducción a la "Computación blanda" (*soft*) :
  - ☒ Las redes neuronales artificiales.
  - ☒ La Lógica Borrosa
  - ☒ Los Algoritmos Genéticos.
- ⌘ Algunas notas biográficas.



## Algunas citas previas

- ⌘ El termino “inteligencia” comprende varios aspectos:
  - ☒ Adquisición, representación y almacenamiento del conocimiento.
  - ☒ Generación y aprendizaje del comportamiento.
  - ☒ Desarrollo y uso de las motivaciones, emociones y prioridades
  - ☒ Transformación de las señales sensoriales en símbolos.
  - ☒ Manipulación de símbolos para
    - ☒ Efectuar deducciones, razonar sobre el pasado y planear el futuro.
  - ☒ Producción de los fenómenos de ilusión, creencias, esperanzas, temores, sueños, cariño, amor, ...
- ⌘ La comprensión de estas funciones a nivel fundamental sería un logro científico comparable a la física nuclear, la relatividad o la genética molecular. (James Albus, 1995, Nasa)
- ⌘ Inteligencia: capacidad de un sujeto para dirigir su comportamiento usando la información captada, aprendida, elaborada y producida por él mismo. (J.A. Marina, La Inteligencia Fracasada, 2004).



## Más citas

- ⌘ Penrose (“La mente del emperador”, 1989):
  - ☒ A la mayoría de las personas les gusta tener y usar máquinas que les permiten hacer tareas de forma más fácil o más rápida: hacer agujeros en la pared, desplazarse por una carretera, etc.
  - ☒ También les gusta usar máquinas que les permiten hacer cosas que, de otra forma, no podrían hacer: volar.
  - ☒ Sin embargo, la idea de una máquina que pueda “pensar” por nosotros es un salto demasiado grande, que suscita un montón de cuestiones de tipo ético y filosófico.
- ⌘ La Inteligencia Artificial tiene como objetivo el llegar a construir esas “máquinas”, y mejorar el conocimiento de la inteligencia.
- ⌘ Esas máquinas deberían ser capaces de imitar, o superar, las capacidades mentales de los humanos: razonamiento, comprensión, imaginación, reconocimiento, creatividad, emociones, ...



## I.A : definiciones



⌘ Se suelen usar dos características para definir la I.A:



	Humanos	Racionales
Cognitivo	... lograr que las computadoras "piensen", "máquinas con mente"... (Haugeland 85)	El estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computacionales (Charniak, McDermot 85)
Conductista	...cómo lograr que las computadoras realicen tareas que, por el momento, los humanos hace mejor (Rich, Knight 91)	La parte de la ciencia de la computación que se ocupa de la automatización de la conducta inteligente (Luger, Stubblefield 93)



## Escuelas en I.A.



⌘ A lo largo de la historia se han adoptado los cuatro enfoques mencionados, con ciertas rivalidades entre los diferentes grupos implicados.

- ✓ Así, existe la escuela **cognitiva** cuyo interés radica en descubrir los procesos del razonamiento para intentar reproducirlos en la máquina.
- ✓ La escuela **logicista** tiene su principal objetivo en el desarrollo de la lógica formal y los correspondientes mecanismos de inferencia.
- ✓ La escuela **pragmática** intenta desarrollar sistemas informáticos que se comporten de forma "inteligente" sin intentar emular los procesos de razonamiento humano.
- ✓ En la práctica, todos los enfoques son válidos y su utilidad dependerá del objetivo del estudio: desarrollar un sistema informático que se comporte "inteligentemente" (sistema experto, por ejemplo) , implicará seguramente la necesidad de profundizar en los mecanismos del razonamiento.



## Fundamentos de la I.A.



- ⌘ Filosofía
- ⌘ Matemáticas , especialmente:
  - ☒ la lógica matemática (Frege, Russell, Zadeh),
  - ☒ la teoría de la computabilidad y complejidad (Godel, Church, Turing, etc),
  - ☒ la teoría de la decisión (Von Neumann), etc
- ⌘ Psicología
- ⌘ Ingeniería informática
- ⌘ Lingüística computacional (Skinner, Chomsky)



## Algunos objetivos de la I.A.



- ⌘ Razonamiento:
  - ❖ Dados {conocimiento, hechos}, deducir consecuencias. Por ejemplo, dado un cierto conocimiento sobre enfermedades, y una relación de síntomas (hechos) efectuar un diagnóstico.
- ⌘ Planificación:
  - ❖ Dados {conocimiento, situación actual, objetivo deseado}, deducir la secuencia de acciones para alcanzar el objetivo. (*razonamiento dirigido por objetivos*).
- ⌘ Aprendizaje:
  - ❖ Dados {conocimiento, hechos}, deducir de nuevos hechos posibles modificaciones sobre el conocimiento.
- ⌘ En aplicaciones concretas (reconocimiento de habla, visión artificial, robótica) pueden coexistir varios de los objetivos anteriores.



# Historia de la I.A (1)



## ⌘ Génesis de la Inteligencia Artificial (1943-52)

- ☒ Se considera que el primer trabajo de I.A. se debe a McCulloch y Pitts (1943) sobre un modelo de red neuronal artificial.
- ☒ El primer hito importante fue el taller de I.A. organizado en Darmouth en el verano de 1956, con la asistencia de McCarthy, Minsky, Shannon, Rochester, Newell, Simon entre otros. Allí se sentaron las bases de la nueva disciplina y se desarrolló un programa de razonamiento (Logic Theorist, de Newell y Simon) que era capaz de demostrar gran parte de los teoremas de lógica matemática.
- ☒ Durante los siguientes 20 años, el campo de la I.A. estuvo dominado por los asistentes al taller de Darmouth
- ☒ Turing (1950) estableció el primer test para decidir si una máquina es inteligente
  - ☒ <http://www.abelard.org/turpap/turpap.htm>



# Historia de la I.A (2)



## ⌘ Periodo "clásico" : (1952-69)

- ☒ En esta primera etapa hubo algunos avances espectaculares:
  - ☒ El Generalized Problem Solver (Newell, Simon)
  - ☒ Geometry Theorem Demonstrator (Gelertner 59)
  - ☒ Juego de Damas (Samuel 56) que aprendía a jugar
  - ☒ LISP (McCarthy, 58)
  - ☒ En el MIT (Minsky) y en Stanford (McCarthy) se desarrollaron una serie de programas de razonamiento, robótica, etc
  - ☒ Se desarrollaron algunos prototipos de redes neuronales artificiales: el adaline (Widrow-Hoff, 62) y el perceptrón (Rosenblatt 62), que resolvían problemas sencillos de reconocimiento de patrones.
  - ☒ Aparecen los primeros trabajos sobre Lógica Borrosa (Zadeh 65)



# Búsqueda en espacio de estados



⌘ Gran parte de los problemas del periodo clásico (juegos, demostración de teoremas) se plantean como búsqueda en espacio de estados:

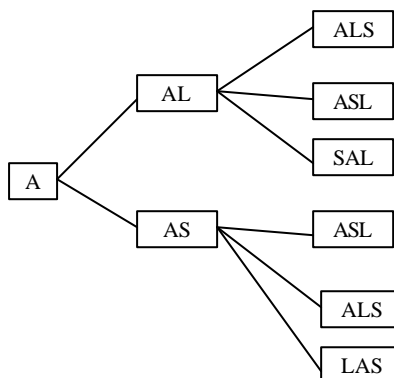
- ☒ Un **estado inicial** del problema (p.e., estado inicial de un puzzle)
- ☒ Una **prueba de terminación** para detectar los estados finales, o soluciones, del problema (p.e. El puzzle está correcto).
- ☒ Un **conjunto de operaciones** que pueden aplicarse para cambiar el estado actual del problema (movimientos posibles del puzzle).

⌘ Puede pensarse en términos de un árbol, en que los nodos son los estados y las operaciones son los arcos.

- ☒ Por ejemplo, pensemos en el Scrabble. Tenemos las letras A,L y S. En cada nivel del árbol añadimos una letra, en orden alfabético, y permutamos su posición. Tendríamos así un árbol :



# Un árbol de búsqueda



En este caso, el espacio de búsqueda tiene dos propiedades simplificadoras:

- Es finito.
- No contiene nodos repetidos

Sólo hay dos nodos que cumplen la prueba de terminación: SAL y LAS



## Métodos de búsqueda

- ⌘ Existen una serie de métodos para búsqueda en espacio de estados:
  - ☒ Búsqueda en anchura.
  - ☒ Búsqueda en profundidad,
  - ☒ ...
- ⌘ No obstante, en todos ellos se produce el fenómeno de la “Explosión combinatoria” : en cada nivel, el número de nodos crece exponencialmente de forma que el problema se hace intratable.
- ⌘ Para intentar resolver esto, se aplican técnicas de búsqueda “heurística” : reglas que ayuden a disminuir el número de nodos a tratar y que, aunque no garanticen la solución óptima, permiten encontrar una solución “casi” siempre.



## Conclusiones de la etapa clásica

- ⌘ Al final del periodo clásico quedaba claro que:
  - ☒ Casi todos los problemas se podían, en principio, reducir a problemas de búsqueda en los términos planteados (estado inicial, etc.)
  - ☒ La búsqueda tenía que ser guiada por alguna representación del conocimiento en el dominio del problema.
- ⌘ En algunos (pocos) casos particulares, se podía restringir la aplicación del conocimiento a una función de evaluación.
- ⌘ Sin embargo, en la mayoría de las situaciones, estaba claro que hacía falta algo más:
  - ☒ Una estrategia global de resolución de problemas.
  - ☒ Una codificación explícita del conocimiento sobre los objetos, propiedades y acciones asociadas con el dominio.



## Historia de la I.A (3)



### ⌘ Período romántico: choque con la realidad (1966-74)

- ☒ Los éxitos y el entusiasmo iniciales condujeron a afirmaciones demasiado optimistas ("*.. Las máquinas podrán abordar en un futuro previsible problemas cuya magnitud será similar a la de los problemas que la mente humana puede resolver..*" Simon, 58) .
- ☒ No obstante, los prototipos que funcionaban en problemas de juguete, fallaban de forma estrepitosa al enfrentarlos a problemas algo más reales. Así ocurrió con los proyectos de traducción automática , que fueron cancelados.
- ☒ La complejidad de los algoritmos empleados era de tipo exponencial, lo que convertía a los problemas en NP-completos, cuya teoría se desarrolló años más tarde.
- ☒ El informe Lightill (73) puso en claro el problema de la explosión combinatoria, y contribuyó a cancelar todas las subvenciones británicas a los trabajos sobre I.A.
- ☒ Algo parecido ocurrió con el informe de Minsky y Papert (69) sobre Redes Neuronales Artificiales.
- ☒ No obstante, en este período se desarrollaron alguno de los conceptos cruciales, especialmente en el campo de la representación del conocimiento.



## El conocimiento y la máquina



### ⌘ Newell y Simon generaron el sistema de representación del conocimiento conocido como reglas de producción, que ha sido la piedra angular del desarrollo de los sistemas expertos del periodo siguiente:

- ☒ Si <antecedente> entonces <consecuente>

### ⌘ También se sentaron las bases del "análisis de protocolos", o técnicas de extracción del conocimiento (ingeniería del conocimiento).

### ⌘ Se desarrollaron métodos alternativos de representación:

- ☒ Redes asociativas, o semánticas, en las que los nodos eran conceptos y los arcos relaciones.
- ☒ Aplicación de la lógica formal para codificar hechos y aplicar inferencias de forma automática, ...





## Historia de la I.A (4)



### ⌘ Sistemas basados en conocimiento (1969-79)



- ☒ Los métodos excesivamente generales de la etapa anterior, se depuraron desarrollando sistemas con conocimientos muy específicos de un tema determinado. De esta forma, aparecieron los sistemas expertos , cuyo primer exponente fue DENDRAL (Buchanan, 69) que infería una estructura molecular a partir de la información de un espectrómetro de masas. A este le siguió MYCIN (Feigenbaum, Buchanan, Shortcliffe (72)) para diagnóstico de enfermedades infecciosas, PROSPECTOR (Duda, 79) para diagnóstico de datos sismológicos, etc
- ☒ Aparecen también los primeros programas de procesamiento de lenguaje natural. LUNAR (Woods, 73) permitió a los geólogos hacer preguntas en inglés sobre las rocas traídas por las misiones Apollo.
- ☒ Apareció una demanda creciente de sistemas de representación del conocimiento, y herramientas para ello: Prolog, Planner, marcos, redes semánticas, etc



## Historia de la I.A (5)



### ⌘ Explotación comercial (1980-89)



- ☒ Empiezan a aparecer los primeros sistemas expertos comerciales. El primero fue el R1 de DEC (McDermott 82) y siguió una larga lista de sistemas expertos para casi todos los campos: diagnóstico, planificación, asesoría, etc
- ☒ El proyecto de la Quinta Generación de Japón (81) produjo un aumento espectacular de inversiones en I.A. en USA y Europa.
- ☒ Se crearon empresas de I.A : Lisp Machine, Intellicorp, Inference, Symbolics, etc con productos de software, hardware específico ("lisp machines") y sobre todo sistemas de visión artificial. En 1988 el volumen de ventas superó los 20.000 millones de dólares.
- ☒ En el 86 se produjo un resurgir de las Redes Neuronales al desarrollarse el algoritmo de retropropagación que superaba las limitaciones mencionadas por Minsky.
- ☒ Se produce la explosión de la Lógica Borrosa con origen en algunas aplicaciones en Japón, como el metro de Sundai.



## Historia de la I.A (5)

### ⌘ Etapa actual (1990-presente)

- ☒ Se ha entrado en una fase de sedimentación de conocimientos, de formalización y de autocrítica.
- ☒ En algunos campos, como el procesamiento de habla y lenguaje natural, se están produciendo avances considerables.
- ☒ Aparecen nuevos formalismos (razonamiento probabilístico, etc) que están posibilitando la resolución de problemas hasta ahora inabordables.
- ☒ En general, se está en una etapa de consolidación, de autocrítica y de mayor sosiego que producirá resultados más consistentes en un futuro próximo.
- ☒ El enorme avance que se está produciendo en los aspectos tecnológicos (ley de Moore), está haciendo posible el tratamiento de problemas que hace una década eran inabordables.
  - ☒ Visión artificial: tratamiento de imágenes.
  - ☒ Procesamiento de señales.
- ☒ La aparición de la WWW ha hecho que la información se esté expandiendo a una velocidad vertiginosa y la I.A. Tendrá algo que aportar en la solución a los problemas recuperación, análisis, clasificación, indexación, ...
- ☒ Se sigue cuestionando la definición misma de "inteligencia". Se habla de "mente", "consciencia", ...



## Algunos logros y fracasos

- ⌘ MYCIN (72): Es un sistema experto para diagnóstico de enfermedades infecciosas que marcó un hito en la I.A. A pesar de que es uno de los mejores sistemas expertos desarrollados, no ha recibido ninguna aceptación entre la comunidad médica.
- ⌘ DEEP THOUGHT (90) : Jugador de ajedrez
- ⌘ CHATKB (92): Es un sistema de ayuda al diseño de circuitos VLSI y ha tenido una gran aceptación entre los fabricantes.
- ⌘ MARVEL (92) : sistema experto en tiempo real que monitoriza los datos transmitidos desde algunas naves espaciales (Voyager), alertando a los analistas sobre posibles problemas.
- ⌘ PEGASSUS (94) : sistema de comprensión de lenguaje natural que actúa de interfaz a una base de datos de reserva de billetes .
- ⌘ Máquinas Lisp: uno de las grandes trampas de la construcción de hardware, en la que cayeron fabricantes como Texas, Xerox, Apple, etc

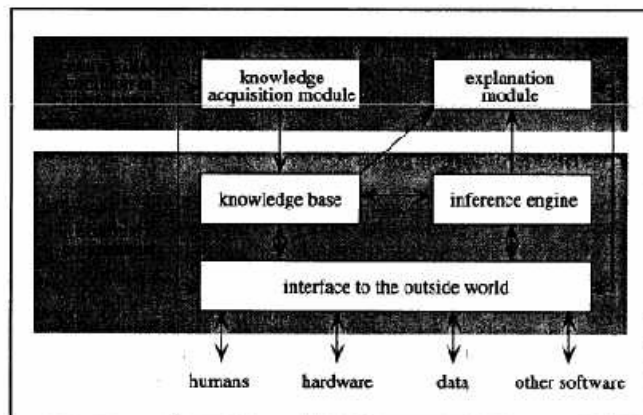


# Sistemas Inteligentes

- ⌘ Los desarrollos producidos en la Inteligencia Artificial en todos estos años pueden dividirse, grosso modo, en tres categorías:
  - ☒ Sistemas basados en conocimiento:
    - ☒ Sistemas expertos, sistemas basados en reglas y sistemas basados en marcos y objetos.
  - ☒ Sistemas de Inteligencia computacional:
    - ☒ Redes neuronales, algoritmos genéticos.
  - ☒ Sistemas híbridos:
    - ☒ Sistemas basados en lógica borrosa.
- ⌘ Las dos últimas categorías constituyen lo que se ha dado en llamar computación "soft".



# Sistemas Basados en Conocimiento





# Sistemas expertos



⌘ De los sistemas basados en conocimiento, los que más desarrollo han tenido son los sistemas expertos.

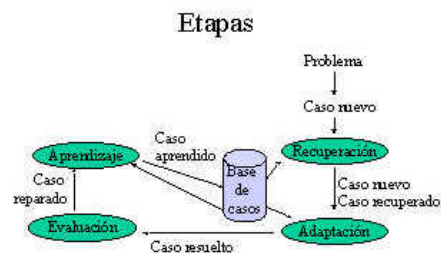
- ☒ El conocimiento se expresa en forma de reglas, de objetos, de marcos semánticos, etc.
- ☒ El motor de inferencias puede usarse para:
  - ☒ Deducción: dados una serie de hechos deducir una consecuencia.
  - ☒ Abducción: dada una consecuencia, deducir los hechos de los que se puede derivar (diagnosis, ...)
  - ☒ Inducción: inferir reglas de una serie de hechos.
- ☒ Deducción: causa + regla  $\Rightarrow$  efecto
- ☒ Abducción: efecto + regla  $\Rightarrow$  causa
- ☒ Inducción: causa + efecto  $\Rightarrow$  regla



# Razonamiento basado en casos (CBR)



⌘ El fundamento es buscar un "problema parecido" ya resuelto y adaptar su solución al problema actual. Si funciona, el nuevo problema se añade a la base de casos.





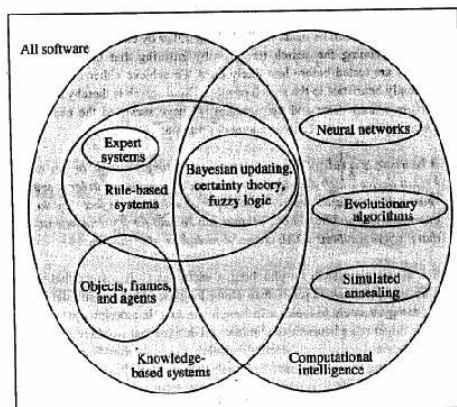
## Razonamiento con incertidumbre



- ⌘ Los seres humanos nos movemos bastante bien en entornos no demasiado “definidos” : información incompleta, presencia de ruidos, dudas sobre algunos hechos, reglas no muy bien definidas, ...
- ⌘ Los sistemas expertos no manejan muy bien estas situaciones.
- ⌘ Hay dos grandes enfoques a la incertidumbre:
  - ☒ Probabilístico: extensiones de la teoría de la probabilidad, probabilidad condicional, etc.
  - ☒ Redes Bayesianas, sistemas de creencias, Dempster-Schafer..
  - ☒ Posibilístico: sistemas posibilidad/necesidad, lógica borrosa

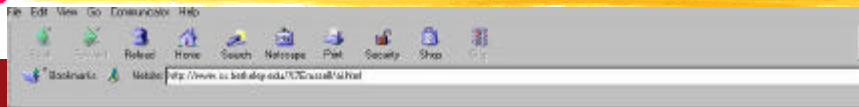


## Software de sistemas inteligentes





## Algunas páginas web:



### AI on the Web

This page links to 874 pages around the web with information on Artificial Intelligence. Some of the links will pop up additional information when you move the mouse over them. Links in **Blue** followed by a star are especially useful and interesting sites. If you have new links to add, [let us know](#). The sub-topics are:

#### [Overview of AI](#)

[History](#) [Recommended Links](#)

[Intelligent Agents](#)

[Search and Game Playing](#)

[Logic and Knowledge Representation](#)

#### [Planning](#)

[Reasoning with Uncertainty](#)

[Machine Learning](#)

[Natural Language Processing](#)

[Perception and Robotics](#)

#### [Philosophy and the Future](#)

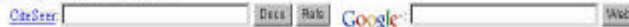
[AI Programming \(Lisp\)](#)

[AI Programming \(C++ and Java\)](#)

[AI Programming \(Python\)](#)

[AI Programming \(Prolog\)](#)

Or if you can't find it here, you can search elsewhere:



### Overview of AI

11:01

L.A.R,CETSI, Mayo 2005

27



## Clips: herramienta para construir sistemas expertos.



- [The Clips](#)
- [What's New in the CLIPS Web Pages](#)
- [What is CLIPS?](#)
- [CLIPS Download Area](#)
- [Support Services for CLIPS](#)
- [CLIPS Developers' Forum](#)
- [CLIPS Frequently Asked Questions](#)
- [CLIPS Related Web Locations](#)

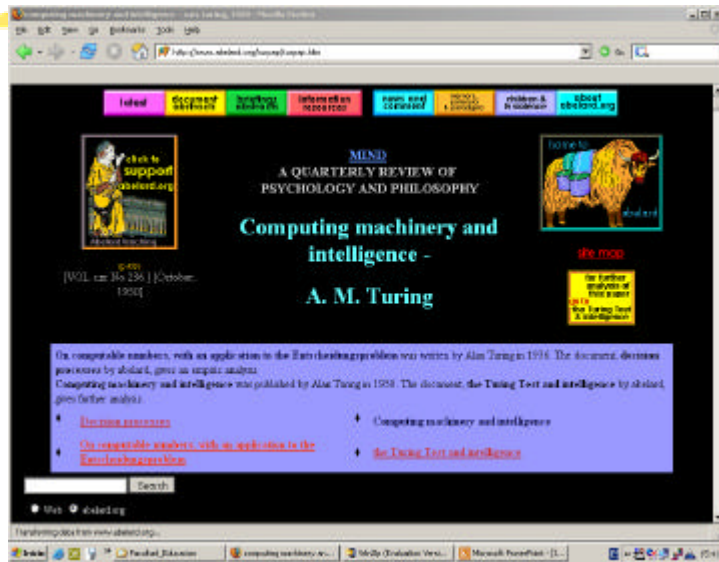
### A Tool for Building Expert Systems

Last Update October 5, 2002 [Clips Wiki](#)

11:01

L.A.R,CETSI, Mayo 2005

28



11:01

29



## Computadores vs. cerebros

Característica	Cerebro	Computador
a.- Procesador	Simple Baja velocidad (ms) Muchos	Complejo Alta velocidad(μs) Unos pocos (1 o más)
b.- Memoria	Integrada en el procesador Distribuida Direccionable por contenido	Separada del procesador Localizada Normalmente no direccionable por contenido
c.- Computación	Distribuida Altamente Paralela Auto-aprendizaje	Centralizada Secuencial/muy poco paralela Programa almacenado
d.- Tolerancia a fallos	Muy robusto	Muy vulnerable
e.- Habilidades	Muy bueno en problemas de percepción	Muy bueno en problemas de manipulación numérica/simbólica
f.- Entorno de operación	No restringido. Poco definido	Bien restringido Bien definido

11:01

L.A.R,CETSI, Mayo 2005

30



# Redes neuronales Artificiales



- ⌘ Los esfuerzos para desarrollar programas “inteligentes” basados en arquitecturas Von Neumann no han obtenido resultados significativos.
- ⌘ Las RNA son sistemas de computación masivamente paralelos (al menos conceptualmente), que constan de un número elevado de procesadores muy simples (“*neuronas*”) interconectados.
- ⌘ Las RNA intentan usar algunos de los principios de organización que se cree están presentes en los cerebros biológicos.
- ⌘ La base está en el modelado de la neurona biológica usando una generalización de la neurona de McCulloch-Pitts (1943)

11:01

L.A.R,CETSI, Mayo 2005

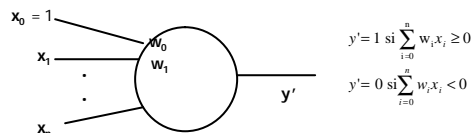
31



# Ejemplo de neurona artificial:



- ⌘ Modelo de neurona artificial (McCulloch-Pitts):



11:01

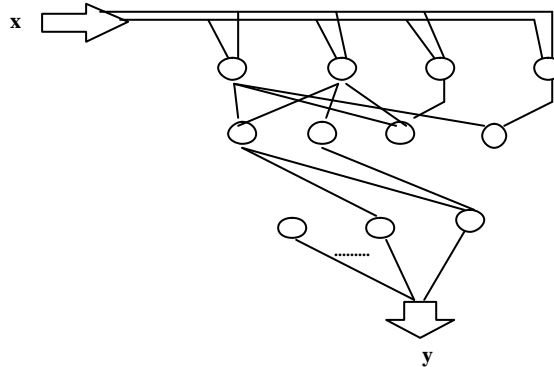
L.A.R,CETSI, Mayo 2005

32





## Ejemplo de Red Neuronal Artificial



11:01

L.A.R.,CETSI, Mayo 2005

33



## Aprendizaje en RNA



- ⌘ Aprendizaje en una RNA se define como el proceso de actualizar los pesos (y eventualmente la arquitectura) de forma que la red pueda llevar a cabo de forma efectiva una tarea determinada.
- ⌘ Normalmente, la modificación se restringe al valor de los pesos, dado que la relación topología-prestaciones no está muy clara.
  - ☒ *Paradigma de aprendizaje*: información disponible para la red (modelo del entorno de operación)
  - ☒ *Regla de aprendizaje*: Principios que gobiernan el aprendizaje
  - ☒ *Algoritmo de aprendizaje*: procedimiento numérico de ajuste de los pesos.

11:01

L.A.R.,CETSI, Mayo 2005

34



# Campos de aplicación de las RNA



## ⌘ Clasificación de patrones

☒ Asignar a cada patrón de entrada (vectores en un espacio de características) una etiqueta de clase. Ejemplos: reconocimiento de habla, de caracteres, clasificación de ECG, EEG, células , etc

## ⌘ Agrupamiento, categorización

☒ Explorar las posibles similitudes entre los patrones de entrada y crear las correspondientes agrupaciones. Ejemplo: compresión de datos, análisis exploratorio de datos, minería de datos.

## ⌘ Aproximación funcional

## ⌘ Predicción

☒ Dadas  $n$  muestras  $y_i$ , de una serie temporal, predecir la siguiente (o siguientes)

## ⌘ Optimización

## ⌘ Memorias asociativas,

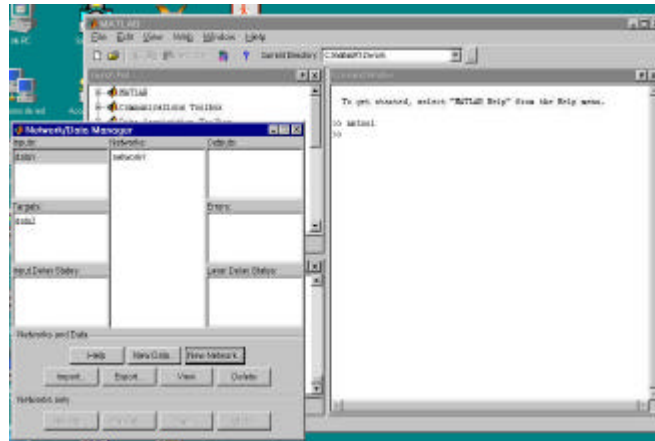


<http://neuralnetworks.ai-depot.com/>





## Redes neuronales en Matlab



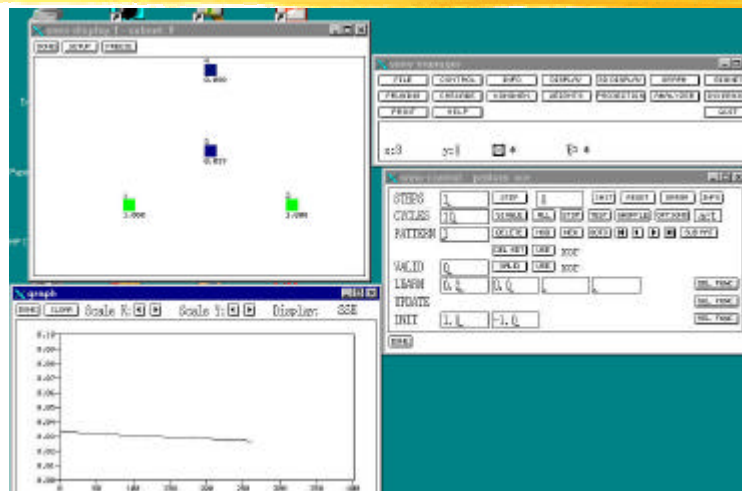
11:01

L.A.R,CETSI, Mayo 2005

37



## Simulador de Redes Neuronales de Stuttgart(SNNS)



11:01

L.A.R,CETSI, Mayo 2005

38



# Fundamentos de Lógica Borrosa



- ⌘ Su fundamento es el lenguaje natural, donde los razonamientos aproximados con sentencias imprecisas son habituales:
  - ☒ A1: Normalmente, los coches antiguos son difíciles de encontrar.
  - ☒ A2 : Lo difícil de encontrar suele ser caro
  - ☒ C1: Normalmente, los coches antiguos son caros
  - ☒ El silogismo anterior emplea predicados borrosos (antiguo, difícil de encontrar, caro) y un cuantificador borroso (normalmente)
- ⌘ La teoría de conjuntos borroso, base de esta Lógica, se debe a Zadeh (1965)
- ⌘ Si a cada elemento del *Universo del Discurso* se le asigna un *grado de pertenencia a un conjunto*,  $\mu_a(x)$ , valor real entre 0 y 1, tendremos definido un conjunto borroso.



# Ejemplo de un conjunto borroso



Sea el Universo de las edades  $U = \{5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$   
 Sean cuatro conjuntos borrosos: bebés, jóvenes, adultos, viejos  
 Los grados de pertenencia pueden ser:

Elementos	bebés	jóvenes	adultos	viejos
5	0	1	0	0
10	0	1	0	0
20	0	0.8	0.8	0.1
30	0	0.5	1	0.2
40	0	0.2	1	0.4
50	0	0.1	1	0.6
60	0	0	1	0.8
70	0	0	1	1
80	0	0	1	1



## Ejemplo



⌘ La notación matemática es:

- $A = \{x \mid \mu_A(x)\}$  si  $\mu_A(x)$  es distinto de 0 ( $x$  se llama *singleton*)
- Ejemplo:
- bebés =  $\{\}$
- jóvenes =  $\{5 \mid 1, 10 \mid 1, 20 \mid 0.8, 30 \mid 0.5, 40 \mid 0.2, 50 \mid 0.1\}$
- adultos =  $\{20 \mid 0.8, 30 \mid 1, 40 \mid 1, 50 \mid 1, 60 \mid 1, 70 \mid 1, 80 \mid 1\}$
- viejos =  $\{20 \mid 0.1, 30 \mid 0.2, 40 \mid 0.4, 50 \mid 0.6, 60 \mid 0.8, 70 \mid 1, 80 \mid 1\}$

⌘ El conjunto bebés es un *conjunto borroso vacío*, dentro del Universo de edades elegido.

⌘ Sobre los conjuntos borrosos así definidos, se puede re-edificar la teoría de conjuntos, estableciendo las operaciones de Unión, Intersección, Negación, Producto Cartesiano, Relaciones borrosas, etc.



## Lógica Borrosa vs. Convencional



⌘ En la lógica clásica, una proposición puede tomar los valores 0 o 1. En la lógica borrosa, los valores semánticos son conjuntos borrosos dentro del intervalo  $[0,1]$ , con lo cual cada proposición tiene grados de pertenencia a los llamados "*valores de verdad lingüísticos*". Ejemplo: muy cierto, cierto, falso, muy falso, etc.

⌘ En Lógica Borrosa, los predicados pueden ser concretos, como en la convencional, o *borrosos* (Ejemplo: barato, joven, alto, ...).

⌘ La lógica clásica solamente admite dos cuantificadores : el *Universal* (para todo) y el *existencial* (existe al menos). En Lógica Borrosa se admiten, además, cuantificadores *borrosos* como "muchos", "pocos", que pueden considerarse como números borrosos o predicados de segundo orden.



# Inferencias Borrosas



⌘ Las reglas de inferencia borrosa son extensiones de las reglas de inferencia de la lógica tradicional.

⌘ *Modus Ponens Generalizado:*

- $A(x) \rightarrow B(z)$  Si la temperatura es baja sube la calefacción
- $A(x)$  La temperatura es baja
- -----
- $B(z)$  ----- Sube la calefacción

⌘ *Modus Tollens Generalizado:*

- $A(x) \rightarrow B(z)$  Si la temperatura es baja sube la calefacción
- $\neg B(z)$  No sube la calefacción
- -----
- $\neg A(x)$  -----  
La temperatura no es baja



# Sistemas Borrosos



⌘ Un sistema (de control, de información, etc) es *borroso* cuando su funcionamiento se basa, al menos parcialmente en la lógica borrosa o en los conjuntos borrosos.

⌘ Los problemas de análisis de sistemas (o toma de decisiones) más importantes son:

- Control de procesos.
- Procesamiento de señal.
- Diagnóstico.
- Procesamiento de imagen.
- Procesamiento de lenguaje natural.
- Investigación Operativa.



# Ejemplos de sistemas borrosos.



- Industriales:
  - Control de horno de cemento (Dinamarca)
  - Control de horno de fundición (NKK Fukoyama)
  - Operación automática del metro (Sundai, Japón)
  - Acondicionador de aire doméstico (Mitsubishi)
  - Lavadora (Viessmann, Fagor)
  - Cámara autofocus (Sanyo)
  - Fotocopiadora (Sanyo)
- De laboratorio:
  - Reconocedor de habla (NTT, Japón)
  - Sistema experto en medicina (Univ. California)
  - Control de robot autónomo (SRF, USA)

11:01

L.A.R.,CETSI, Mayo 2005

45



<http://www.ortech-engr.com/fuzzy/reservoir.html>



**OEI**

**Ortech Engineering Inc.**

**Fuzzy Logic Reservoir**

Make sure your air tanks are full and take a deep breath before diving into this reservoir. Also be sure to bring a return line during your exploration or you might never find your way back home. Gems located at this site are marked by a treasure chest - all others will take you on a cyberslide. Enjoy your trip.

Jump off the diving platform in one of the following directions to begin your adventure:

**The Diving Platform**

<a href="#">Bury Our Crystal Clear Waters</a> Online Papers, Journals, and other Publications	<a href="#">Visit Our Coral Reef</a> Fuzzy Logic Labs at Universities
--	--

11:01

L.A.R.,CETSI, Mayo 2005

46



## Software desarrollado



### UNFUZZY 1.1

Software para el Análisis, Diseño, Simulación e Implementación de Sistemas de Lógica Difusa. Corre en plataformas Win32. Puede obtener el

[manual del usuario](#) (198 Kb) en formato Word 6.0, aunque la información de este manual se encuentra contenida en la Ayuda en línea del programa.

La versión 1.2 presenta dos novedades respecto a la versión 1.1:

- Se incluye un programa adicional, UNF.EXE, que permite emplear los Sistemas de Lógica Difusa diseñados previamente con UNFUZZY, sin necesidad de desplegar la interfaz gráfica. Los datos de entrada y de salida se almacenan en archivos de texto.
  - UNFUZZY será ahora disponible también en otros idiomas, aunque el Manual de Usuario y la Ayuda en Línea están aún (y permanecerá por algún tiempo) en Español:
    - [Español](#) (890 Kb)
    - [Inglés](#) (890 Kb)
    - [Italiano](#) (890 Kb): Traducido por [Michele Sitta](#)
    - [Checo](#) (890 Kb): Traducido por [Jan Prochaska](#) (Algunos acentos no se visualizan, o lo hacen de forma incorrecta)
- ¿Desea obtener UNFUZZY en un idioma diferente? Para ello necesitamos tu ayuda: o lo tienes que destruir un archivo en [Español](#) (2.3Kb) o en [Inglés](#) (2.3Kb), traducido o a tu idioma, y pasarlo a [Carlos Duarte](#). En unos días estará disponible la versión en tu idioma. Gracias a la colaboración desinteresada de Michele Sitta y Jan Prochaska tenemos ahora los usuarios en Italiano y en Checo.
- UNFUZZY is now available in other languages, but the User's Manual and the Help Files are still (and will remain, for some time) in Spanish:
    - [Spanish](#) (890 Kb)
    - [English](#) (890 Kb)
    - [Italiano](#) (890 Kb): Translated by [Michele Sitta](#)
    - [Czech](#) (890 Kb): Translated by [Jan Prochaska](#) (some special characters are not displayed, or they are wrong)



## Computación Evolutiva



- ⌘ La inteligencia y la evolución son conceptos estrechamente relacionados en el mundo biológico.
- ⌘ A pesar de ello, no existe una definición de inteligencia aceptada de forma universal. Menos aún si le añadimos adjetivos (*artificial*)
- ⌘ Una posible definición, más o menos consensuada, (Fogel, 95) es:
  - "Inteligencia es la capacidad de un sistema de adaptar su comportamiento para obtener sus objetivos dentro de un rango amplio de entornos."
  - En esta definición no se habla de "implementaciones" de uno u otro tipo. La funcionalidad es la misma tanto si se habla de individuos, especies, grupos sociales, etc.
- ⌘ Si modelamos el proceso evolutivo, podremos crear entidades capaces de generar comportamiento inteligente: *computación evolutiva*.





# Evolución



- ⌘ El proceso de evolución puede considerarse formado por cuatro procesos esenciales:
  - reproducción:
  - mutación: los errores en la transcripción de información son inevitables.
  - competencia: derivada de la naturaleza finita de los recursos.
  - selección, resultado de la competencia.
- ⌘ Parece lógico concluir que si una máquina puede simular el proceso evolutivo, esa máquina se puede calificar de "inteligente", en el sentido de Fogel.
- ⌘ La teoría clásica de la evolución de Darwin-Wallace (1858), combinada con la genética de Mendel y el seleccionismo de Weismann constituye lo que se llama el paradigma neo-darwinista:
  - *La evolución de la gran mayoría de las especies vivas se puede explicar por unos pocos procesos estadísticos que actúan sobre poblaciones y especies, generación tras generación.*



# Aplicaciones de Algoritmos Genéticos



- Optimización numérica: es la más tradicional
- Procesamiento de imágenes: para correspondencia, generación de retratos robot, etc
- Optimización combinatoria: problema del viajante, problemas de empaquetado (bin packing), asignación de recursos (máquinas, aulas, personas, etc) entre diferentes tareas, etc
- Ayuda al diseño: de redes neuronales, puentes, circuitos de comunicación, etc
- Aprendizaje automático: extracción de reglas de producción (if ... then) en situaciones particulares (juegos, modelado político y económico, etc)
- Control: ajuste de parámetros en sistemas de gran dimensión, extracción de reglas de control, etc



## Algunas notas biográficas



- John Mc Carthy (1927- ) : Matemático, creador del "tiempo compartido" y de Lisp cuando trabajaba en el MIT. Actualmente es profesor emérito en Stanford.
- Marvin Minsky(1927- ) : Matemático, pasó toda su vida profesional en el MIT, donde continúa. Autor de MACSYMA, del concepto de "marco", de contribuciones esenciales en visión artificial, etc.
- Allen Newell (1927-92) : Físico y matemático, trabajó en Princeton, luego en RAND y finalizó su carrera en la CMU. Su principal contribución ha sido la formalización del razonamiento.
- Herbert Simon (1917- ) : Doctor en Ciencias Políticas, fue migrando hacia la computación debido a su estrecha colaboración con Newell.
- Turing (1912-54): Doctor en matemáticas por Cambridge, es uno de los padres de las Ciencias de la Computación.



## Algo de bibliografía



- ⌘ Russell, Norvig.- Inteligencia Artificial, Un Enfoque Moderno.- Prentice Hall, 97
- ⌘ Bender.- Mathematical Methods in Artificial Intelligence.- IEEE Press, 96
- ⌘ Haykin: Neural Networks, IEEE Press, 1994
- ⌘ Nillson.- Principios de Inteligencia Artificial.- Diaz de Santos, 94
- ⌘ Aranda, et al.- Fundamentos de Lógica Matemática. Sanz y Torres 99
- ⌘ Hopgood .- Intelligent Systems for Engineers and Scientists.- CRC Press, 2001



<http://www.aaai.org/AITopics/aitopics.html>



11:01

L.A.R.,CETSI, Mayo 2005

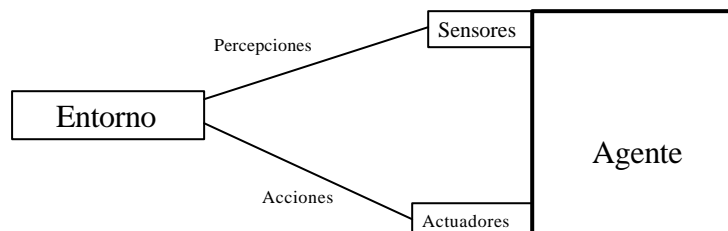
53



## Agentes y multiagentes



- ⌘ El Agente recibe entradas del entorno y ejecuta acciones para intentar cumplir los objetivos.
- ⌘ Un Agente es un sistema informático que actúa dentro de un entorno de forma autónoma y flexible para cumplir sus objetivos.



11:01

L.A.R.,CETSI, Mayo 2005

54



## Propiedades de los agentes



⌘ Woldridge (1995) establece las siguientes propiedades para los agentes:

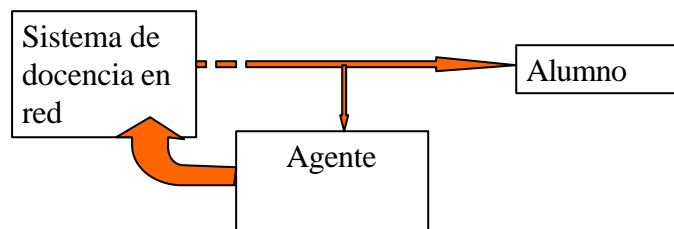
- ☒ **Autonomía** : capacidad de actuar sin intervención humana directa, o de otros agentes.
- ☒ **Sociabilidad**: capacidad de interactuar con otros agentes a través de algún lenguaje (protocolo) de comunicación.
- ☒ **Reactividad**: capacidad de reaccionar ante determinadas percepciones en un tiempo establecido.
- ☒ **Iniciativa**: capacidad de actuar de forma espontánea en determinadas condiciones de no cumplimiento de objetivos.



## Agentes en docencia

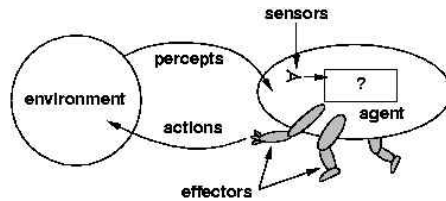


- ⌘ Los agentes pueden implementarse con cualquiera de las técnicas especificadas antes: Inteligencia artificial "clásica", "soft", etc.
- ⌘ El agente estará vigilando el uso de la red por el estudiante y en función de determinados criterios puede actuar modificando algunos de los parámetros: aumentando la velocidad, saltando páginas, modificando el orden, etc.





## Un agente como "robot"



11:01

L.A.R.,CETSI, Mayo 2005

57



## La navaja de Occam



- ⌘ En cualquier caso, el principio básico en aplicaciones de Inteligencia Artificial debería inspirarse en La navaja de Occam (Occam's razor, William of Occam, 1320):
  - ☑ Elegir siempre la hipótesis más simple que resuelva el problema.
- ⌘ Hay varias soluciones bastante probadas, que se presentan en las siguientes transparencias (debidas al profesor Daniel Borrajo, de la Universidad Carlos III, Madrid)

11:01

L.A.R.,CETSI, Mayo 2005

58



# Problema de minería de datos.

## Descubriendo regularidades en grandes cantidades de datos

- ¿Cuál es el perfil de los clientes que se gastan al mes más de 100.000 pts.?
- ¿Qué producto de nuestra empresa es el que compran los clientes después de comprar el detergente?
- ¿Cuánto tiempo tardan nuestros clientes, dependiendo de su perfil, en comprar el producto después de que la publicidad salga en periódicos? ¿y en la televisión?
- ¿A qué tipos de números de teléfono llaman nuestros clientes?
- ¿Qué relación hay entre la aparición de un bebé en un anuncio de la televisión y la compra durante el siguiente mes de un determinado producto?
- ¿Cuándo concede un crédito hipotecario? ¿por cuánto?
- Un cliente de tarjeta de crédito está realizando una compra, ¿pagará? ¿se la han rebatido?

11:01

L.A.R,CETSI, Mayo 2005

59



# Solución por árboles de decisión

## Algunos clasificadores. Árboles de decisión

Salario	Cliente	Edad	Hijos	Crédito
Poco	Si	Joven	Uno	No
Mucho	No	Adulto	Dos	Si
Mucho	No	Adulto	Dos	Si
Mediano	Si	Adulto	Tres	No
...	...	...	...	...



11:01

L.A.R,CETSI, Mayo 2005

60

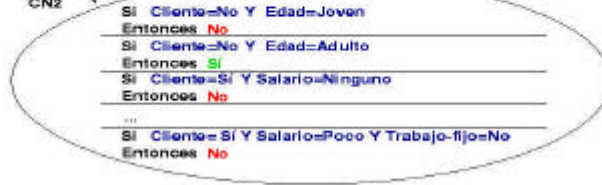


## Solución por sistema de reglas

Algunos clasificadores. Reglas

Salario	Cliente	Edad	Hijos	Crédito
Poco	Sí	Joven	Uno	No
Mucho	No	Adulto	Dos	Sí
Mucho	No	Adulto	Dos	Sí
Mediano	Sí	Adulto	Tres	No

C4.5  
AQ  
CN2



¿Es útil que aprendan los algoritmos? #18

©2005, David Borrajo

11:01

L.A.R,CETSI, Mayo 2005

61



## Solucion por Redes Neuronales

Algunos clasificadores. Redes de neuronas

Salario	Cliente	Edad	Hijos	Crédito
Poco	Sí	Joven	Uno	No
Mucho	No	Adulto	Dos	Sí
Mucho	No	Adulto	Dos	Sí
Mediano	Sí	Adulto	Tres	No

Retropropagación  
(backprop)



11:01

L.A.R,CETSI, Mayo 2005

62



## Razonamiento basado en casos (CBR)

### Resolver problemas en función del pasado

- Gran cantidad de problemas resueltos por los humanos se basan en la combinación de conocimiento de fondo y de casos pasados
- Ejemplos de actividades basadas en casos
  - médicos
  - abogados, especialmente en EEUU
  - arquitectos, especialmente con los chalets adasandis,
  - informáticos (fundamos copy paste),
  - empresarios (best practices), etc.
- La forma más sencilla de modelizar esto es por medio de una base de datos que memorice todo lo que hacemos
- Problema: podemos perder de generalización
- Si somos más flexibles permitimos recuperar y utilizar casos parecidos a los anteriores
- Incluso podríamos recuperar y utilizar varios casos

11:01

L.A.R,CETSI, Mayo 2005

63



## Sistemas adaptables

### Asistentes personales

- Vivimos en una sociedad en la que, en la mayor parte de los casos, no vale el café para todos
- Cada persona desea conducir un coche personalizado, recibir propaganda personalizada, tener un train personalizado en el banco, etc.
- Es necesario la construcción de sistemas que permitan adaptarse a sus deseos
- Ejemplos:
  - Gestoras de agendas personales y en grupo
  - Reconocedores de voz
  - Reconocedores de letra
  - Buscadores de Web adaptables al usuario
  - Periódicos electrónicos con noticias personalizadas
  - Casas que se adaptan a los usuarios

11:01

L.A.R,CETSI, Mayo 2005

64