

Sistemas Complejos y Redes Neuronales Artificiales



III Jornadas Internacionales de Salud Pública

[21 de noviembre de 2007]

Taller de Salud Comunitaria, Población y Vivienda

Escuela de Salud Pública – Facultad de Ciencias Médicas
Universidad Nacional de Córdoba



UTN - Córdoba

Convenio de Transferencia Proyecto RNA-AC >> IIGHI-CONICET
Noviembre 2007 - Juan C. Vázquez

Sistema

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

La **Teoría General de Sistemas**, propuesta por el biólogo austriaco Ludwig von Bertalanffy a mediados del siglo XX, es un esfuerzo interdisciplinario que busca detectar principios generales aplicables a sistemas disímiles (una metateoría), que permitan formalizar su descripción y modelarlos para su estudio y para la comprensión de su evolución.



Sistema

- Sistema
 - Sistema dinámico
 - Sistema complejo
 - Autómata celular
 - Red neuronal art.
 - Modelo de Riesgo
 - Variables difusas
 - Epílogo
- Un **sistema** es una colección de elementos interrelacionados que interactúan, logrando un determinado comportamiento.
 - El sistema forma así un **TODO** al que se le puede atribuir un **estado** en el tiempo, el cual dependerá del comportamiento de sus partes y de cómo éstas se vinculan entre sí.



Sistema

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- Si el estado del sistema es invariante en el tiempo, decimos que el sistema es **estático**.
- Si el estado del sistema cambia con el transcurso del tiempo, hablamos de un sistema **dinámico**.



Sistema Dinámico

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- Los sistemas dinámicos pueden clasificarse según la granularidad de sus variables en:

- **Discretos:** tiempo a tramos y variables de estado discretas, suelen representarse por relaciones recursivas.

$$a_{t+1} = 2 \cdot a_t$$

- **Continuos:** tiempo continuo, en física e ingeniería suelen representarse utilizando ecuaciones diferenciales.

$$\partial x / \partial t = -k \cdot x$$



Sistema Dinámico

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- Por otro lado, según su comportamiento (y el tipo de ecuaciones que los describen), pueden ser:
 - **Lineales:** las respuestas del sistema son proporcionales a los estímulos que recibe.
 - . Aditividad: $f(x + y) = f(x) + f(y)$
 - . Homogeneidad: $f(a \cdot x) = a \cdot f(x)$
 - **No lineales:** el estado depende del tiempo y de anteriores estados en forma complicada, no aplicándose el *principio de superposición*.



Sistema Dinámico

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- Finalmente si el sistema dinámico es no lineal, ya sea discreto o continuo, podemos clasificarlo como:
 - **Complicado**: si estudiando en profundidad cada una de las partes, puede entenderse el sistema completo.
 - **Complejo**: si no basta con conocer el comportamiento de las partes para entender y predecir el comportamiento del sistema como un todo (*la sinergia de Bertalanffy*)



Sistema Complejo

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- Un **sistema complejo** es una colección de elementos interrelacionados que interactúan entre sí con una **dinámica no lineal**, cuyos vínculos contienen **información adicional** y oculta al observador.
- Como resultado de las interacciones entre las partes, surgen propiedades nuevas que no pueden ser explicadas a partir de las propiedades y estados de los elementos aislados: **propiedades emergentes**.



Sistema Complejo

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- **El todo es más que la suma de las partes**
Esta es la llamada concepción holística: la información contenida en el sistema es superior a la suma de las informaciones contenidas en cada uno de los elementos considerados en forma aislada.
- **Comportamiento difícil de predecir**
Su evolución en el tiempo sólo puede ser aproximada en cortos lapsos y se vuelve impredecible a medida que el tiempo pasa.
- **Sistemas fuera de equilibrio - autoorganizados**
Necesitan aporte de energía del exterior y realimentación para mantener su organización.
- **Interacciones regidas por ecuaciones no lineales**
El comportamiento global presenta fuerte dependencia de las condiciones iniciales.
- **Sistemas abiertos y disipativos. Sistemas adaptativos.**



Sistema Complejo

Son ejemplos de sistemas complejos:

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- El tiempo atmosférico (clima)
- Ecosistemas
- Seres vivos
- Las sociedades
- Las organizaciones
- Las ciudades
- El software
- La conciencia

- Los sistemas lineales son la excepción, no la regla en la naturaleza !!!



Sistema Complejo

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

Algunas representaciones de los sistemas complejos:

– Ecuaciones diferenciales:

$$\begin{cases} \partial x / \partial t = -a.x + a.y \\ \partial y / \partial t = b.x - y - z.x \\ \partial z / \partial t = -c.z + x.y \end{cases}$$

– Diagramas de variables de estado vs. tiempo

Diagrama de evolución de cada variable de estado respecto del tiempo $[x(t), y(t), z(t)]$

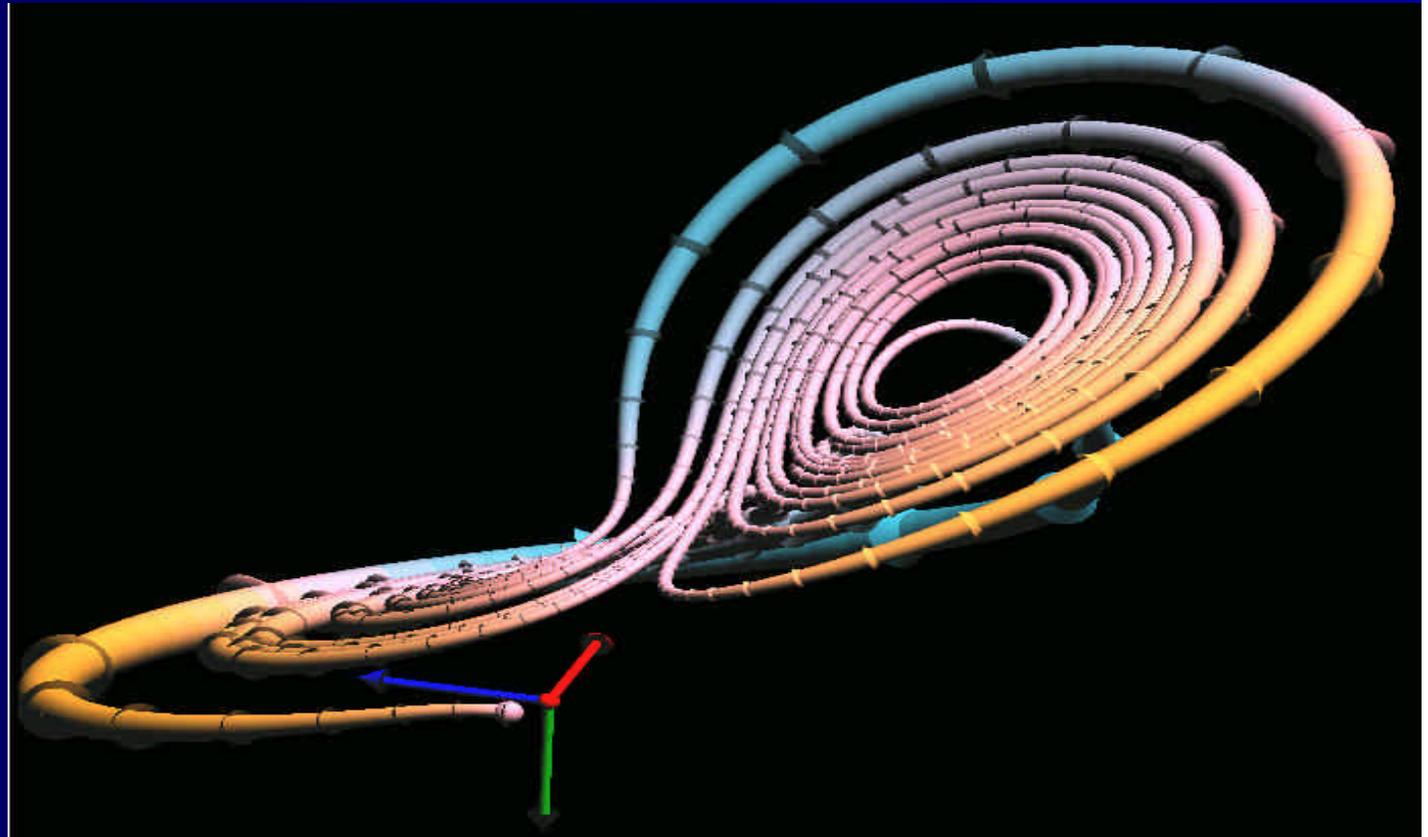
– Diagramas de estado-fase

Diagrama de cómo varían entre ellas las variables de estado, muestran rasgos estructurales del sistema.



Sistema Complejo

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo



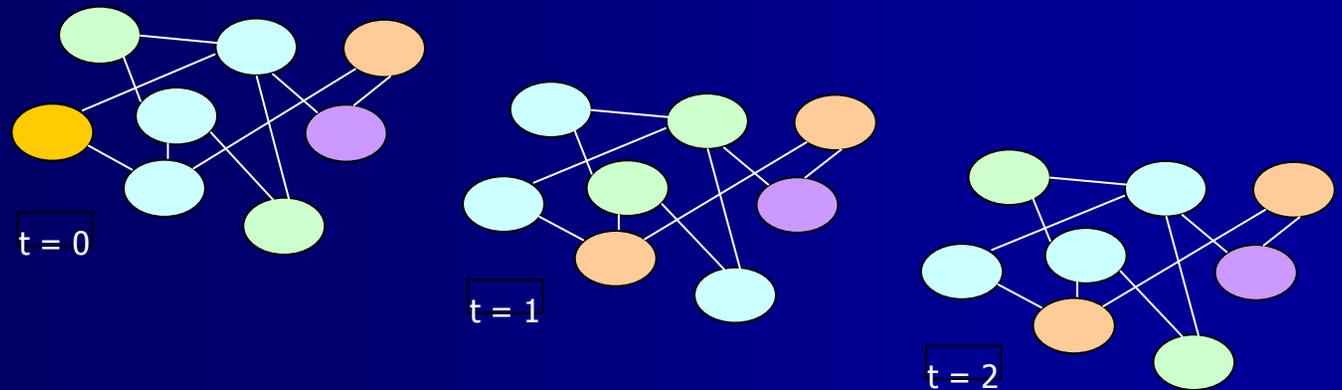
Atractor de Lorenz graficado por G. Ramoscelli y C. Delrieux del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional del Sur



Autómata celular

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- Un **autómata celular** es una colección de celdas colindantes capaces de asumir uno de un número finito k de estados distintos. En cada instante de tiempo discreto t las celdas transitan a nuevos estados determinados sólo por el estado de sus r celdas vecinas y una **regla** de combinación de los mismos.



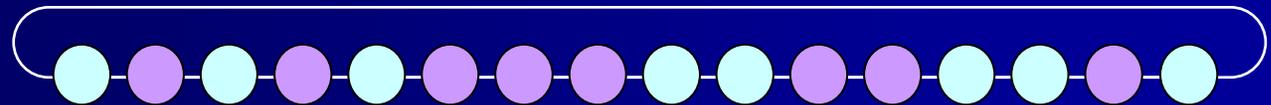
$k = 4$; $r = 1$ -accesibilidad ; $e = \text{mayoría}(1\text{-vecinas})$



Autómata celular

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- Un **autómata celular elemental unidimensional** es un arreglo lineal de celdas capaces de asumir uno de número finito k de estados distintos. En cada instante de tiempo discreto t las celdas transitan a nuevos estados determinados sólo por el estado de sus r celdas vecinas y una **regla** de combinación.



t=0															
t=1															
t=2															

$k = 2$; $r = \text{ésta} + 1\text{-vecinas}$; $e = \text{mayoría}(1\text{-vecinas})$



Autómata celular

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- Si bien éstos modelos fueron primero propuestos por Ulam y von Neumann a finales de la década de 1940, el estudio sistemático exhaustivo de sus propiedades fue realizado en 1983/4 por Stephen Wolfram, quién identificó cuatro clases de comportamiento de los AC:
 - I. Desde cualquier estado inicial, evolucionan en tiempo finito hacia un único estado homogéneo.
 - II. Evolucionan a estructuras simples separadas que dependen de su estado inicial.
 - III. Genera patrones no periódicos (caóticos).
 - IV. Generan estructuras complejas que en ocasiones (dependiendo de sus estados iniciales) se propagan espacialmente con cierto período.



Autómata celular

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

Autómata Celular Unidimensional

Pasos: 400

Bordes: Circular, Borde 0, Borde 1

Inicialización: Un punto, 'n' puntos, Todos

[] Pausa, [F] Termina

Regla 164: 1 0 1 0 0 1 0 0

Autómata Celular Unidimensional

Pasos: 400

Bordes: Circular, Borde 0, Borde 1

Inicialización: Un punto, 'n' puntos, Todos

[] Pausa, [F] Termina

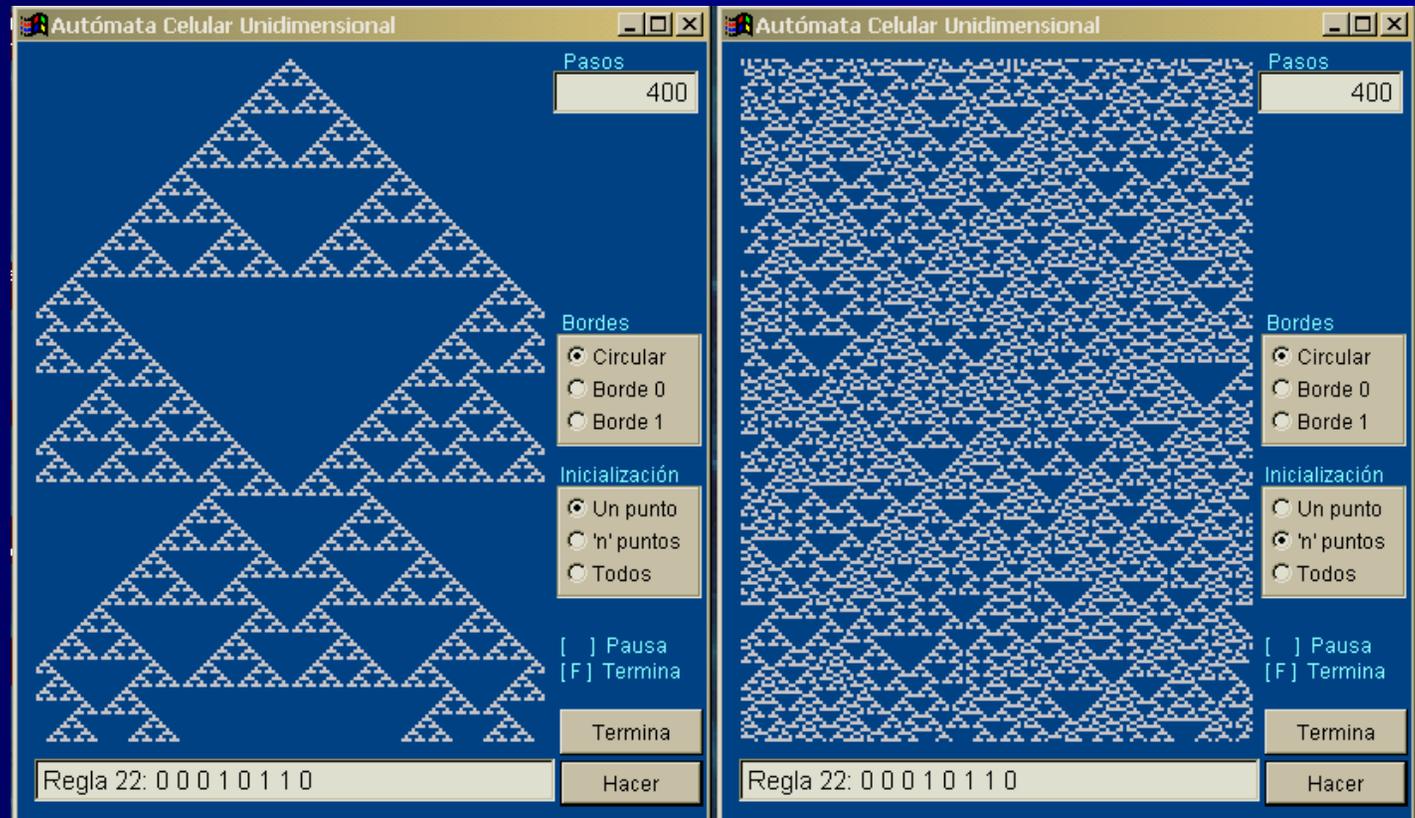
Regla 172: 1 0 1 0 1 1 0 0

II. $k = 2$; $r = \text{ésta} + 1\text{-vecinas}$; $e = \text{regla } 164 / 172$



Autómata celular

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo



III. $k = 2$; $r = \text{ésta} + 1\text{-vecinas}$; $e = \text{regla 22}$



Autómata celular

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

▪ Características:

- Elementos simples.
- Interacciones locales.
- Paralelismo masivo.

▪ Usos:

- Simulación de sistemas físicos, químicos y biológicos, estudio de autoorganización.

▪ Problemas:

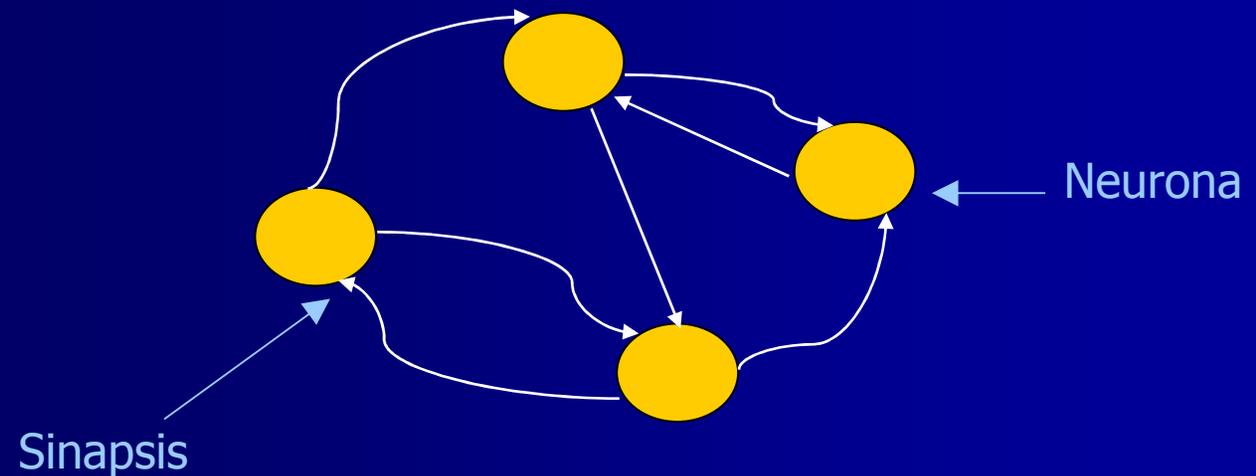
- Clasificación genotípica.
- Determinación de estado final.



RNA

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

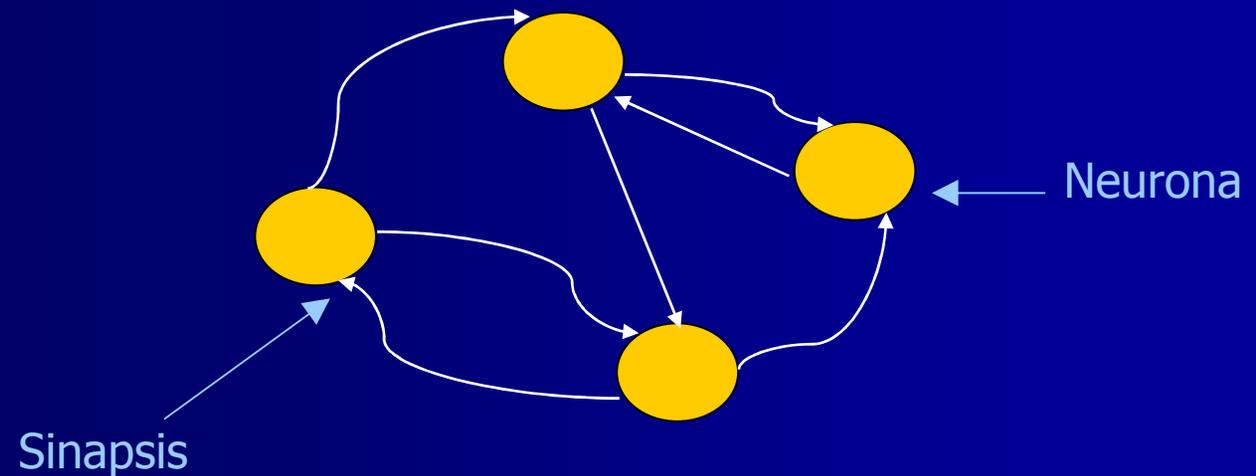
- Una **red neuronal artificial** es un modelo computacional inspirado en el sistema nervioso de los animales superiores. Consta de una colección finita de n celdas altamente interconectadas que responden a estímulos y que en conjunto tienen la capacidad de adquirir y almacenar conocimiento.



RNA

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

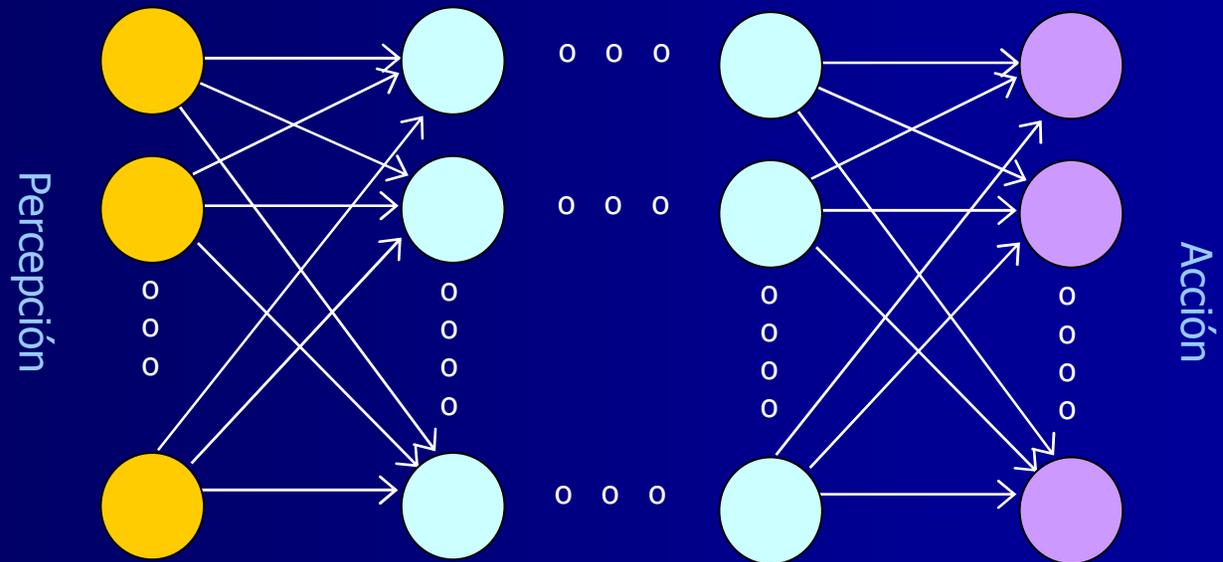
- Definir una **red neuronal artificial** es:
 - Definir **n** neuronas.
 - Determinar la arquitectura de **conexiones**.
 - Dar la **dinámica de actualización** de sinapsis.
 - Elegir la **tarea a realizar** como pares **(E, S)**.
 - Idear e implantar un método de **aprendizaje**.



RNA

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

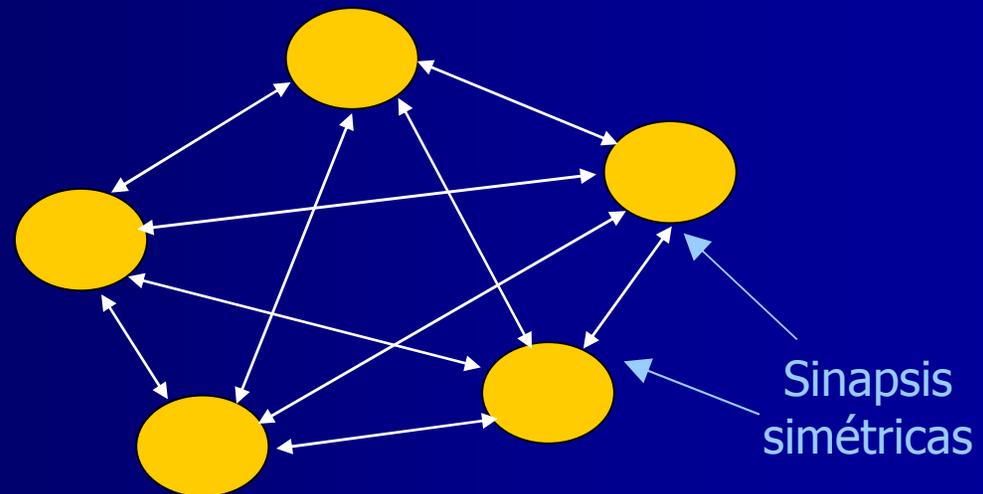
- El **Perceptrón Multicapa** es una red neuronal artificial con **propagación hacia delante sin bucles**, donde sus neuronas se organizan en capas de tres tipos: **entrada**, **ocultas** y **salida**.
- Trabajando a tiempo discreto, estas redes aprenden a realizar su tarea, usando el **algoritmo de retro-propagación de errores**.



RNA

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- La **Red Hopfield** es una red neuronal artificial de **neuronas binarias**, con arquitectura **recurrente totalmente conectada**, donde las **sinapsis son funciones de los patrones a almacenar**.
- Las **entradas** definen el estado inicial de la red y **salidas** se “leen” en el estado estacionario final.



RNA

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

▪ Características:

- Elementos simples.
- Aprendizaje adaptativo.
- Paralelismo masivo.
- Tolerancia a fallos.

▪ Usos:

- Reconocimiento de patrones, optimización de funciones, clasificación, entre otros.

▪ Problemas:

- Definición de arquitectura óptima.
- Tiempo de entrenamiento.



RNA - AC

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

Función Senoidal

y en esto
estábamos

...

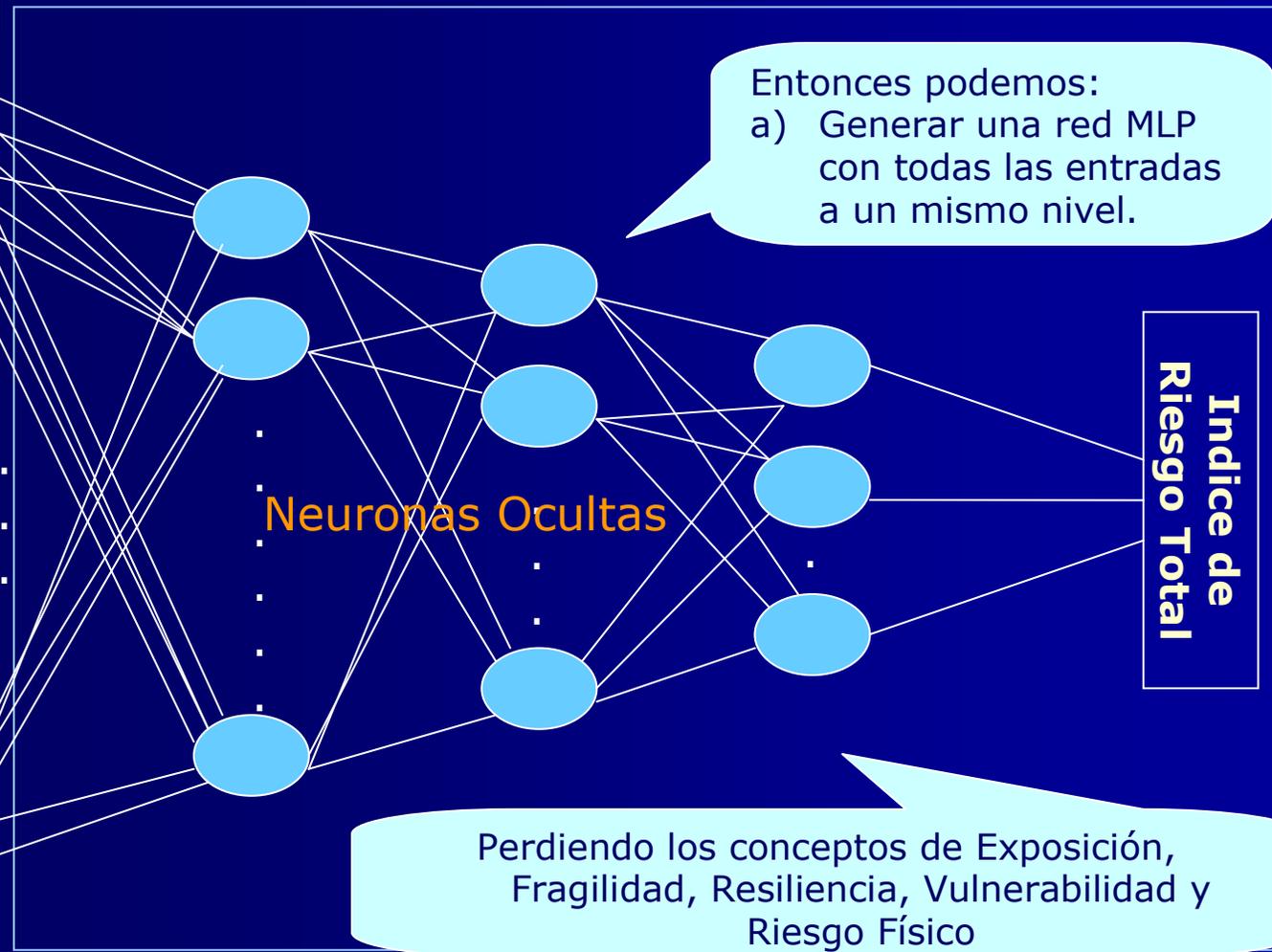


----- Modelo Conceptual ----- Estimación Holística del Riesgo para la Salud de la Población

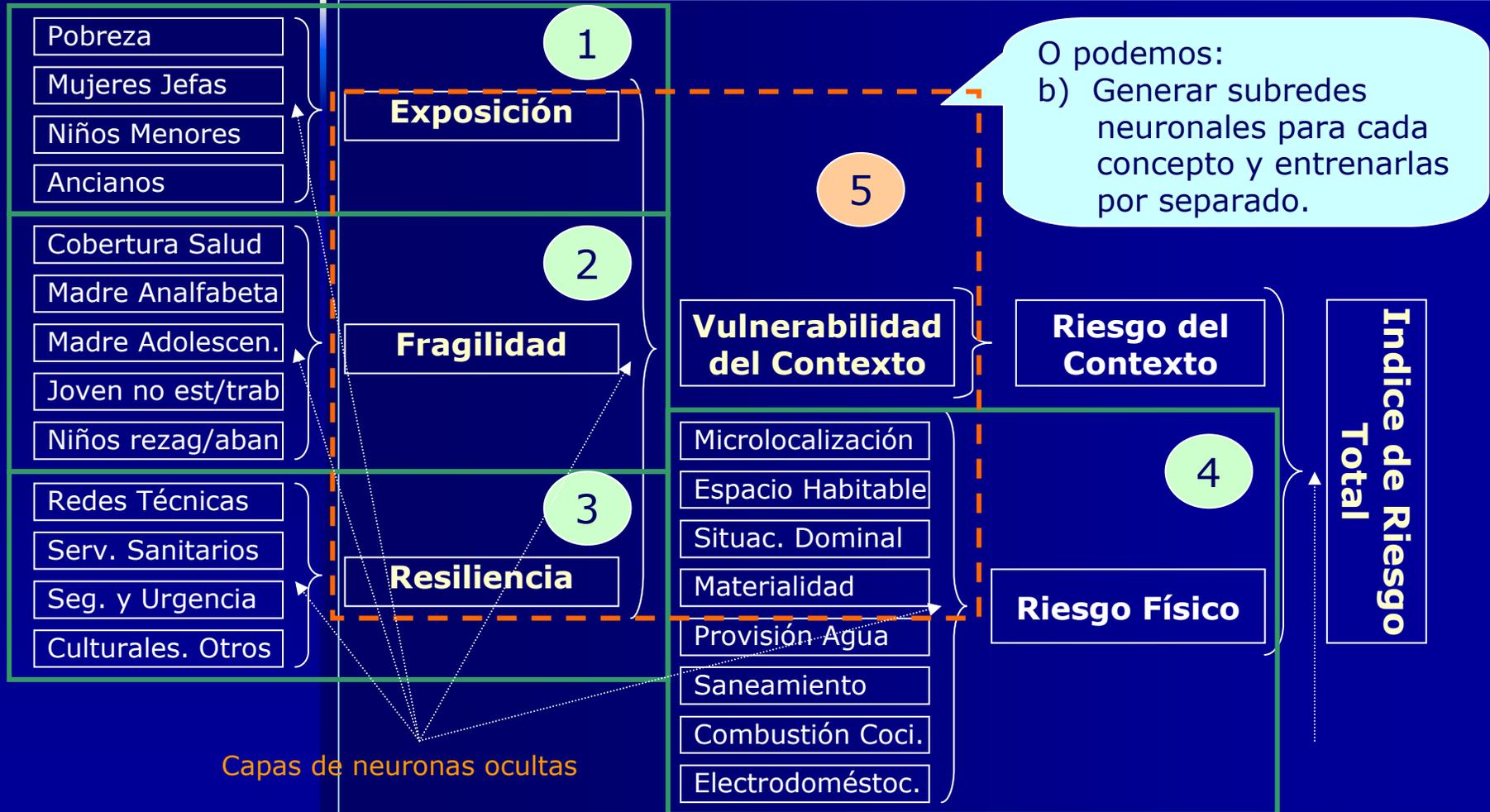


Modelo computacional para el Modelo Conceptual de Estimación Holística del Riesgo para la Salud de la Población

Pobreza
Mujeres Jefas
Niños Menores
Ancianos
Cobertura Salud
Madre Analfabeta
Madre Adoloscen.
Joven no est/trab
Niños rezag/aban
Redes Técnicas
Serv. Sanitarios
Seg. y Urgencia
Culturales. Otros
Microlocalización
Espacio Habitable
Situac. Dominal
Materialidad
Provisión Agua
Saneamiento
Combustión Coci.
Electrodoméstoc.



Modelo computacional para el Modelo Conceptual de Estimación Holística del Riesgo para la Salud de la Población



Modelo computacional para el Modelo Conceptual de Estimación Holística del Riesgo para la Salud de la Población

Ventajas

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- Cada una de las subredes puede ser entrenada en forma independiente, lo que permite mayor claridad y favorece la objetividad de los expertos que diseñan los juegos de datos de entrenamiento.
- Con este enfoque, se ha dividido el problema de los expertos de determinar con su conocimiento y experiencia el posible resultado a partir de un gran número de entradas, en cinco subproblemas con menor número de entradas, lo que implica una menor complejidad en el análisis. Esto será aún de mayor utilidad, si en revisiones posteriores del trabajo se determinara la necesidad de incluir nuevos factores o componentes.



Modelo computacional para el Modelo Conceptual de Estimación Holística del Riesgo para la Salud de la Población

Ventajas

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- Por otro lado, siendo cada subred modelada por una red **MLP**, la aplicación del algoritmo de aprendizaje por **retro-propagación de errores** está formalmente justificada y, por sus típicas características de **generalización**, capturará cabalmente el criterio de los expertos con suficiente entrenamiento.
- La consistencia del juicio de los expertos, puede además ser verificada más fácilmente ya que se trabaja con **problemas más simples** y de menor cantidad de variables que el problema completo.
- Finalmente, el cálculo de indicadores (Exposición, Fragilidad, Resiliencia) y de índices (Vulnerabilidad del contexto, Riesgo Físico), es efectuado en forma independiente, lo que posibilita su fácil **tabulación para futuros trabajos** de similar temática a la del nuestro.



Modelo computacional para el Modelo Conceptual de Estimación Holística del Riesgo para la Salud de la Población

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

Desventajas

- Requiere entrenamiento previo antes de su uso, utilizando ejemplos provistos por expertos.
- Si un factor se elimina o agrega, o si cambian los ejemplos, requiere reentrenamiento.

Próximos Pasos

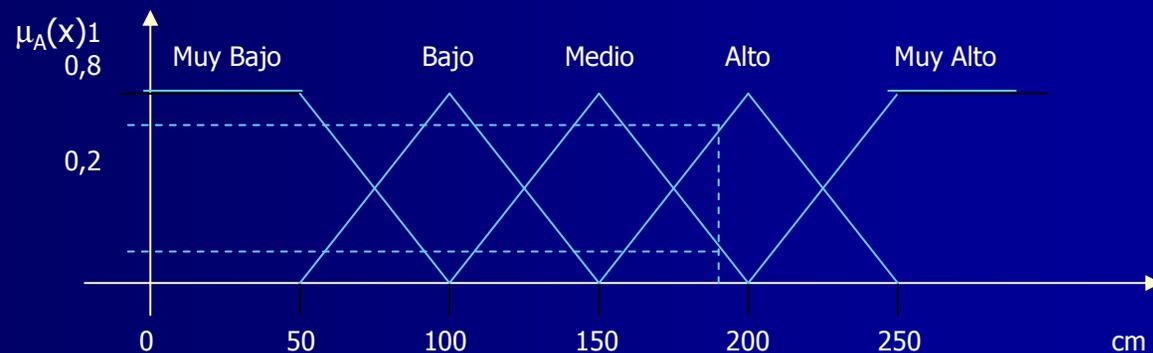
- Experimentación con nuevos algoritmos de entrenamiento, que aseguren convergencia, velocidad y no sobre-aprendizaje.
- Abordaje mediante búsqueda por similitud en base de datos con métrica definida.



VARIABLES DIFUSAS

- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

- La teoría de **conjuntos borrosos** fue propuesta por Lotfi Zadeh de la Universidad de California en Berkeley en 1965, como una generalización de la teoría de conjuntos clásica.
- Utiliza **grados de pertenencia** de elementos a los conjuntos como números reales entre 0 y 1, en contraste con la lógica clásica bivalente, lo que genera una **frontera difusa** para el conjunto.



Epílogo

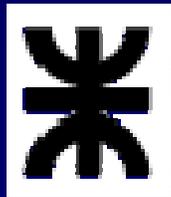
- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

“Tradicionalmente se percibe a las disciplinas, organizadas en dos grupos: las **ciencias duras** (matemática, física, química, biología molecular, etc.) y las **ciencias blandas** (Economía, Ciencias Sociales, Filosofía, etc.); el primer grupo se diferenció por la posibilidad de establecer **modelos matemáticos** y así predecir algo del futuro; el segundo grupo desarrolló su estudio en forma descriptiva, es decir, esperar que las cosas ocurran y luego hacer historia de lo sucedido e intentar explicarlo. Esto ya cambió con la incorporación de los métodos de la física al estudio de fenómenos complejos de la realidad en las ciencias blandas.”

(Dante Chialvo, biólogo e investigador argentino)



Sistemas Complejos y Redes Neuronales Artificiales



- Sistema
- Sistema dinámico
- Sistema complejo
- Autómata celular
- Red neuronal art.
- Modelo de Riesgo
- Variables difusas
- Epílogo

III Jornadas Internacionales de Salud Pública

[21 de noviembre de 2007]

Taller de Salud Comunitaria, Población y Vivienda

¿PREGUNTAS?

Escuela de Salud Pública – Facultad de Ciencias Médicas
Universidad Nacional de Córdoba

