

Asignatura: **MODELOS COMPUTACIONALES**

Ingeniería técnica en informática de gestión

Horario Clases: **Martes y Jueves 17:30-19:30**

Aula: 3.05

Profesor: Leonardo Franco Despacho 3.2.29

Email: lfranco@lcc.uma.es

Web: <http://www.lcc.uma.es/~lfranco>

Horario tutorías : Lunes: 10:30-13:30 hs.
Miércoles: 17:00-19:30 hs.

Por favor, avisar por correo electrónico la asistencia a tutorías para confirmar horario

OBJETIVOS



```
graph TD; A([OBJETIVOS]) --> B([Conocer y comprender los fundamentos y las características de los modelos de computación basados en redes neuronales artificiales]); A --> C([Redes neuronales como paradigma de computación paralela distribuida, donde se sustituye la programación por el aprendizaje.]); B --> D([Aprender a modelar y resolver, mediante redes de neuronas artificiales: problemas clásicos de optimización, control, clasificación y diagnóstico, reconocimiento de caracteres, restauración de imágenes, compresión de datos, aproximación de funciones y predicción.]);
```

The diagram is a flowchart with three levels of objectives. The top level is a light blue oval containing the word 'OBJETIVOS'. Two arrows originate from this oval: a small light blue arrow pointing down to the left, and a larger light blue arrow pointing down to the right. The left arrow points to a light blue oval containing the text 'Conocer y comprender los fundamentos y las características de los modelos de computación basados en redes neuronales artificiales'. The right arrow points to a light blue oval containing the text 'Redes neuronales como paradigma de computación paralela distribuida, donde se sustituye la programación por el aprendizaje.'. From the bottom of the left oval, a thick dark blue arrow points down to a dark blue oval at the bottom of the diagram. This bottom oval contains the text 'Aprender a modelar y resolver, mediante redes de neuronas artificiales: problemas clásicos de optimización, control, clasificación y diagnóstico, reconocimiento de caracteres, restauración de imágenes, compresión de datos, aproximación de funciones y predicción.'

Conocer y comprender los fundamentos y las características de los modelos de computación basados en redes neuronales artificiales

Redes neuronales como paradigma de computación paralela distribuida, donde se sustituye la programación por el aprendizaje.

Aprender a modelar y resolver, mediante redes de neuronas artificiales: problemas clásicos de optimización, control, clasificación y diagnóstico, reconocimiento de caracteres, restauración de imágenes, compresión de datos, aproximación de funciones y predicción.

PROGRAMA

- Introducción a los modelos computacionales y a la **neurocomputación**.
- Redes recurrentes: **Red de Hopfield**
- **Perceptrón simple**
- **Perceptrones multicapas** y problemas de clasificación
- Redes autoorganizadas de **Kohonen**
- Redes estocásticas: Máquina de Boltzmann. Redes de Elman

Bibliografía

- Artículos, apuntes, presentaciones de clase
<http://www.lcc.uma.es/~lfranco>
- Apuntes del catedrático José Muñoz <http://www.lcc.uma.es/~munozp>
- Campus virtual (En breve).
- Hertz, J.A., Krogh, & Palmer, “Introduction to the theory of neural computation“, Addison-Wesley, 1991
- Haykin, S. “Neural Networks”, Mcmillan, 1994 .
- Rojas, R. “Neural Networks, A Systematic Introduction”. Ed.: Sprinter Verlag. 1996.
- Freeman, J.A., Skapura, D.M. “Redes Neuronales, Algoritmos ...”, Addison-Wesley, 1993
- Martín Del Brío, B., Sanz Molina, A. “Redes Neuronales y sistemas borrosos”, 2da Ed. 2001. Ed. Ra-Ma

Metodología docente

Clases teóricas en pizarra, complementadas con presentaciones con proyector de transparencias.

Clases prácticas en laboratorio usando lenguaje de programación MATLAB para la Resolución de problemas.

**En Marzo empezaremos con el laboratorio
(ya se les avisará el aula y el día de comienzo):**

1 Clase a la semana de teoría

1 Clase en laboratorio

EVALUACIÓN

La asignatura pertenece al plan piloto de adaptación al espacio europeo de educación superior (“EEES”).

Evaluación continua

Asistencia: 10% Evaluada en todas las clases prácticas y en algunas clases teóricas.

Realización de trabajos propuestos y participación activa: 15%

4 Ejercicios de control al final de los temas principales: 20%

Examen Final 55% (Es necesario aprobarlo)

4 Controles

1. Introducción a los modelos computacionales y a la **neurocomputación**. Redes recurrentes: **Red de Hopfield**.
2. Redes neuronales basadas en la decisión.
3. **Redes multicapas** para aproximación de funciones.
4. Sistemas autoorganizados: Redes de Kohonen.

Examen Final:

Dado un problema, ¿qué **método** puedo aplicar ?

Competencias más importantes que trata de fomentar esta asignatura

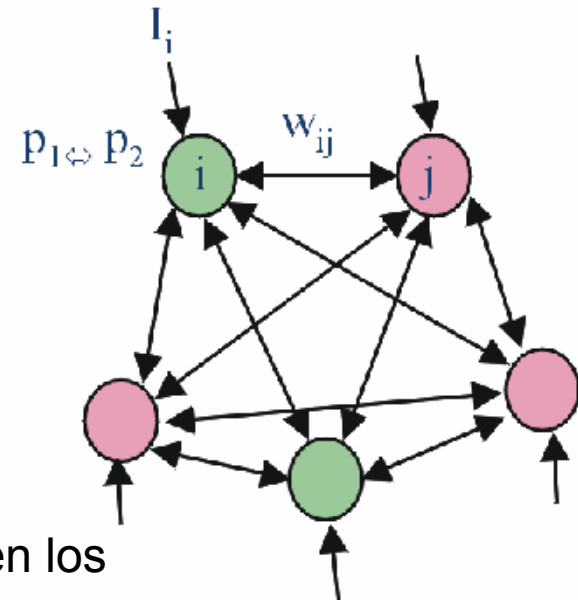
- Resolución de problemas usando modelos de redes neuronales
- Creatividad
- Razonamiento crítico
- Aprendizaje autónomo

¿Qué es una Red Neuronal?

Sistema de procesamiento masivo de información compuesto de unidades de proceso simples, llamadas **neuronas**, que se utiliza para almacenar conocimiento a través de un proceso de aprendizaje.

Está basado en la idea de cómo funciona el cerebro en los siguientes dos sentidos:

1. El conocimiento de la red es adquirido a través de un **proceso de aprendizaje**.
2. El conocimiento se almacena en las conexiones entre las neuronas, llamadas **pesos sinápticos**.



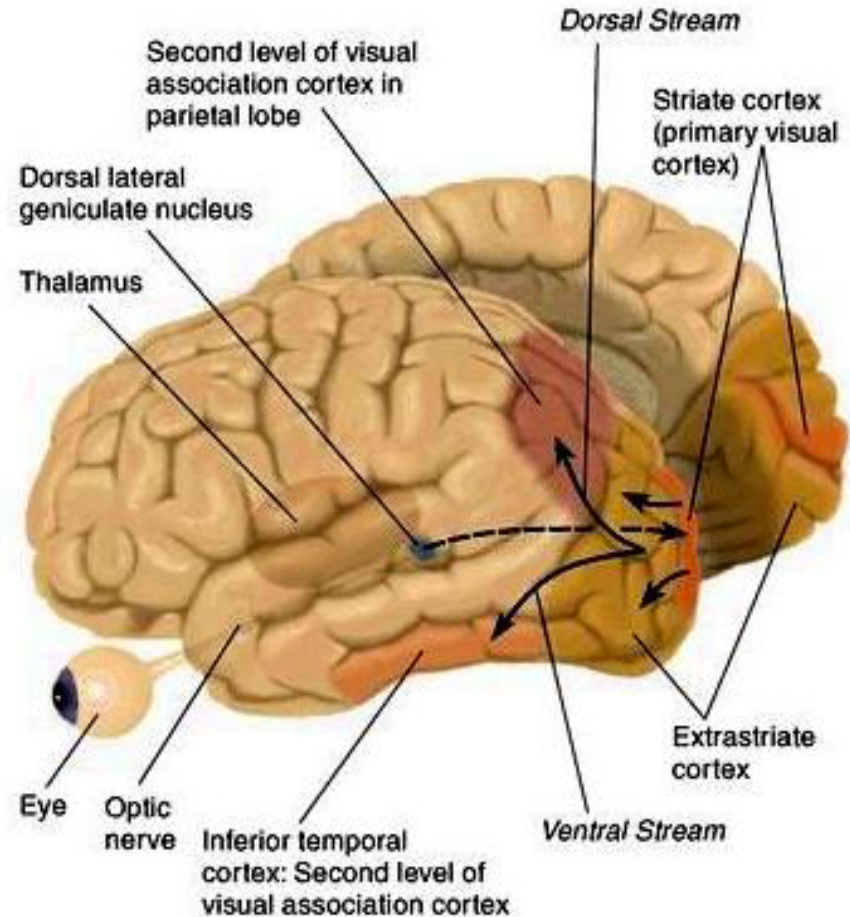
La corteza cerebral

Sistema conocido más complejo, conteniendo billones de neuronas y trillones de sinapsis.

Modelado a través de millones de años de evolución.

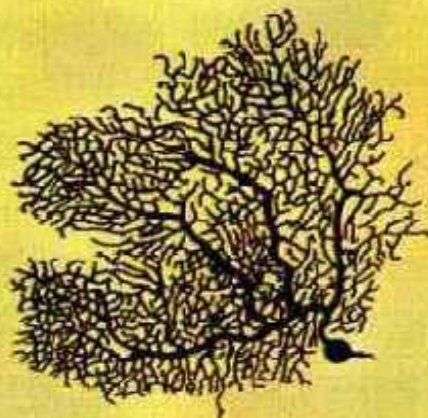
Aprendizaje

Funciones mentales elevadas: lenguaje, reconocimiento visual, creatividad.



Muy eficiente energéticamente en comparación con ordenadores tradicionales

CELULA DE PURKINJE



NEURONA
DEL NUCLEO
OLIVAR
INFERIOR



CELULA GRANULOSA



CELULA PIRAMIDAL



PEQUEÑA
CELULA
GELATINOSA



CELULA
GELATINOSA
(SUSTANCIA
GELATINOSA)



CELULA
OVOIDE

CELULAS
LARGAS DEL
NUCLEO
ESPINAL
TRIGEMINAL



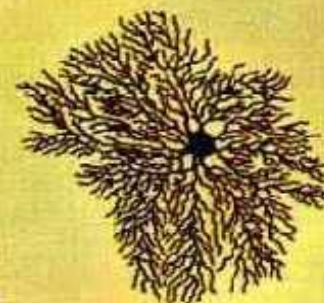
PEQUEÑAS CELULAS
DE LA FORMACION
RETICULAR



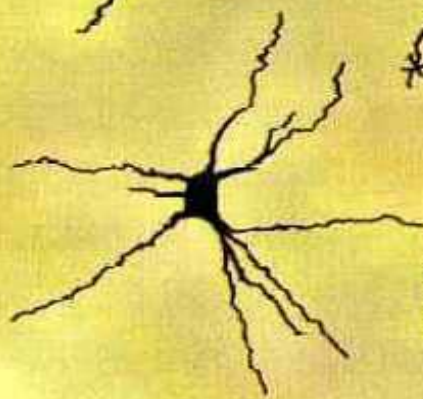
CELULA
DEL GLOBUS
PALLIDUS



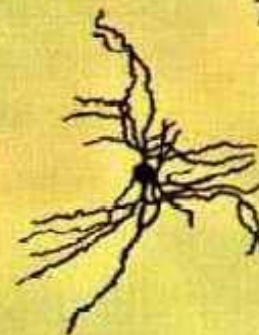
CELULA
PIRAMIDAL
DOBLE



CELULAS
DEL
NUCLEO
TALAMICO

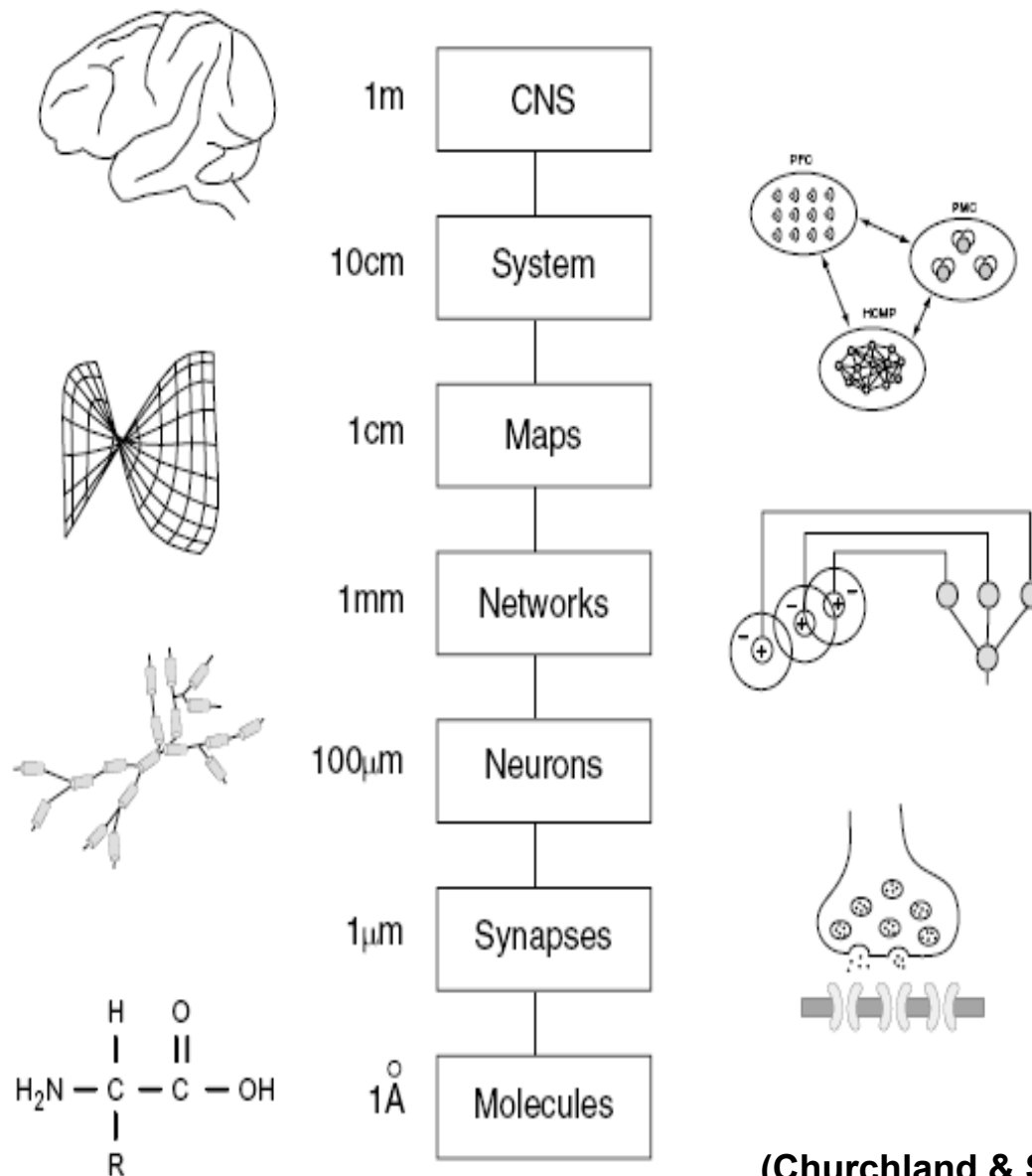


GRANDES CELULAS
DE LA FORMACION
RETICULAR

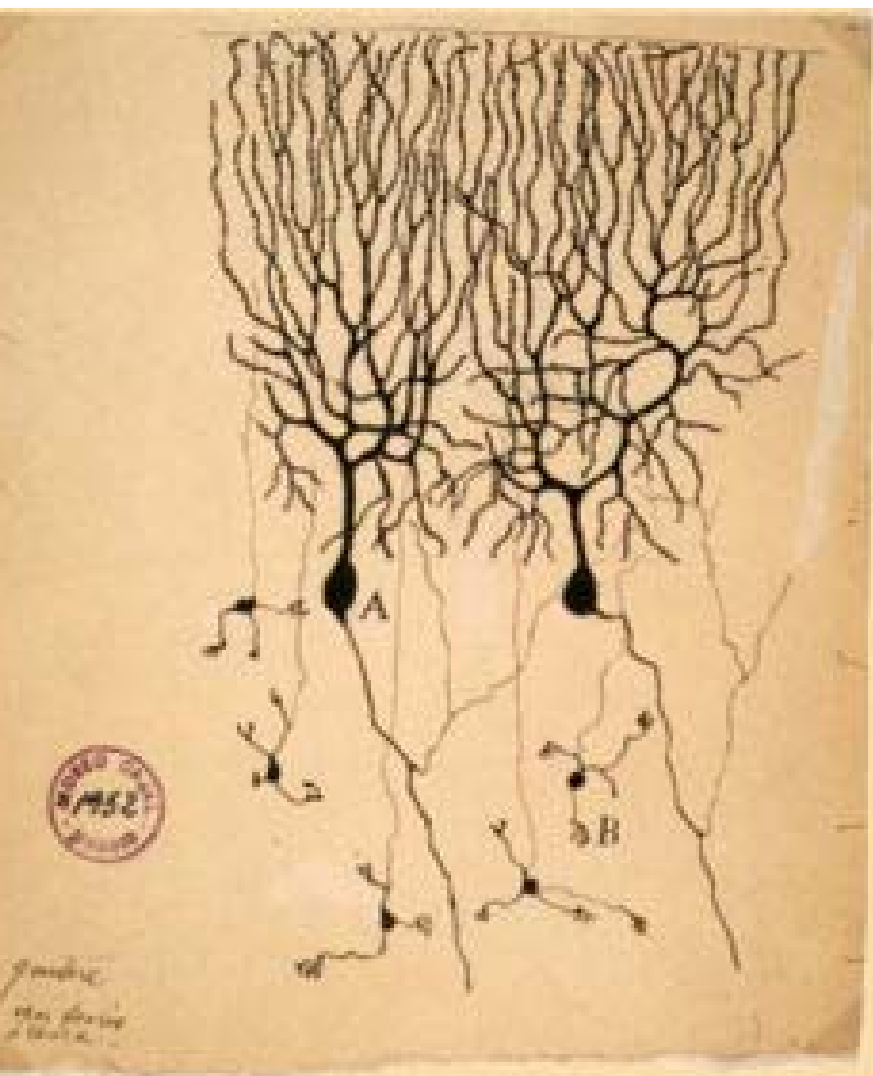


NEURONA DEL
PUTAMEN DEL
NUCLEO LENTIFORME

Differentes escalas en el sistema nervioso

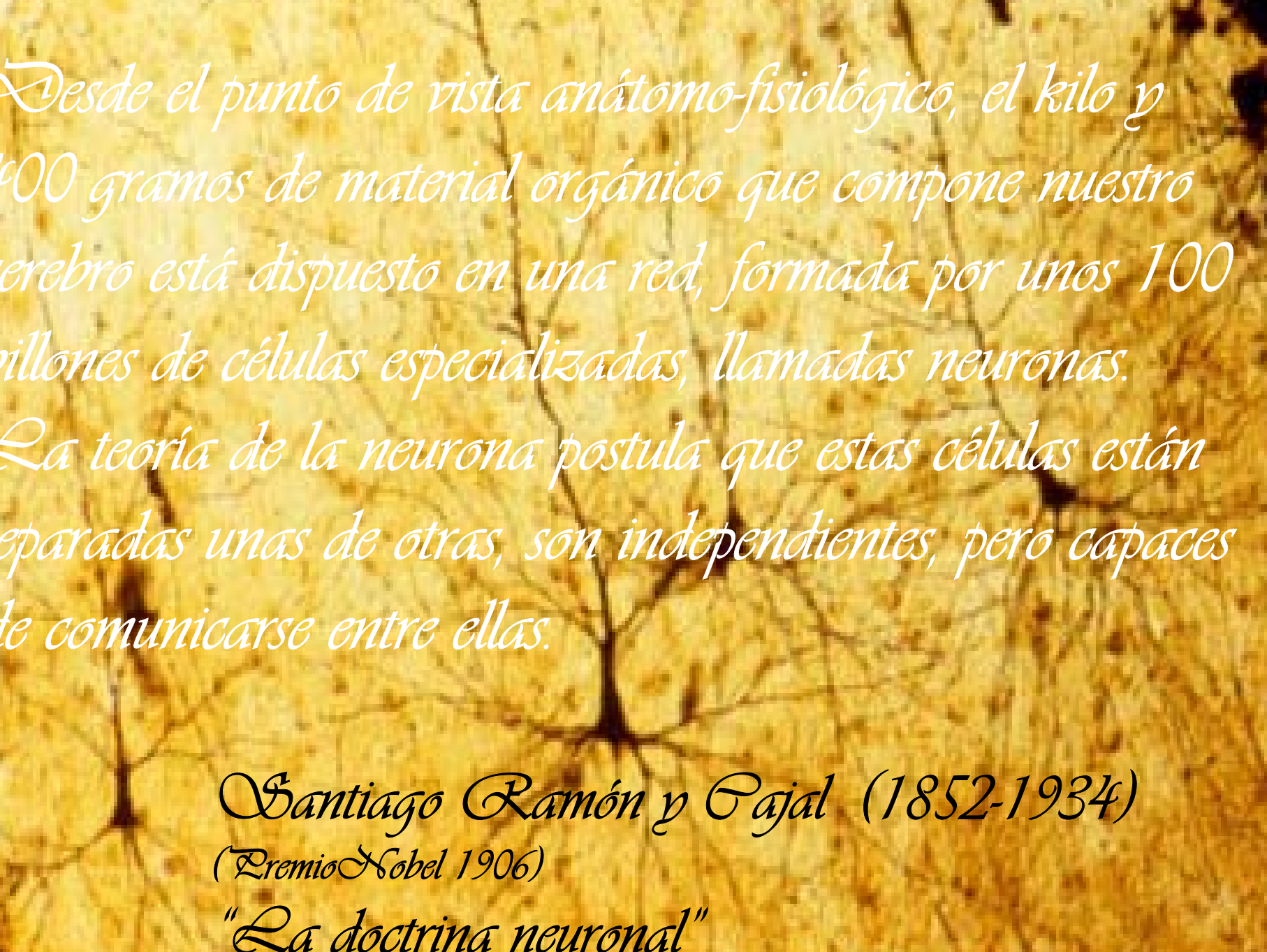


(Churchland & Sejnowski (1992), Trappenberg, 2002).



Doctrina de la neurona

Santiago Ramón y Cajal (Premio Nobel de Medicina y Neurofisiología, 1906)



Desde el punto de vista anátomo-fisiológico, el kilo y 400 gramos de material orgánico que compone nuestro cerebro está dispuesto en una red, formada por unos 100 millones de células especializadas, llamadas neuronas. La teoría de la neurona postula que estas células están separadas unas de otras, son independientes, pero capaces de comunicarse entre ellas.

Santiago Ramón y Cajal (1852-1934)

(Premio Nobel 1906)

"La doctrina neuronal"

Relación

Cerebro \leftrightarrow Red neuronal artificial

El **cerebro** se puede contemplar como un ordenador complejo, no lineal y paralelo que procesa gran cantidad de información. Su capacidad de organizar las neuronas para realizar ciertas computaciones, como el reconocimiento de objetos, en menos de 0.2 segundos, supone una rapidez de cálculo muy superior al ordenador actual más potente.

El cerebro es una red neuronal muy compleja:

10^{12} Neuronas (1 billón)

10^{16} Sinapsis (10.000 sinapsis por neurona)

Redes neuronales artificiales

Modelos simplificados que emulan el funcionamiento del cerebro

Las redes de neuronas artificiales son modelos computacionales **paralelos** que constan de **unidades de proceso** (neuronas) **adaptativas** y **masivamente interconectadas**.

Son, por tanto, procesadores **distribuidos masivamente en paralelo** para almacenar conocimiento experimental y hacerlo disponible para su uso.

2.2 ¿Qué es una Red Neuronal?

Características importantes de las RNAs:

-- **Aprender a través de ejemplos**

-- **No linealidad** → función de activación → capacidad de cómputo

-- **Adaptabilidad**: Modifican sus pesos sinápticos para adaptarse a los cambios del entorno.

-- **Tolerancia a fallos**: Por una parte, si una neurona o un enlace de la red neuronal son dañados, la respuesta de la red probablemente no quedará afectada. Una persona nace con unos 100 billones de neuronas y a partir de los cuarenta años, o antes, se pierden más de 40.000 neuronas diarias, que no son reemplazadas y, sin embargo, continuamos aprendiendo.

Cerebro

vs. Ordenadores



*Procesamiento
de la
información*



Memoria



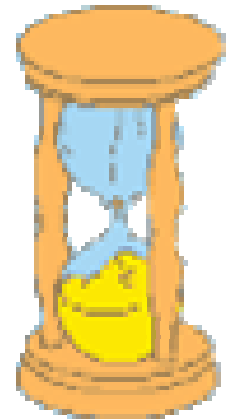
Adaptarse a nuevas tareas



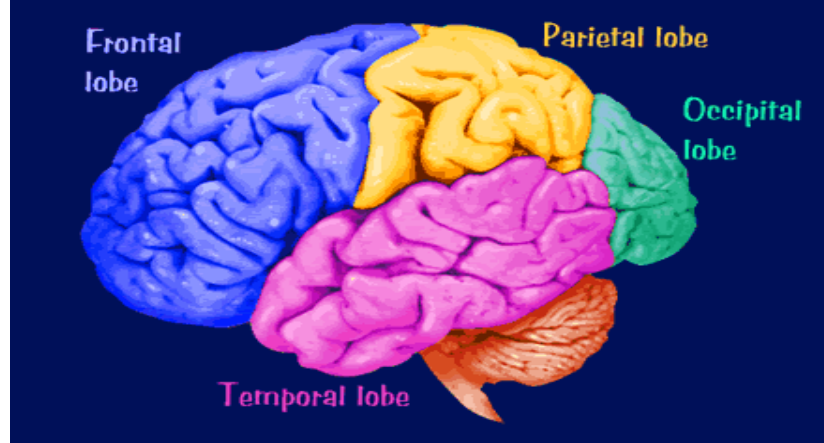
Necesitan energía



Pueden dañarse

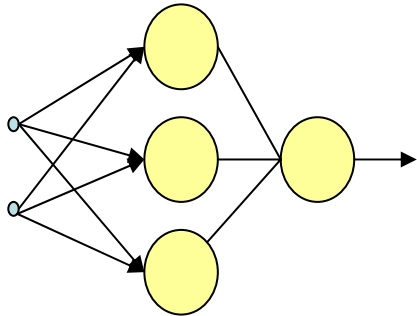
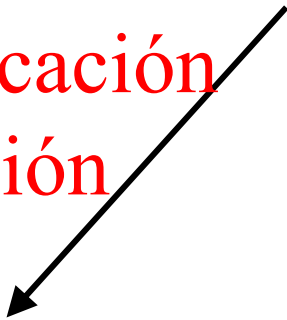


Evolucionan



Cerebro

Simplificación
Motivación

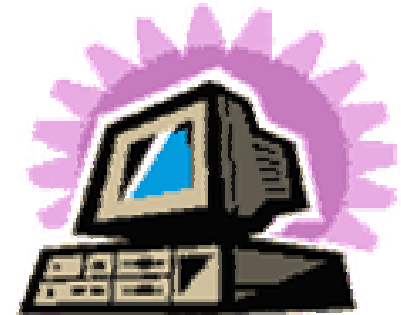


Redes neuronales

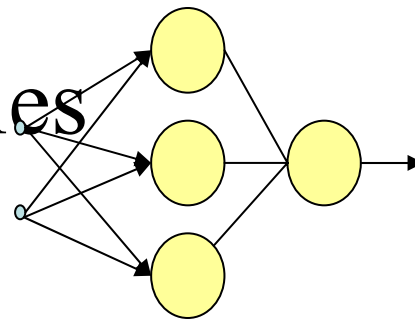
Diferencias y
similitudes



Ordenadores

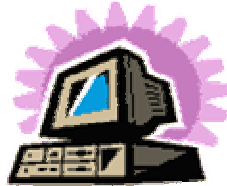


Tanto las redes neuronales



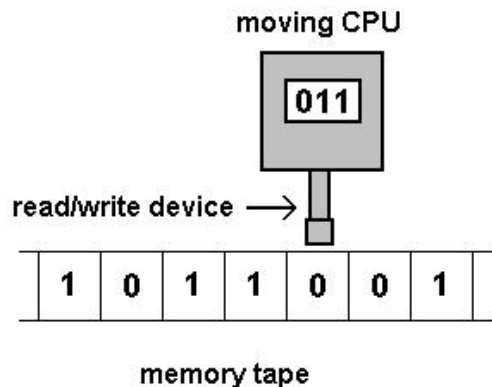
como

las máquinas de
von Neumann



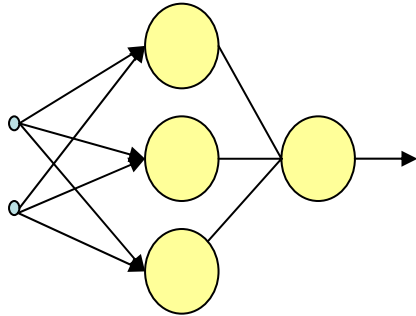
son

Modelos de computación

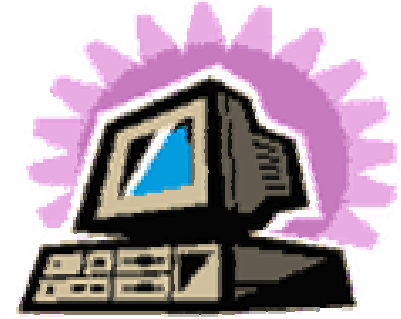


Máquinas de Turing
universales

RNA



Ordenadores



Muchos procesadores

1 CPU

Computación distribuida

Computación en serie

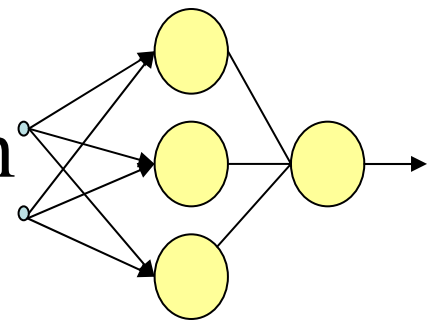
Aprendizaje

Programación

Problemas que no conocemos
una solución algorítmica exacta

Cálculo matemático
algoritmos

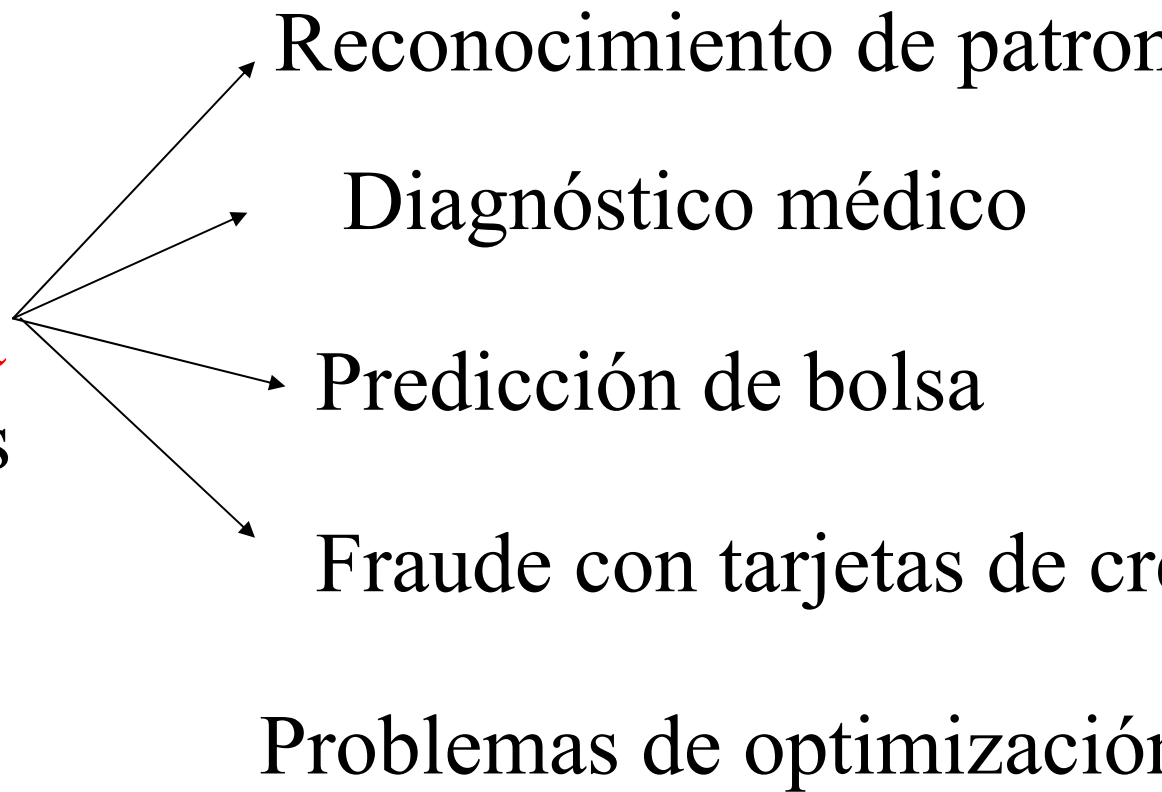
Estudiaremos los problemas que pueden resolverse usando el modelo computacional distribuido de redes neuronales.



El cerebro es mucho más complejo y podríamos estudiar su modelado usando redes neuronales pero nos centraremos en problemas que podemos resolver usando computación distribuida.



Problemas en los que desconocemos la **dinámica interna** pero tenemos datos para entrenar el modelo.



Los ordenadores tradicionales son muy efectivos en problemas en los cuales conocemos el algoritmo.



Sistema inteligente de Diagnóstico médico

Inteligencia artificial tradicional	Redes Neuronales
<p data-bbox="50 669 877 943">Reglas que codifiquen todo el conocimiento de un médico</p> <p data-bbox="32 1190 851 1278">Incorporamos las reglas</p>	<p data-bbox="964 521 1729 683">Entrenar con un conjunto de casos de pacientes →</p> <p data-bbox="964 793 1647 954">Modificación de pesos sinápticos</p> <p data-bbox="1010 1094 1719 1369">Las reglas surgen de acuerdo a los ejemplos</p>

Reseña histórica de la Neurocomputación

Los comienzos (década de los cuarenta)

- Trabajo de **Warren McCulloch** y **Walter Pitts** publicado en 1943 bajo el título:

"A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity"

En este trabajo se muestra que incluso las formas más simples de redes neuronales pueden computar, en principio, funciones aritméticas y lógicas.

MODELO DE NEURONA SIMPLE : suma de entradas con umbral

- En 1949, **Donald Hebb**, psicólogo canadiense:

"The Organization of Behavior"

donde se propone la primera **ley de aprendizaje** para las redes de neuronas artificiales, conocida como

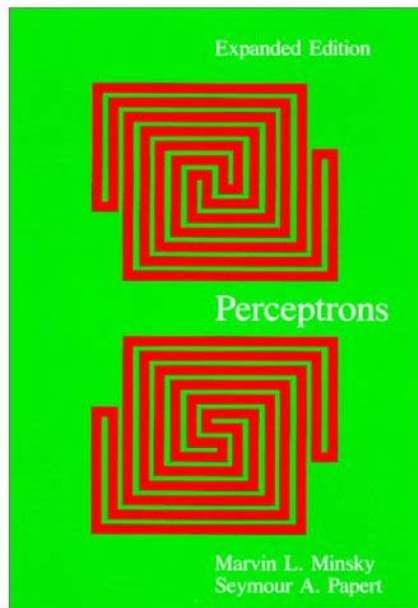
REGLA de HEBB.

Reseña histórica de la Neurocomputación

La primera edad de oro (Décadas de los cincuenta y sesenta)

- En 1962, **Frank Rosenblatt** introdujo y desarrolló una amplia gama de redes neuronales artificiales llamadas **perceptrones** que en principio crearon bastante entusiasmo. La **regla de aprendizaje del perceptrón** utiliza un ajuste iterativo de pesos cuando la respuesta de la unidad es incorrecta, que es más potente que la regla de Hebb.
- Ya en 1960, **Bernard Widrow** y su alumno **Marcian Hoff** desarrollaron una **regla de aprendizaje** que es muy parecida a la regla de aprendizaje del perceptrón y que es la precursora de la regla de retropropagación para redes multicapa.

En 1969, Marvin Minsky y Seymour Papert, en su libro titulado "*Perceptrons*", mostraron las limitaciones del perceptrón (con una sola capa) para aprender funciones de índole general.



Las conclusiones de este libro frenaron la investigación en redes neuronales debido a la falta de financiación a proyectos basados en estos modelos.

Breve reseña histórica de la Neurocomputación

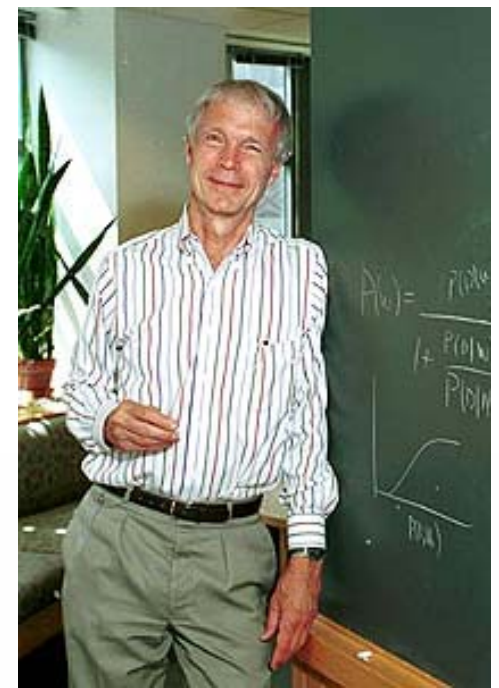
Los años tranquilos (década de los setenta)

Los trabajos tempranos de **Teuvo Kohonen** (1972) de la Universidad de Tecnología de Helsinki desarrollaron las redes neuronales de **memoria asociativa**. Así mismo, **James Anderson** (1968, 1972), de la Universidad de Brown, comenzó su investigación en las **redes de memoria asociativa**. Hay que destacar también, los trabajos de **Stephen Grossberg** (director del Center for Adaptive Systems de la Universidad de Boston) y sus muchos colaboradores, como **Gail Carpenter**, con quien desarrolló una **teoría de redes neuronales autoorganizadas**, llamada teoría de **resonancia adaptativa** (1985, 1987 y 1990).

El Modelo de Hopfield

MEMORIA ASOCIATIVA

Proc. Natl. Acad. Sci. USA
Vol. 79, pp. 2554–2558, April 1982
Biophysics



John Hopfield

Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities

(associative memory/parallel processing/categorization/content-addressable memory/fail-soft devices)

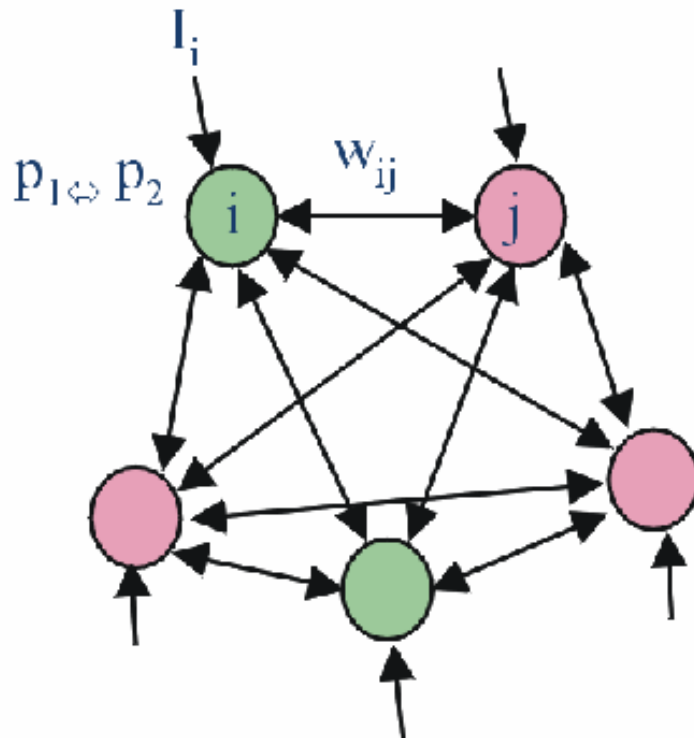
J. HOPFIELD

Division of Chemistry and Biology, California Institute of Technology, Pasadena, California 91125; and Bell Laboratories, Murray Hill, New Jersey 07974

Contributed by John J. Hopfield, January 15, 1982

Red de Hopfield

Red neuronal totalmente conectada auto-asociativa



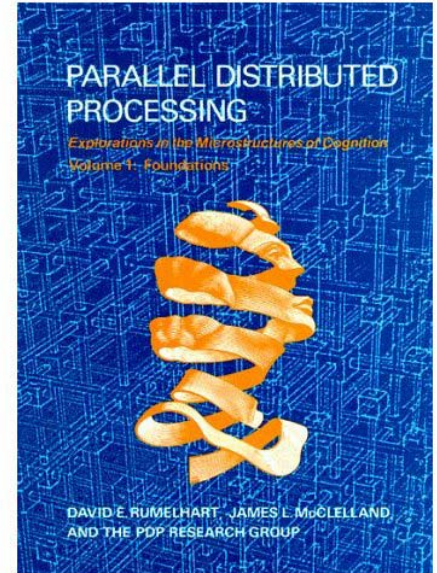
**Permite almacenar información y
Recuperarla cuando se presenta sólo
Una parte de la información guardada**

Breve reseña histórica de la Neurocomputación

La publicación en 1986 de los dos volúmenes titulados:

"Parallel Distributed Processing"

editados por los psicólogos **David Rumelhart** de la Universidad de California (en San Diego) y **James McClelland** de la Universidad de Carnegie-Mellon, produjo una gran explosión en este campo. En ellos se recoge un método general efectivo de entrenamiento de una red neuronal multicapa (***la regla Delta generalizada***) que permite resolver, entre otros, el problema XOR.



Breve reseña histórica de la Neurocomputación

En 1987 se celebró en San Diego la primera conferencia abierta sobre redes neuronales (**IEEE International Conference on Neural Networks**), con más de 1700 participantes, y se formó la **International Neural Network Society** (INNS).

En 1988 nace la revista ***Neural Networks***; le sigue la revista ***Neural Computation*** en 1989 y la ***IEEE Transaction on Neural Networks*** en 1990. Posteriormente han ido apareciendo otras muchas y se han creado Institutos de Investigación y programas de formación en Neurocomputación.

Otra razón del creciente interés por la redes neuronales es la mejora en la capacidad de computación. Para ello se han desarrollado **redes neuronales ópticas** e **implementaciones VLSI**. El progreso de la neurocomputación va emparejado con el progreso en el diseño de neurocomputadores.

Cronología:

- 1948** Modelo simple de neurona - McCulloch-Pitts
- 1949** Regla de aprendizaje de Hebb
- 1962** Perceptron introducido por Rosenblatt
- 1969** Limitaciones del perceptron - Libro de Minsky & Papert
- 1982** Modelo de memoria asociativa - Red de Hopfield
- 1986** PDP Algoritmos de procesamiento paralelo - Retropropagación

1995 -- Coexisten dos áreas

Neurociencia computacional
(modelar el comportamiento del cerebro)

Aplicaciones a la ingeniería (centrado en aplicaciones sin necesario fundamento biológico)

Redes neuronales artificiales

Las redes de neuronas artificiales son **modelos computacionales**.

Modelos simplificados que **emulan el funcionamiento del cerebro**

Operan masivamente **en paralelo** para almacenar conocimiento experimental y hacerlo disponible para su uso en diversos