



# C261-69 Tópicos Avanzados: Redes Neuronales Artificiales

*Dra. Ma. del Pilar Gómez Gil*  
*Primavera 2010*  
*[pgomez@acm.org](mailto:pgomez@acm.org)*



# Objetivo del curso

Introducir a estudiantes de postgrado en los tópicos fundamentales de las Redes Neuronales Artificiales (RNA) y desarrollar habilidades para su uso en la solución de problemas.

# Página de recursos del curso:

<http://ccc.inaoep.mx/~pgomez/cursos/redes%20neuronales%20artificiales/>



Dr. Haykin and Dr. Gómez-Gil at MICA 2008 México

# Redes Neuronales Artificiales...

- están inspiradas en las neuronas biológicas
- tienen habilidades de aprendizaje automático, generalización y abstracción.
- Con estos modelos pueden resolverse una gran variedad de problemas de reconocimiento, aproximación, predicción, clasificación, optimización etc.

# Objetivos específicos del curso

- Conocer los conceptos fundamentales de las RNA y brevemente su historia.
- Identificar las situaciones donde las soluciones basadas en modelos de RNA son factibles.
- Entender el funcionamiento de las arquitecturas mas populares de RNA
- Dominar detalladamente la aplicación del modelo de aprendizaje de retro-propagación y SOFM
- Conocer un modelo recurrente básico de RNA manejado a través del algoritmo de aprendizaje de retro-propagación a través del tiempo, sus aplicaciones y limitaciones.
- Conocer aplicaciones actuales de los modelos estudiados
- Conocer y comentar de manera general otros modelos de RNA y sus posibles aplicaciones en reconocimiento de patrones y predicción.



# **Las RNA forman parte del campo conocido como *Inteligencia Computacional***

# Que es “inteligencia”?

- Según el diccionario Merriam-Webster:
  - “Es la habilidad de aprender ó entender ó enfrentar nuevas situaciones;
  - Es la habilidad de aplicar conocimiento para manipular el medio ambiente ;
  - Es la habilidad de pensar de manera abstracta; puede medirse con criterios objetivos obtenidos de pruebas :



# **Qué es Inteligencia Computacional?**



## Menu

### About CIS

- Welcome from the Past President
- Scope
- Constitution
- Bylaws
- ADCOM Meeting Minutes
- Officers (EXCOM)
- ADCOM Members
- Standing Committee Chairs
- Constitution and Bylaws Committee

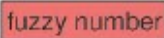
### Membership Benefits

## IEEE CIS > About CIS

### Scope

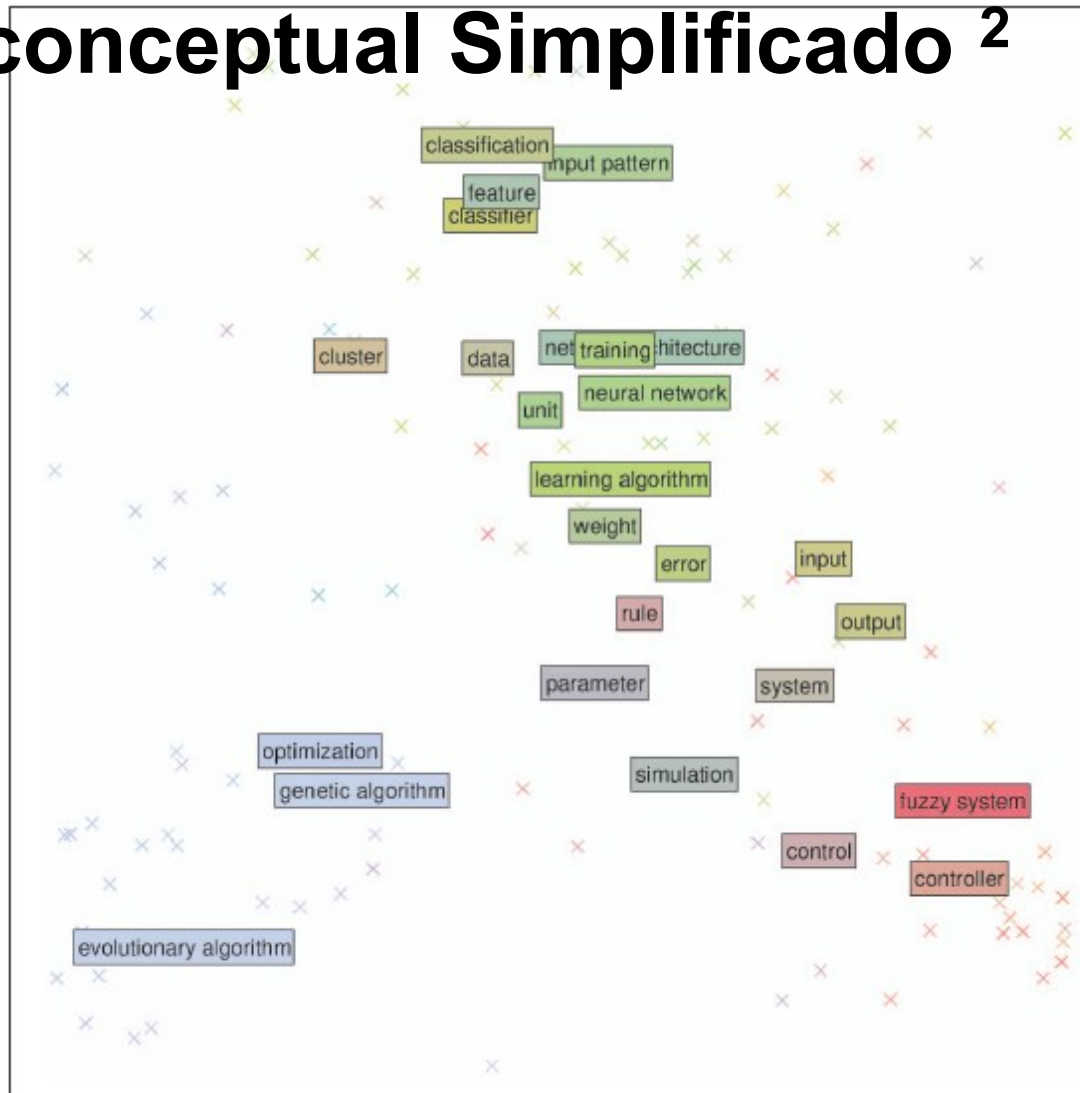
The Field of Interest of the Society shall be the theory, design, application, and development of biologically and linguistically motivated computational paradigms emphasizing neural networks, connectionist systems, genetic algorithms, evolutionary programming, fuzzy systems, and hybrid intelligent systems in which these paradigms are contained.

image processing



2. Eck, J. et al. "Visualizing the Computational Intelligence field." IEEE Computational Intelligence Magazine Nov. 2006.

# Mapa conceptual Simplificado <sup>2</sup>



**FIGURE 6** Simplified concept map of the CI field in 2006.

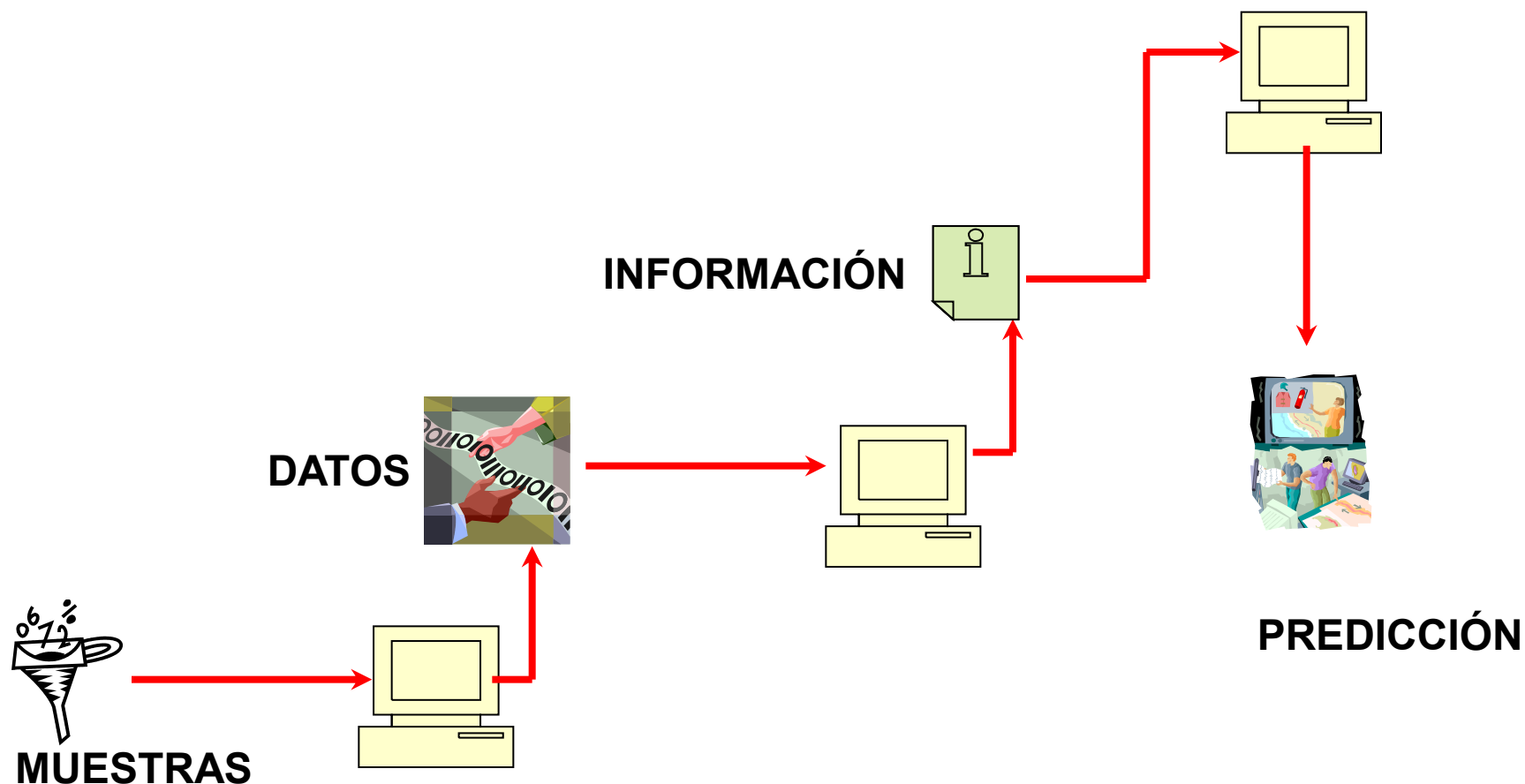


# La Computación “Convencional”

## PASOS PARA LA SOLUCION DE PROBLEMAS EN COMPUTADORA

1. Desarrollo de una formulación matemática.
2. Desarrollo de un algoritmo para implementar la solución matemática.
3. Codificación del algoritmo en un lenguaje específico.
4. Ejecución del código.

# Estados del procesamiento computacional



# Operaciones típicas de la computación convencional (1/3)

## ■ Procesamiento de señales

- ☐ Supresión de ruido.
- ☐ Transformación
- ☐ Filtrado.
- ☐ Extracción de características.

# Operaciones típicas de la computación convencional (2/3)

## ■ Procesamiento de Datos

- ☐ Aproximación numérica.
- ☐ Determinación de modelos.
- ☐ Producción numérica
- ☐ Ordenamiento.

# Operaciones típicas de la computación convencional (3/3)

## ■ Procesamiento de Conocimiento

- ☐ Identificación
- ☐ Entendimiento de escenas
- ☐ Razonamiento
- ☐ Predicción



# Éxitos de la Computación Convencional

- Muy eficiente en la solución a problemas matemáticos complejos y de simulación.
- Muy eficiente realizando tareas repetitivas y bien definidas.



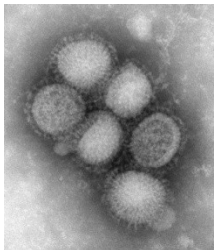
# Fracasos de la Computación Convencional

- Muy ineficiente resolviendo problemas de reconocimiento, tales como:
  - Reconocimiento de imágenes
  - Reconocimiento de voz
- Muy ineficiente con adaptación y aprendizaje.
- Muy ineficiente con problemas de percepción.

# Algunas Características de los Sistemas Biológicos



- Aún los organismos mas primitivos tienen herramientas sofisticadas de **PERCEPCION**.
- Muestran gran capacidad de **ADAPTACIÓN** y **APRENDIZAJE**.
- Pueden conseguir éxito aún con dispositivos bastante lentos (con un tiempo de respuesta en décimas de milisegundos) poco exactos o a veces, incluso si están dañados.





# Conclusión 1.

Los seres humanos no tienen mucho éxito  
en tareas que las computadoras  
convencionales realizan excelentemente,  
y viceversa.

# Características de la Computación Biológica

- Masivamente paralela
- Altamente interconectada
- Tolerante al ruido en el medio ambiente y en sus componentes
- Gran variabilidad y especialización en sus componentes.
- Adaptable al medio
- Lenta
- Baja en precisión
- Desarrollo evolutivo hacia sistemas más complejos





# Conclusión 2

Los sistemas biológicos utilizan estrategias de procesamiento muy diferentes a los sistemas de cómputo convencionales.

# Existen los sistemas adaptivos inteligentes (**Smart Adaptive Systems**)? [Gabrys 2005]

- Actualmente hay muchos intentos prometedores usando RNA, sistemas difusos, métodos de aprendizaje de máquina y teoría de aprendizaje y computación evolutiva, útiles cuando pueden recolectarse datos de entrada/salida
- A estas técnicas se les conoce como “cómputo suave”

# Niveles de adaptación de un SAS [Gabrys 2005]

1. Adaptación a un medio ambiente cambiante. El sistema se adapta a cambios suaves en el medio ambiente. Ejemplo, sistemas de preferencias de clientes en comercio electrónico.
2. Adaptación sin una guía explícita. El medio ambiente cambia en sí mismo, mas que sus características. Ejemplo, el sistema tiene que transferirse a otra planta, sin necesidad de definir explícitamente parámetros.
3. Adaptación a aplicaciones nuevas/desconocidas. (Problema abierto). Empezando con información muy limitada, es posible construir al sistema a través de aprendizaje incremental.





# Requerimientos de los SAS

[Kasabov 2002]

1. Deben tener estructuras abiertas, extendibles y ajustables
2. Deben adaptarse en línea, de forma incremental y durante toda su vida, de manera que nuevos datos son usados tan pronto como estén disponibles
3. Deben aprender rápido, de una gran cantidad de datos, idealmente en modo de “un solo paso”

# Requerimientos de los SAS

[Kasabov 2002]

4. Un SAS deberá tener una memoria capaz de añadir, consultar o eliminar piezas individuales de datos e información.
5. Un SAS deberá ser capaz de mejorar su desempeño, a través de interactuar con otros sistemas y con el medio ambiente, de una manera jerárquica y modular.
6. Un SAS deberá representar adecuadamente el tiempo y el espacio en diferentes escalas, memoria de corto y largo plazo, edad etc.
7. Un SAS deberá ser capaz de auto-mejorarse, analizar su propio desempeño y explicar que ha aprendido acerca de un problema que esté resolviendo

# Que Son las Redes Neuronales Artificiales?

Las Redes Neuronales Artificiales (R.N.A.) son modelos matemáticos inspirados en sistemas biológicos, adaptados y simulados en computadoras convencionales.

Los elementos que las conforman se asemejan a las neuronas biológicas.

[Wasserman 89]

# Una definición mas amplia de Redes Neuronales Artificiales...

- “Una red neuronal es un procesador masivamente paralelo y distribuido hecho de unidades procesadoras simples, las cuales son de manera natural propensas a almacenar conocimiento adquirido de la experiencia y hacerlo útil. Se parece al cerebro en dos aspectos:
  1. La red neuronal adquiere el conocimiento del medio ambiente, a través de un proceso de aprendizaje
  2. La fuerza de conexión entre los neurones, conocida como los pesos sinápticos, se utiliza para almacenar el conocimiento adquirido ” [Haykin 1999]



# Componentes básicos de las RNA

1. Elementos de procesamiento: Neuronas
2. Regla de activación de los elementos.
3. Topología de interacción entre los elementos de procesamiento.
4. Regla de propagación a través de las conexiones.
5. Regla de aprendizaje.
6. Medio ambiente en el que el sistema opera.

# Características Principales de Las RNA



**1. APRENDIZAJE.** Una red neuronal puede modificar su comportamiento en respuesta al medio ambiente.

**2. GENERALIZACION.** Una vez entrenada, la red neuronal puede ser insensible a cambios en sus entradas.

**3. ABSTRACCION.** Una red neuronal puede determinar la esencia o características principales de un conjunto de datos.

# OTROS NOMBRES DE LAS R.N.A.

- Modelos Conexionistas (Connectionist Models)
- Procesamiento distribuído en paralelo (Parallel Distributed Processing)
- Sistemas neuronales artificiales (Artificial Neural Systems or ANS)

# Ejemplos de Profesionales Involucrados con RNA

- Biólogos
- Psicólogos
- Ingenieros Electrónicos
- Ingenieros Civiles
- Fisiólogos
- Computólogos
- Matemáticos
- Etc.



# Asociaciones Importantes Relacionadas a RNA

- IEEE Computational Intelligence:  
<http://ieee-cis.org/>
- Capítulo México de la IEEE-CIS  
<http://www.hafsamx.org/cis-chmexico/>
- Neural Networks Society  
<http://www.inns.org/>
- Sociedades de Reconocimiento de Patrones,  
Control, Visión, etc.

# Miembros de la IEEE-CIS México con el Prof. Zurada (Oct. 2006)



# Miembros de la IEEE-CIS México en el WCCI 2006



# EVENTOS HISTORICOS IMPORTANTES

- **1943. W. McCulloch y W. Pitts** publican "*A Logical Calculus of the ideas imminent in nervous activity*" in Bulletin of Mathematical Biophysics, 5: 115-33.
- **1949. D. O. Hebb** publica el libro "Organization of Behavior" New York: Science Editions. La ley de aprendizaje especificada por Hebb ha sido la base para los algoritmos de entrenamiento de R.N.A.
- Entre los años **50's y 60's** un grupo de investigadores producen las primeras redes neuronales artificiales, implementadas con circuitos electrónicos. Entre ellos están **Marvin Minsky, Frank Rosenblatt y Bernanrd Widrow**.
- **1962. F. Rosenblatt** publica el libro "Principles of neurodynamics". New York: Spartan Books, presentando las bases del perceptrón.

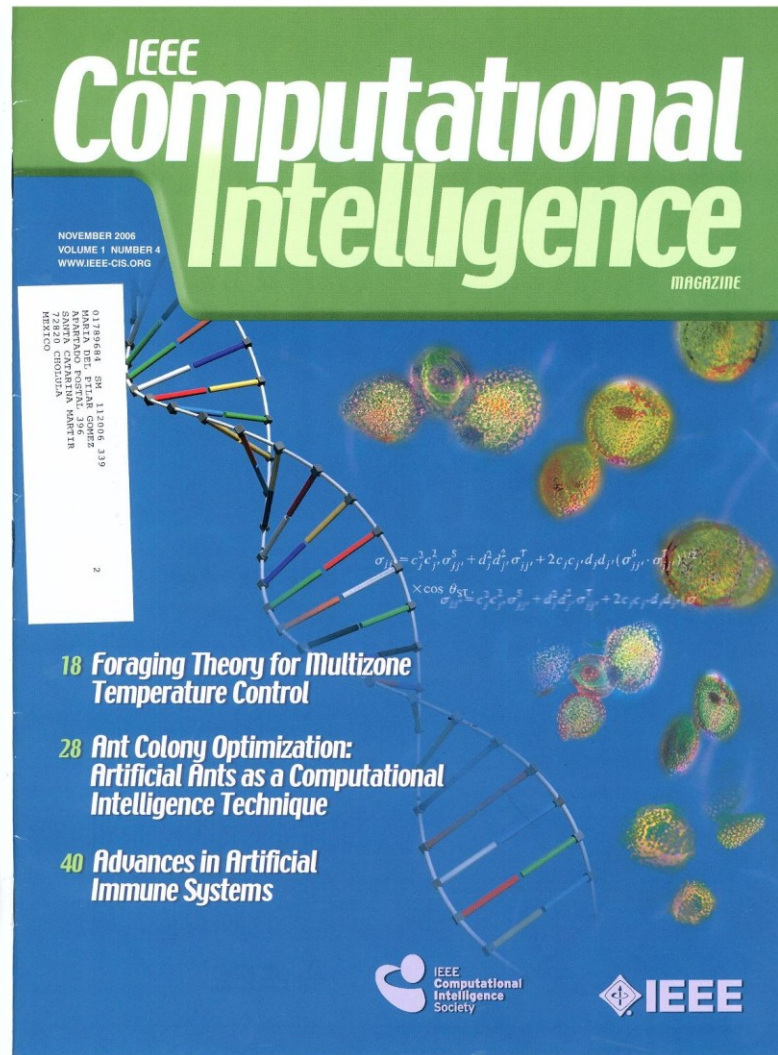
# EVENTOS HISTORICOS IMPORTANTES

## (2)

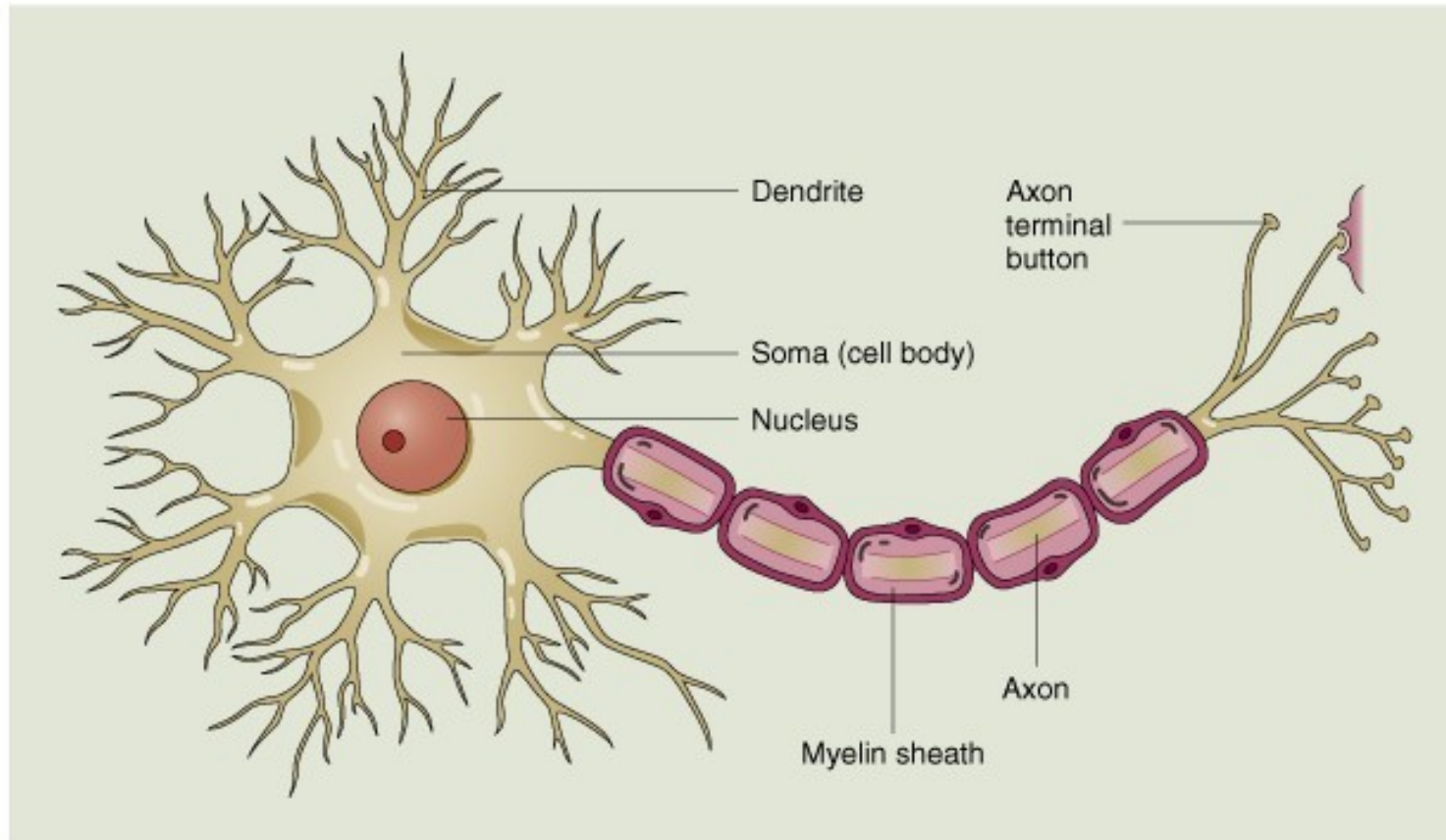
- **1969. M. Minsky y S. Papert** publican "Perceptrons" Cambridge, MA: MIT Press. En este libro muestran que el perceptrón es teóricamente incapaz de resolver problemas muy simples. Se crea una fuerte desmotivación en la investigación del área.
- **1986. D. E. Rumelhart, G. E. Hinton y R. J. Williams** publican "*Learning internal representations by error propagation*", en Parallel Distributed Processing, Vol I, pp 318-62. Cambridge MA: MIT Press. Aquí presentan uno de los primeros algoritmos para entrenar redes neuronales de varios niveles, destruyendo el mito de Minsky y haciendo resurgir la investigación en el área de R.N.A.
- ... Cientos de modelos y aplicaciones han surgido desde entonces....



# Revista IEEE Computational Intelligence



# La Neurona Biológica



© 2000 John Wiley & Sons, Inc.

# El Cerebro Humano

- Contiene más de 100 billones de elementos de proceso llamados neuronas,
- Contiene cerca de 100 trillones de conexiones llamadas *sinapsis*
- Es el mayor consumidor de energía del cuerpo humano. Siendo el 2% de la masa total del cuerpo, consume más del 20% del oxígeno.



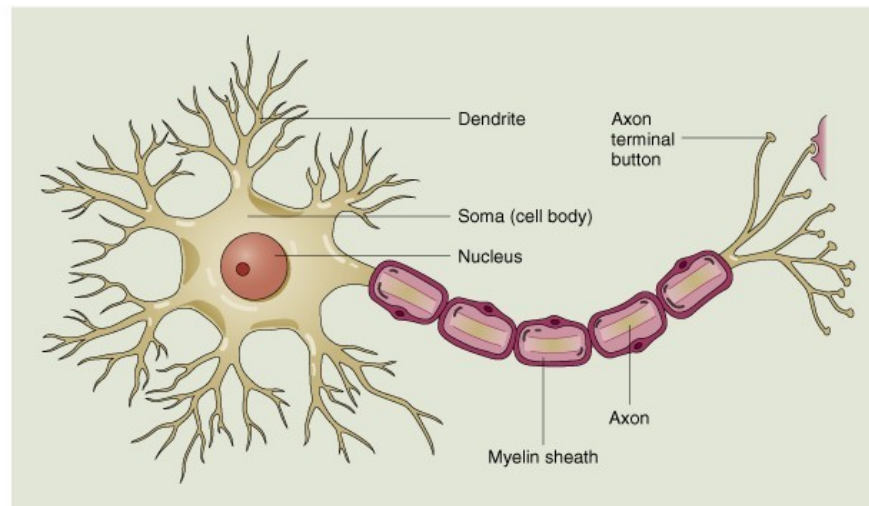


# Características de una neurona

- Dependiendo de la región del cerebro y su función, su diámetro va de una décima a una centésima de milímetro (10 – 100  $\mu\text{m}$ )
- Está formada de 3 partes principales:
  - Dendritas
  - Axon
  - Cuerpo

# Dentritas

- Reciben señales de otras células en puntos de conexión llamados sinapsis. Las señales se pasan al cuerpo de la célula, donde son "promediadas" con otras señales.



© 2000 John Wiley & Sons, Inc.

# Axón y Cuerpo

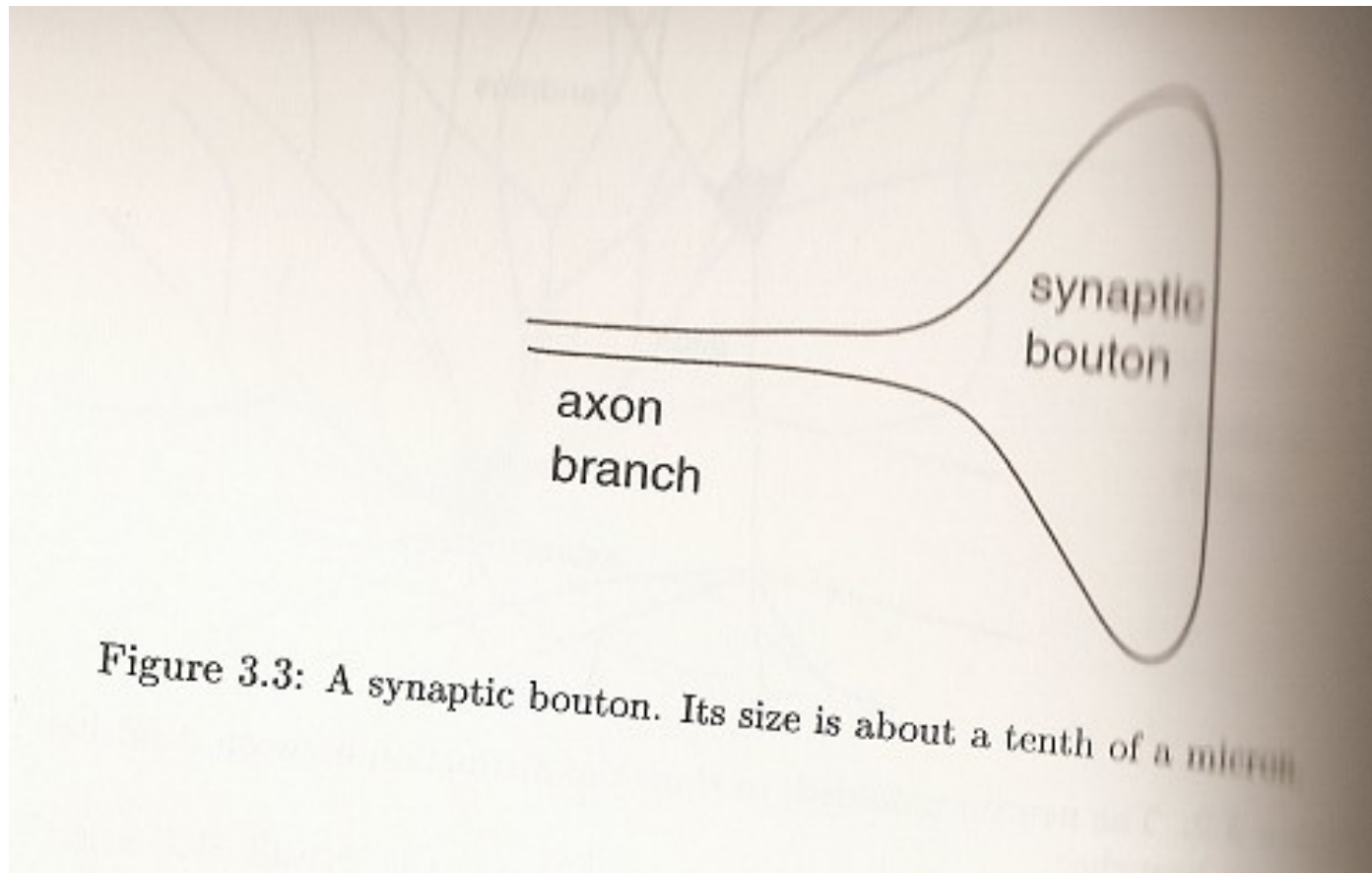
## ■ Axón.

- Manda pulsos a otras células en caso de que el promedio obtenido en el cuerpo de la célula sea suficientemente grande por determinado tiempo.
- El axón tiene en la punta ramificaciones, cada una de las cuales termina con un botón sináptico ( o sinapsis) el cual se usa para transmitir información de un neurón a otro .
- El axón puede medir desde menos de un milímetro hasta un metro.

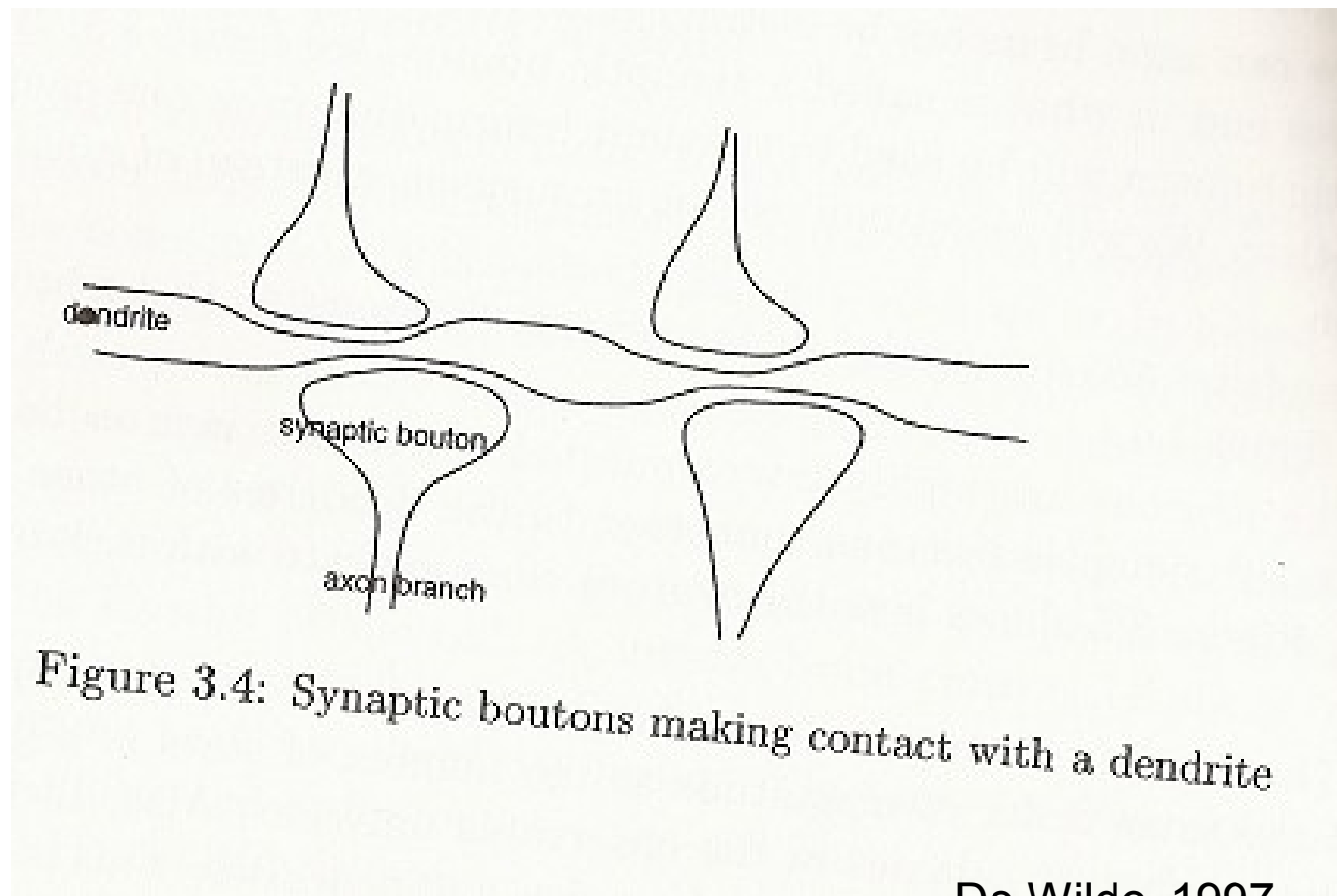
## ■ Cuerpo.

- Es una fábrica química capaz de procesar y emitir señales, controlar la energía del neurón, realizar actividades de mantenimiento, etc.

# Un botón sináptico



# Botones sinápticos



# Interconectividad

- Los neurones están altamente interconectados, teniendo alrededor de  $10^4$  botones sinápticos conectados a las dendritas de otros neurones.
- La conectividad de las neuronas, más que su complejidad funcional, es lo que le da al cerebro su **capacidad** de procesamiento

# Algunos Ejemplos de Aplicaciones de RNA

- Reconocimiento de caracteres manuscritos, impresos, de font antiguo, etc. .
- Construcción de Memorias asociativas.
- Reconocimiento de voz
- Control de robots
- Toma de decisiones administrativas, financieras etc.
- Reconocimiento de enfermedades
- Reconocimiento de señales de radio
- Predicción de Señales y series de tiempo Caóticas
- Generación de reglas para sistemas expertos
- Aplicaciones en economía para predicción
- Aplicaciones en geología, meteorología, astronomía
- Aplicaciones en ....

# ALCANCES Y LIMITACIONES DE LAS RNA

- Las R.N.A. no son la solución de todos los problemas, sino solo de aquellos en los que "las reglas de solución" no son conocidas, y existen suficientes datos ejemplos que permitan a la red aprender.
- Las R.N.A. son hasta cierto punto impredecibles.
- Las R.N.A. no pueden explicar como resuelven un problema. La representación interna generada puede ser demasiado compleja para ser analizada, aún y en los casos más sencillos.

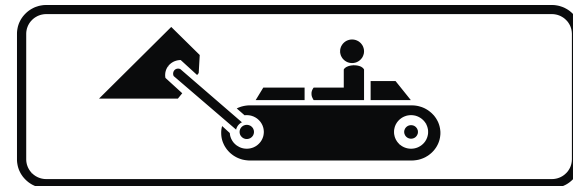


# Resumen de los Beneficios de los Sistemas Neuronales Artificiales [Haykin 1994]

1. Son sistemas no lineales
2. Son capaces de hacer un mapeo entre entradas y salidas
3. Son adaptables
4. Pueden dar información sobre la confiabilidad de sus respuestas
5. Pueden dar información sobre el “contexto” de la selección
6. Son tolerantes a fallas
7. Son implementables en VLSI
8. Son universales en cuanto a su análisis y diseño
9. Presentan analogías con los sistemas biológicos

# Una solución basada en RNA vale la pena si...

- Las reglas de decisión de la solución no se conocen explícitamente
- Hay una gran cantidad de datos que representan al problema...



# Bibliografía

- Bell, T. E. "Games Engineers Play" The Institute IEEE. Sept. 2006. Vol 30, No. 3 [www.ieee.org/theinstitute](http://www.ieee.org/theinstitute)
- De Wilde, Philippe. Neural Network Models. Second Edition. Springer. 1997
- Eck, J. et al. "Visualizing the Computational Intelligence field." IEEE. Computational Intelligence Magazine Nov. 2006.
- Gabrys, B. *Do Smart systems exists? – Introduction. StudFuzz 173, 1-17, 2005. Springer-Verlag.*
- Kasabov, N. *Evolving connectionist systems – methods and applications in bioinformatics, brain study and intelligent machines*, Springer Verlag, London-New York, 2002.
- S. Haykin. Neural Networks, A comprehensive Foundation. MacMillan College Publishing Company. 1999
- Wasserman 99. Artificial Neural Networks.