



 *Coordinación de
Ciencias Computacionales*

Aprendizaje automático para predicción de series de tiempo

Dra. María del Pilar Gómez Gil
Coordinación de Computación
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
ccc.inaoep.mx/~pgomez

Esta presentación está disponible en:

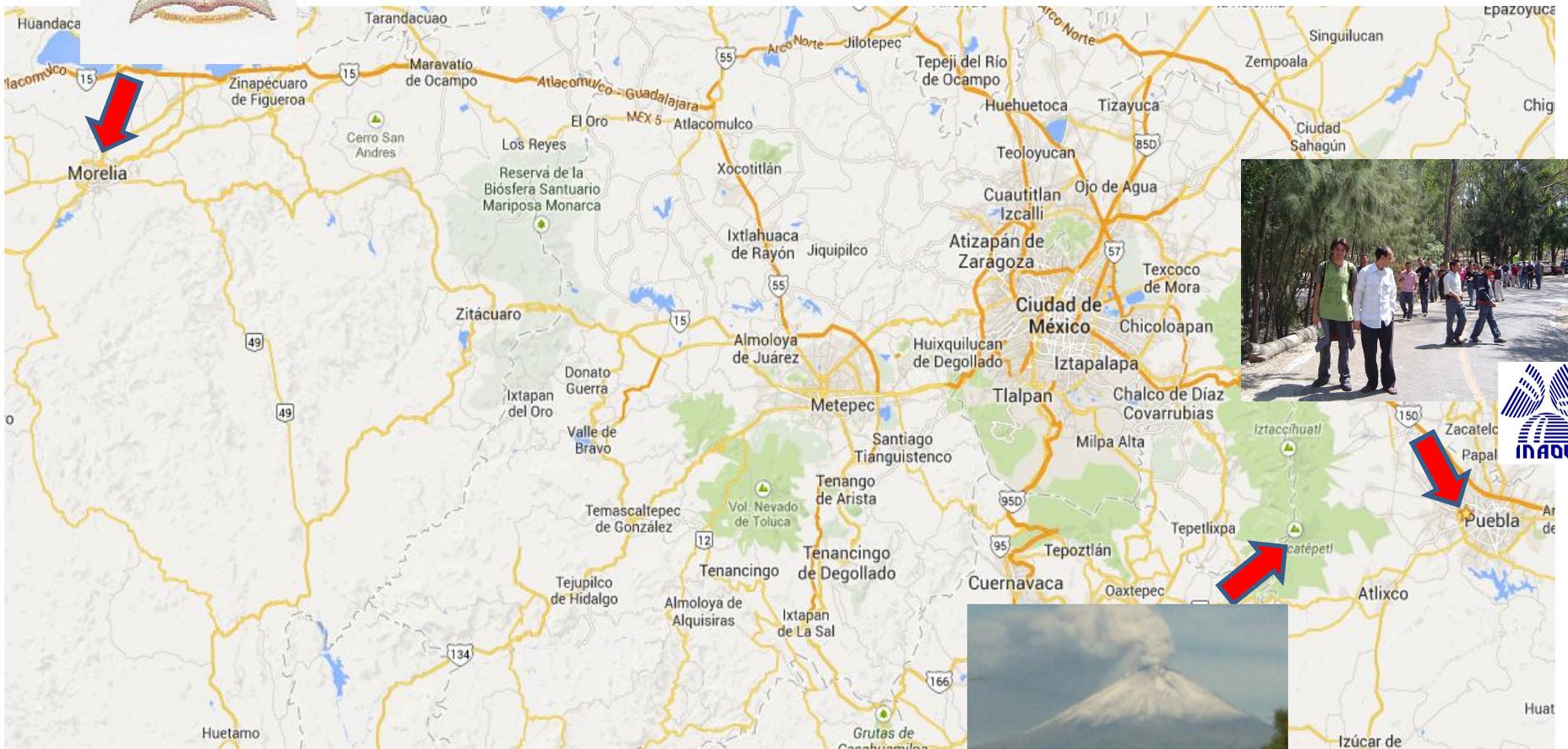
<http://ccc.inaoep.mx/~pgomez/conferences/PggITM13.pdf>

Sobre el INAOE

Es un centro público de investigación cuya misión es contribuir a la generación, avance y difusión del conocimiento para el desarrollo del país y de la humanidad, por medio de la identificación y solución de problemas científicos y tecnológicos y de la formación de especialistas en las áreas de Astrofísica, Óptica, Electrónica, Ciencias Computacionales y áreas afines.



<http://www.inaoep.mx/>

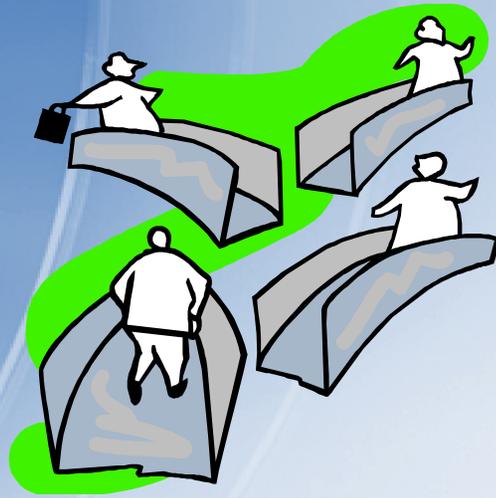


Objetivo de la presentación

Motivar a la audiencia a conocer más sobre las herramientas existentes para resolver problemas de predicción, utilizando Inteligencia Computacional, en especial *Redes Neuronales Artificiales*.

Contenido

- ¿Que es aprendizaje automático e inteligencia computacional?
- ¿Qué son las redes neuronales artificiales?
- La necesidad de predecir
- Las series de tiempo caóticas
- Redes neuronales, caos y predicción a largo plazo
- Conclusiones y perspectivas



**¿QUÉ ES APRENDIZAJE AUTOMÁTICO
E INTELIGENCIA COMPUTACIONAL?**

Aprendizaje automático

- Es el proceso por el cual una computadora puede generar automáticamente programas, a partir de datos.
- Se utiliza fuertemente en ciencias de la computación y en otros campos.
- El proceso de aprendizaje automático requiere de una adecuada representación de datos, procesos efectivos de evaluación y de optimización.
- Estos algoritmos son base para la inteligencia computacional.

(Domingos 2012)

Inteligencia Computacional

- Es el conjunto de paradigmas y métodos, inspirados en la naturaleza, para la solución de problemas complejos, donde los métodos tradicionales no son efectivos o no pueden aplicarse
- Cubre principalmente las áreas de Redes Neuronales, Computación Evolutiva y Lógica Difusa. También incluye inteligencia de enjambres, sistemas artificiales y otros campos de Aprendizaje de Máquina
- Los algoritmos usados en inteligencia computacional son muy diferentes a los “convencionales”

La Computación “Convencional”

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.

(Gómez-Gil, 2011)

Éxitos y fracasos de la Computación “convencional”

EXITOS	FRACASOS
Muy eficiente en la solución a problemas matemáticos y de simulación.	Muy ineficiente resolviendo problemas de reconocimiento.
Muy eficiente realizando tareas repetitivas y bien definidas.	Muy ineficiente con adaptación y aprendizaje.
	Muy ineficiente con problemas de percepción.

Características de la Computación Biológica



- Contiene mecanismos de percepción.
- Es masivamente paralela y altamente interconectada
- Es tolerante al ruido en el medio ambiente y en sus componentes.
- Tiene gran variabilidad y especialización en sus componentes.
- Es altamente adaptable al medio.
- Es lenta y baja en precisión.
- Presenta un desarrollo evolutivo continuo hacia sistemas más complejos.



(c) P.Gómez Gil, INAOE 2013

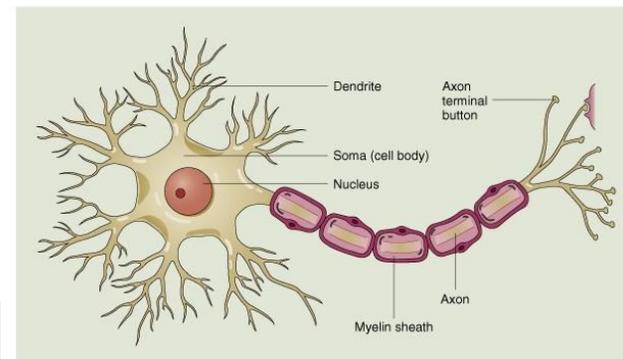
Imagen obtenida de: www.invdes.com.mx



Las Redes Neuronales Artificiales

Redes Neuronales Artificiales (RNA)

- Están inspiradas en la construcción del cerebro y las neuronas biológicas.
- Son modelos matemáticos capaces de adaptar su comportamiento en respuesta a ejemplos presentados por el medio ambiente, de manera supervisada o no supervisada (**aprendizaje basado en ejemplos**).

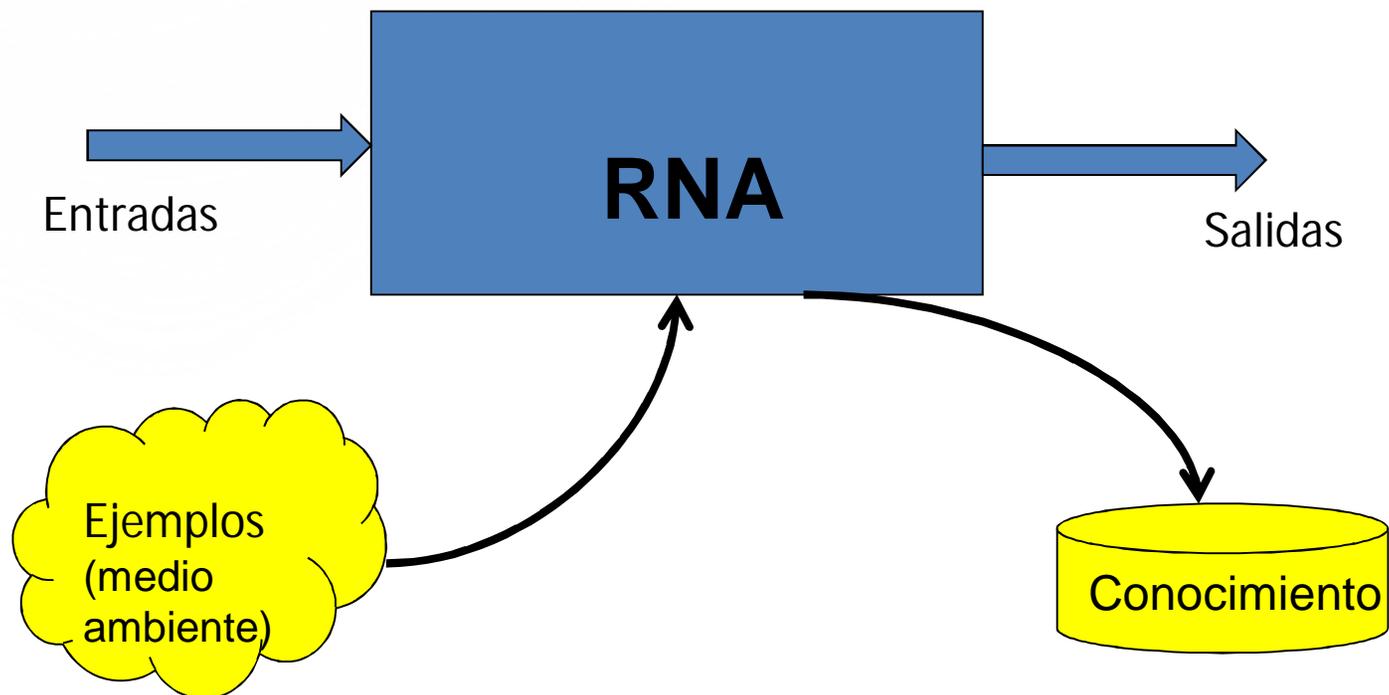


El cerebro y las RNA

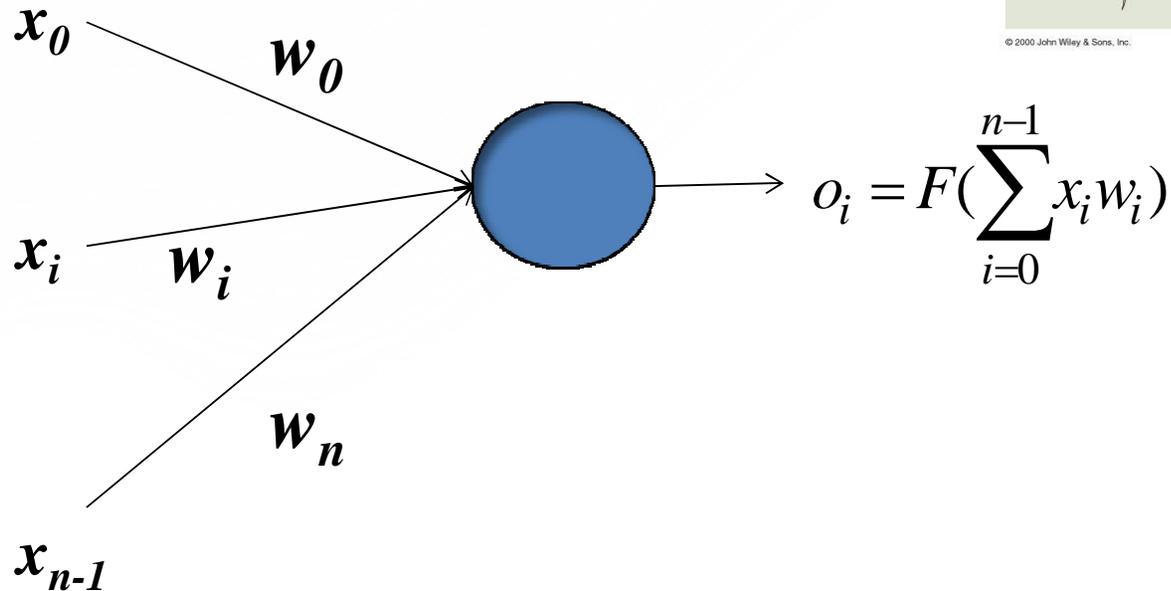
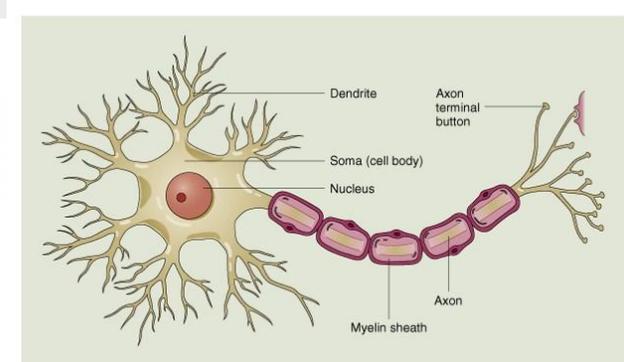
- Una red neuronal artificial se parece al cerebro en dos aspectos:
 1. Adquiere el conocimiento del medio ambiente, a través de un proceso de aprendizaje
 2. La fuerza de conexión entre los neurones, generada por medio de números llamados pesos sinápticos, se utiliza para almacenar el conocimiento adquirido.

(Haykin 2009)

El Contexto de RNA

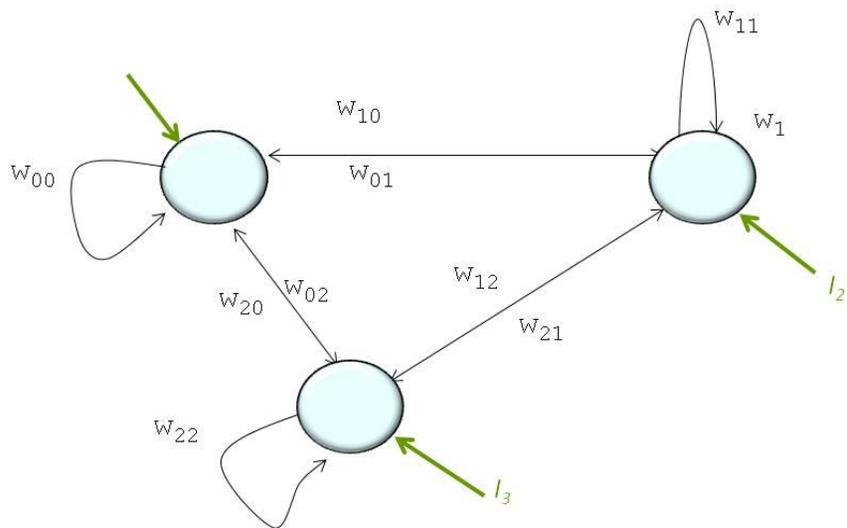
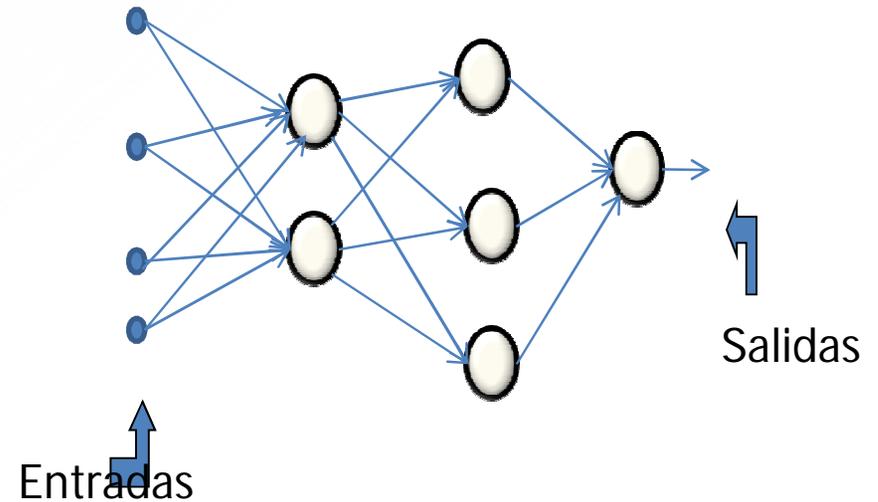
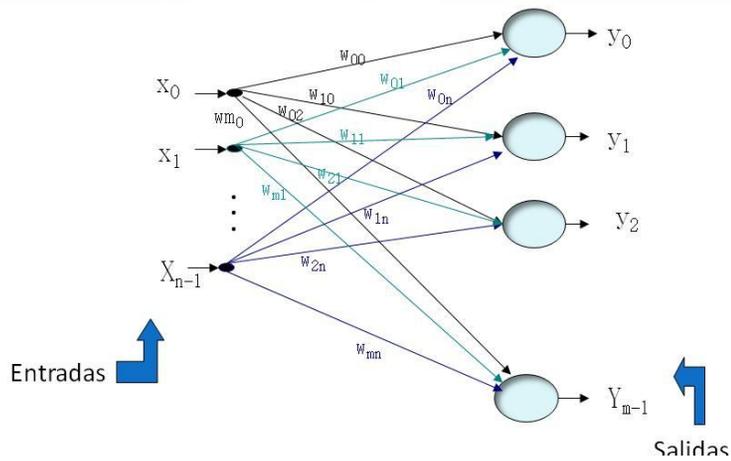


El componente fundamental de RNA: neurona



Las variables w_i son valores reales que contienen el conocimiento de la red neuronal

La conexión entre neuronas forma las RNA



Aplicaciones de RNA

- Aproximación de Funciones
- Pronóstico
- Clasificación
- Optimización
- Control
- Procesamiento de lenguaje
- Muchas mas!



LA NECESIDAD DE PRONOSTICAR

¿Para qué pronosticar?

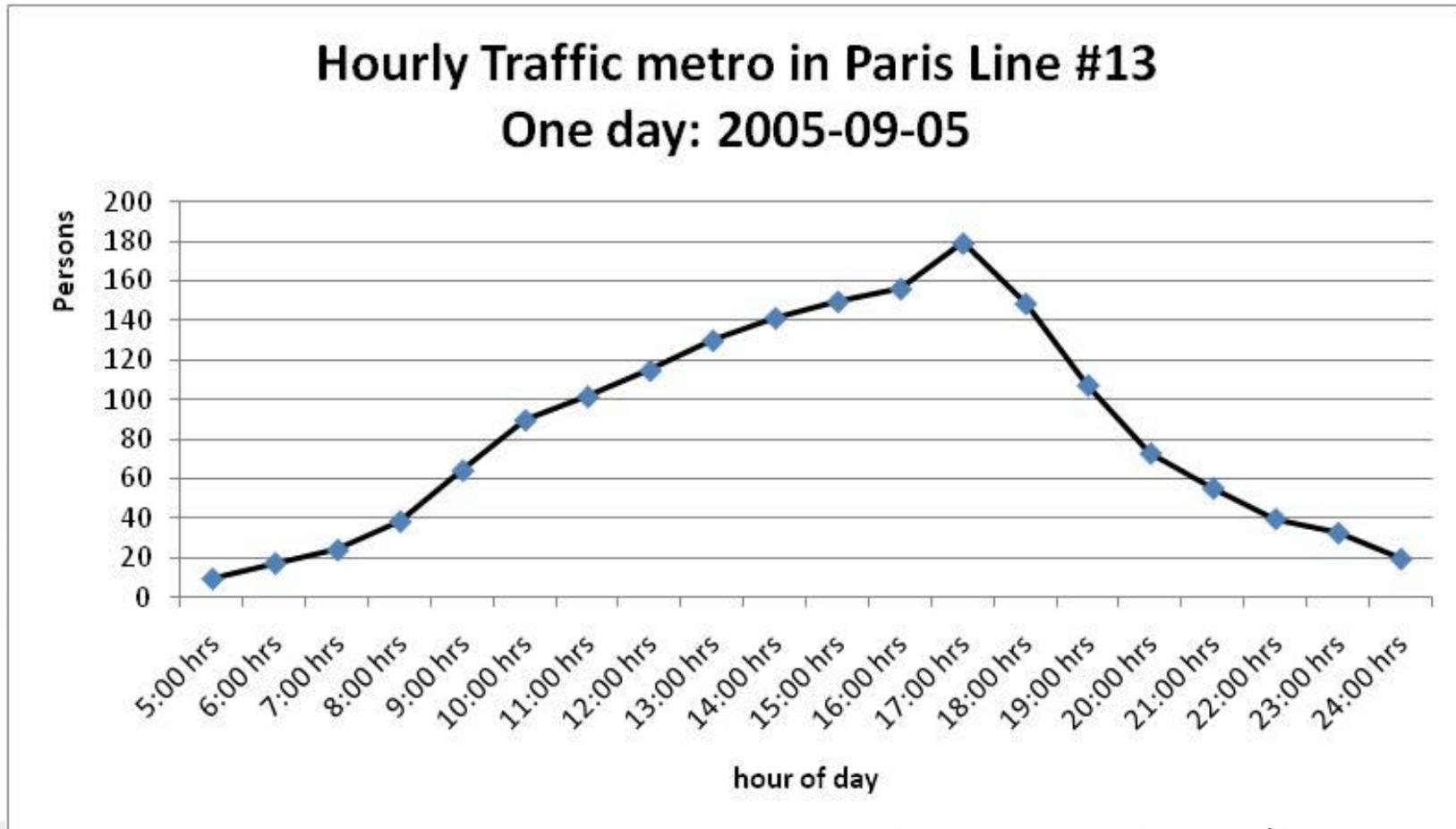
- La mayoría de los negocios y proyectos requieren hacer planes que implican un futuro **incierto**.
- Para que esta planeación tenga menos riesgos, se requiere **estimar** el comportamiento **futuro** de indicadores relacionados con el problema en cuestión.
- Los indicadores pueden ser económicos, políticos, sociales, tecnológicos, etc.

Series de Tiempo

- La estimación de valores futuros normalmente está basada en comportamientos **pasados** de los indicadores.
- Los indicadores a veces se representan en lo como SERIES DE TIEMPO (una señal medida en **periodos regulares** de tiempo).

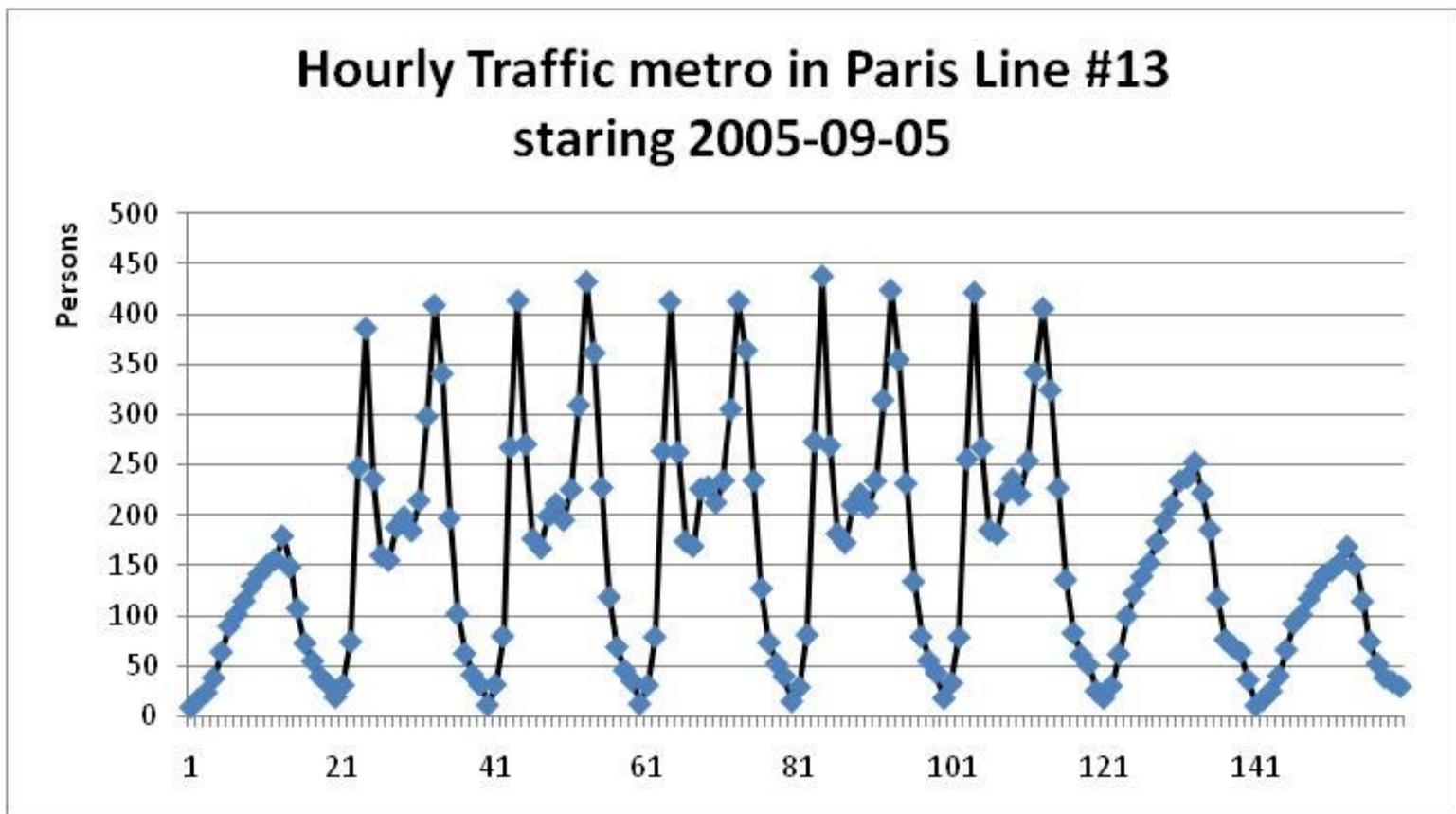
Ejemplo de una Serie de Tiempo

Medida cada Hora



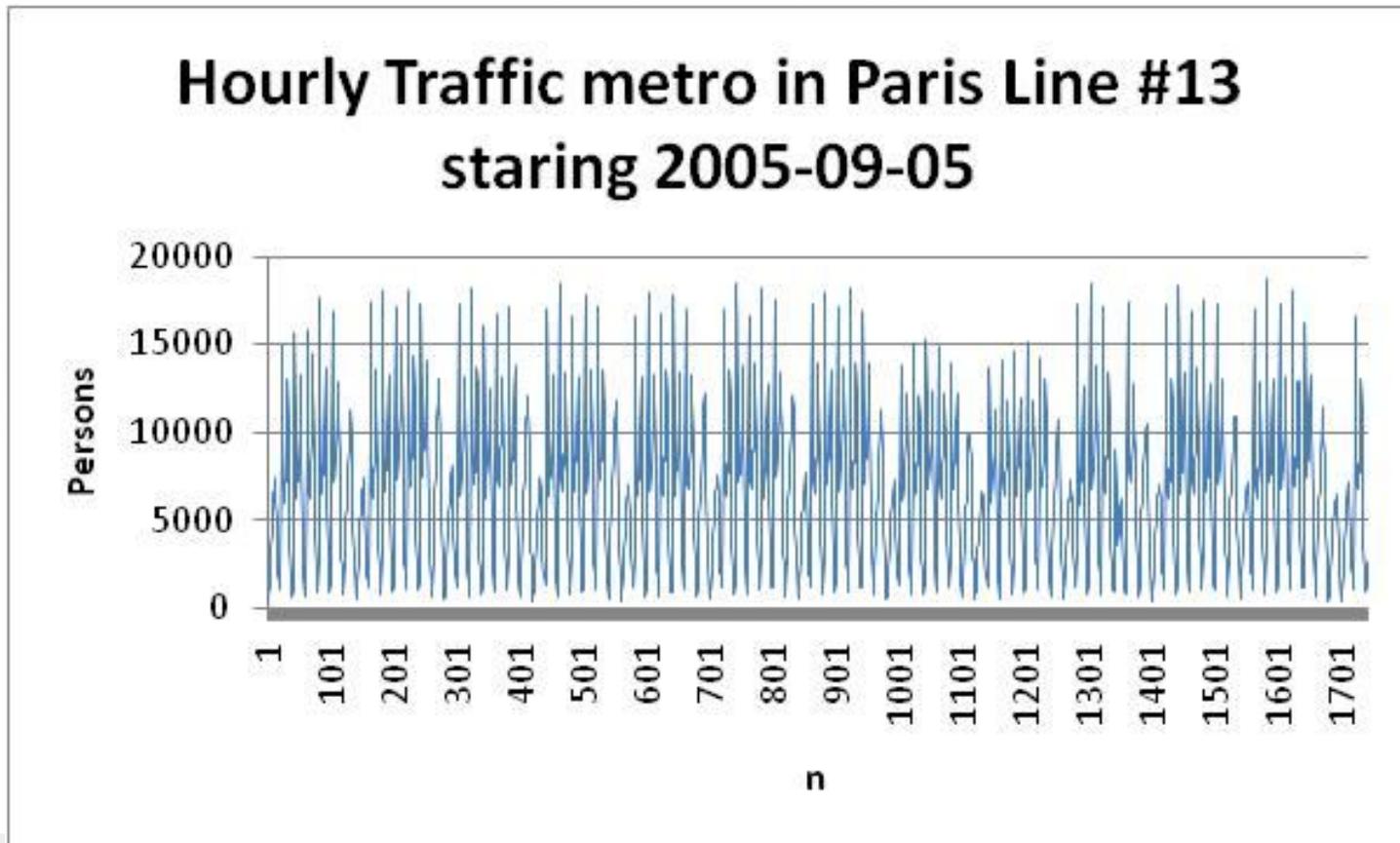
Datos tomados de (Crone 2010)

Varios días de la misma serie...

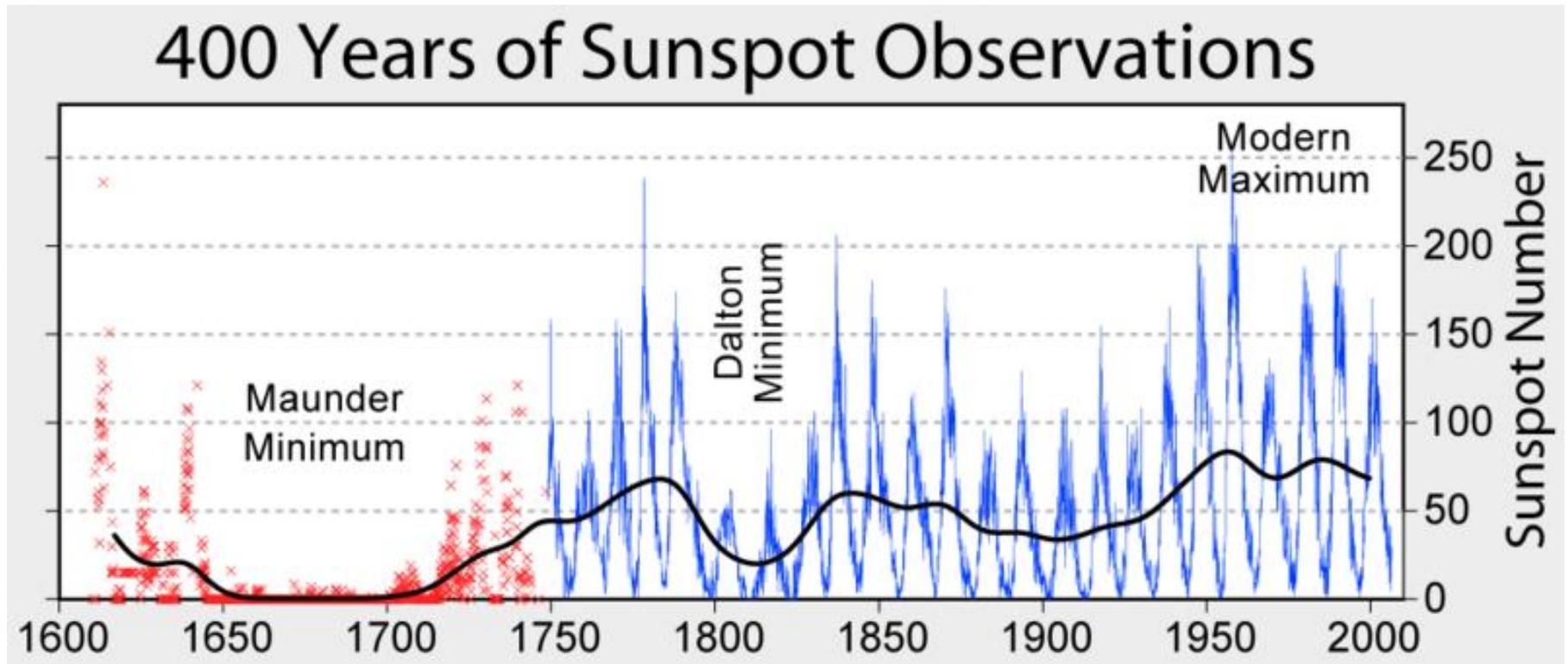


Datos tomados de (Crone 2010)

Varios meses de la misma serie...



Cuatrocientos años de observaciones de manchas solares.



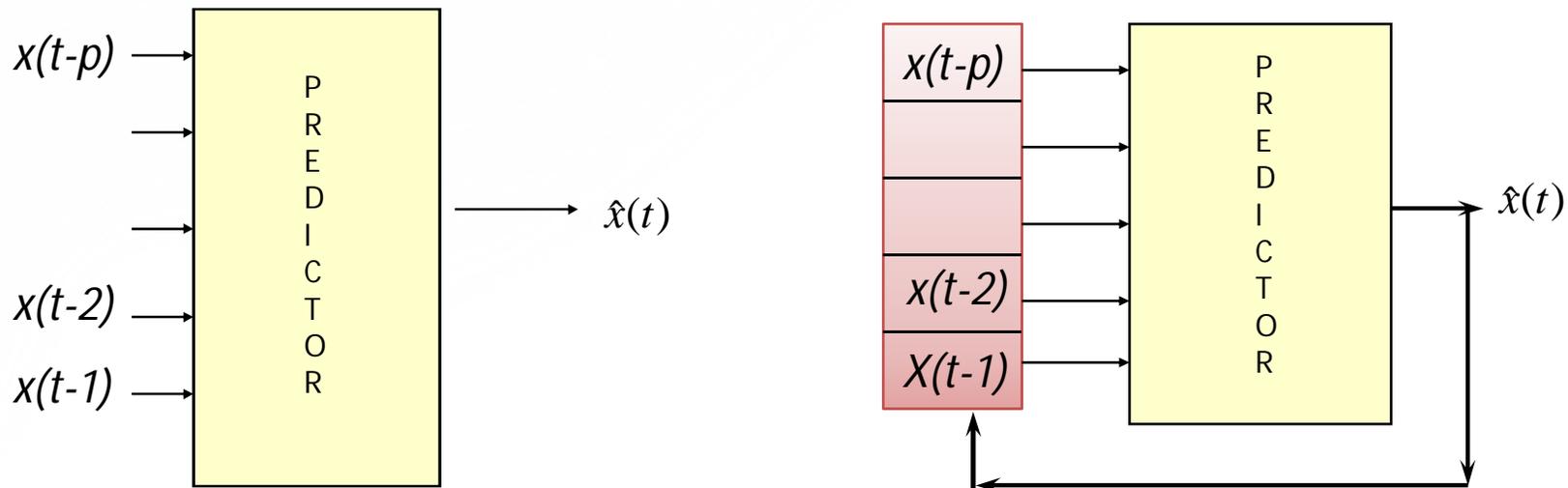
Fuente: <http://www.carolmoore.net/articles/sunspot-cycle.html>

¿Qué es Pronosticar?

- Dada una serie de tiempo, **pronosticar significa** calcular uno o varios valores futuros y desconocidos, utilizando información contenida en dicha señal y/o contenida en otras variables externas.
- En muchos casos no se cuenta con variables externas confiables que ayuden a la predicción, por lo que solo se utiliza información del pasado de la señal a estimar, bajo el supuesto de que ésta contiene toda la información necesaria para realizar la estimación.

Tipos de pronóstico ó predicción

- *Predicción de un paso, o de "siguiente valor"*
- *Predicción recursiva de largo plazo*

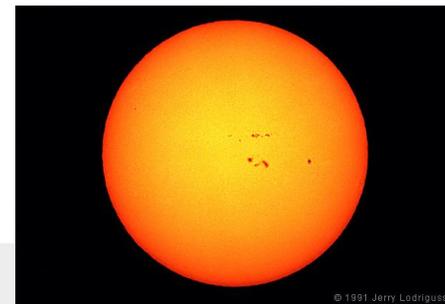


$$\hat{x}_t = \Phi(x_{t-1}, x_{t-2} \dots x_{t-p})$$

El problema con Predicción Recursiva

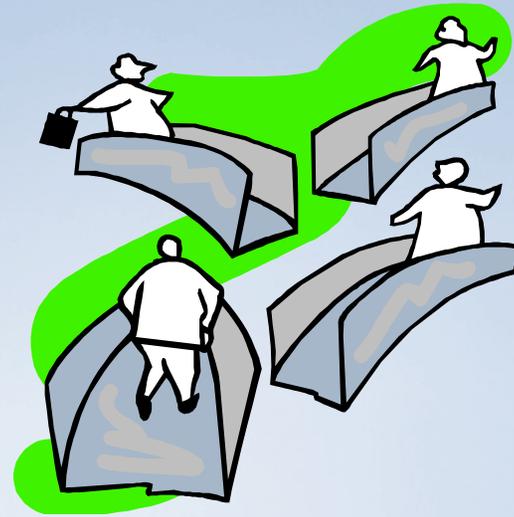
- La predicción de un punto utiliza valores del pasado reales.
- La predicción a largo plazo eventualmente requiere utilizar valores calculados por el mismo sistema para realizar la estimación. Esto puede provocar que los errores se propaguen muy rápidamente.
- Si el sistema es altamente **no lineal**, esto es un grave problema.

Foto del sol con "manchas"



Ejemplos de Técnicas de predicción

- Lineales
 - ARMA
 - ARIMA
 - Filtros de Kalman
 - ...
- No lineales
 - Redes Neuronales Artificiales
 - Máquinas de soporte de vectores
 - Estimadores Bayesianos
 - ...



Redes Neuronales Artificiales, Caos y Predicción a largo plazo

Series de tiempo caóticas

- Muchos sistemas físicos, biológicos y sociales presentan un comportamiento caótico, pero se desconocen las ecuaciones que los describen.
- Algunos ejemplos: la presión sanguínea, los latidos del corazón, el clima, el comportamiento de la bolsa de valores.

Predicción de series de tiempo caóticas

- Predecir sistemas caóticos es matemáticamente imposible.
- Aún así, sería de gran utilidad en varios campos del conocimiento el poder estimar de manera razonable el comportamiento de señales caóticas a largo plazo.

Características de sistemas caóticos

- ④ Las trayectorias caóticas son aperiódicas y determinísticas,
- ④ Los sistemas caóticos son extremadamente dependientes de las condiciones iniciales
- ④ El comportamiento caótico está acotado por atractores extraños.
- ④ Un **atractor** es el conjunto de puntos hacia los que se dirige una trayectoria cuando el estado transitorio del sistema termina.

(Kaplan y Cohen, 1990)

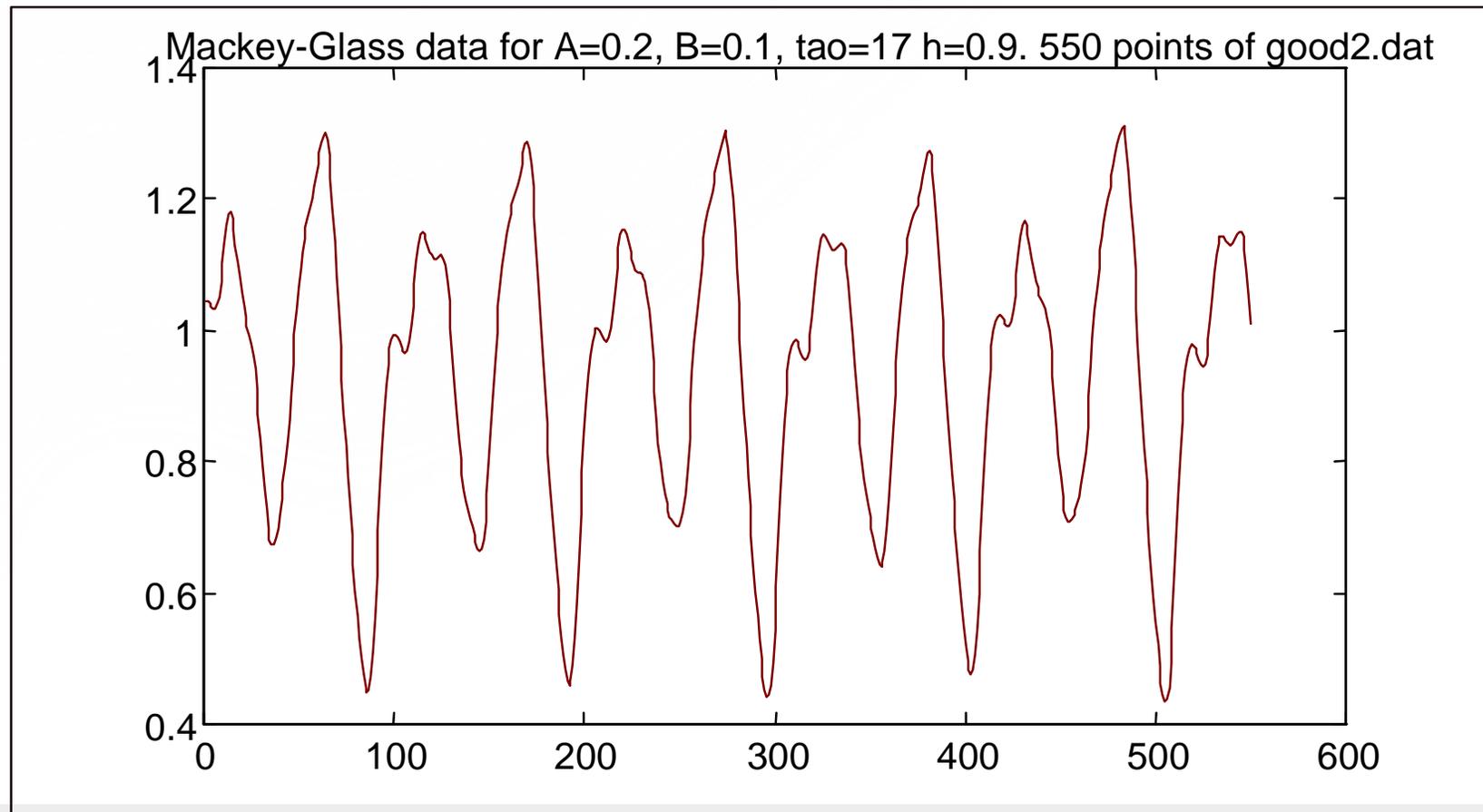


Ejemplo de un sistema Caótico

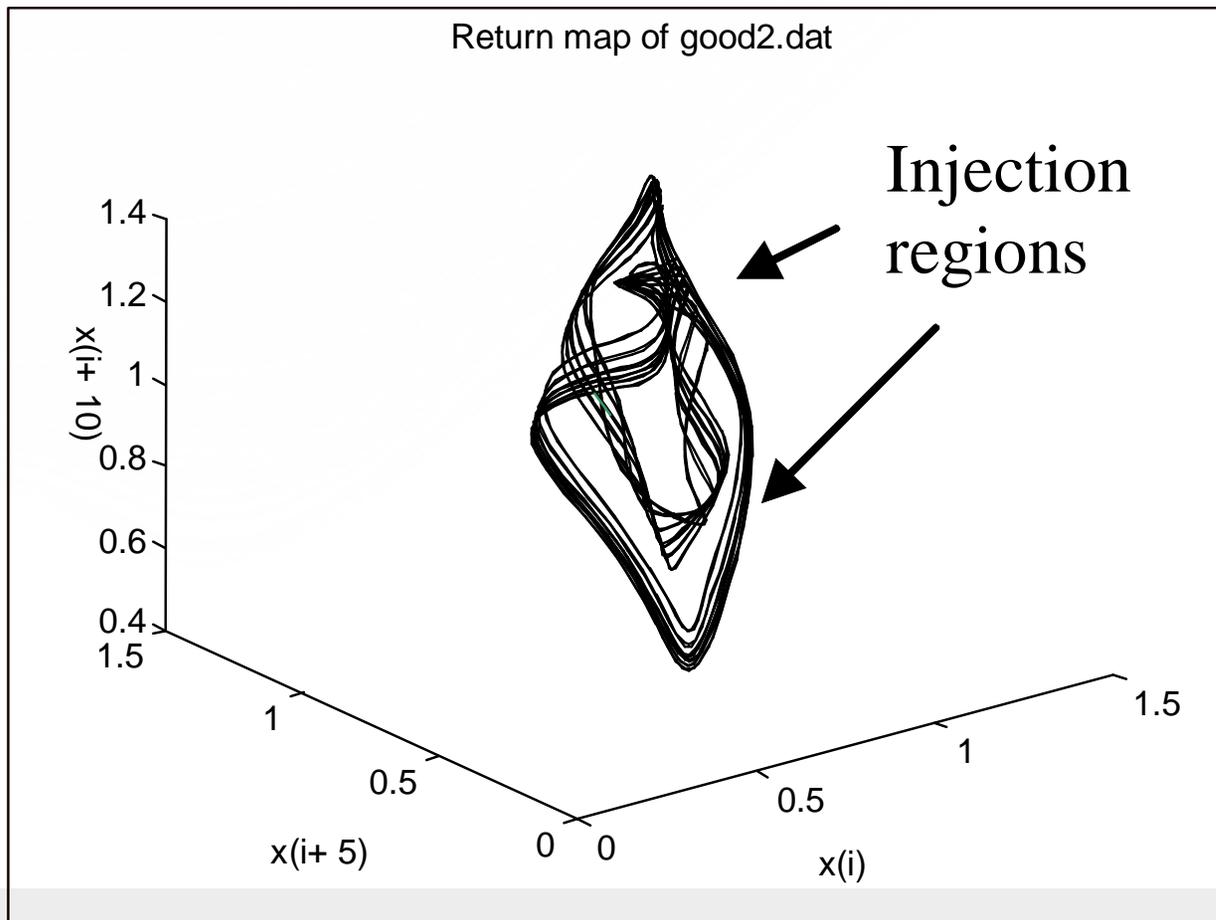
- Hay sistemas caóticos cuyo comportamiento es conocido y está claramente definido a través de ecuaciones. Por ejemplo, la ecuación Mackey-Glass (Glass 1987) que se usa para modelar el comportamiento de algunos sistemas biológicos

$$\frac{dx(t)}{dt} = \frac{ax(t - \tau)}{1 + x^{10}(t - \tau)} - bx(t)$$

Serie Mackey-Glass



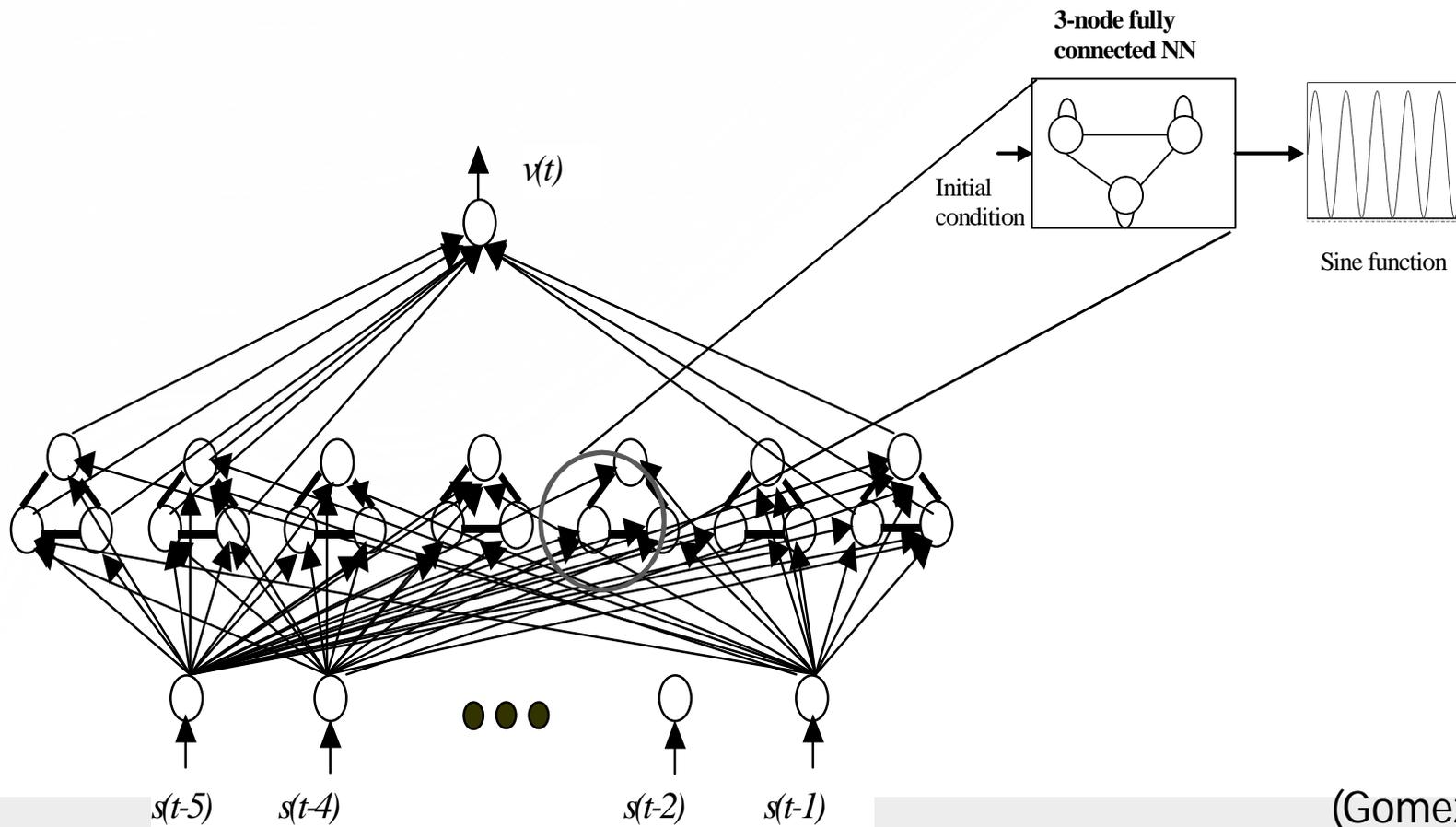
Mapa de retorno de la serie Mackey-Glass



Redes Neuronales Recurrentes y predicción

- Las redes recurrentes son sistemas dinámicos, es decir, su comportamiento depende de entradas y de estados pasados en el tiempo
- Las redes recurrentes pueden entrenarse para comportarse como los sistemas dinámicos (desconocidos) que generan una serie de tiempo
- Pero esto no es fácil....

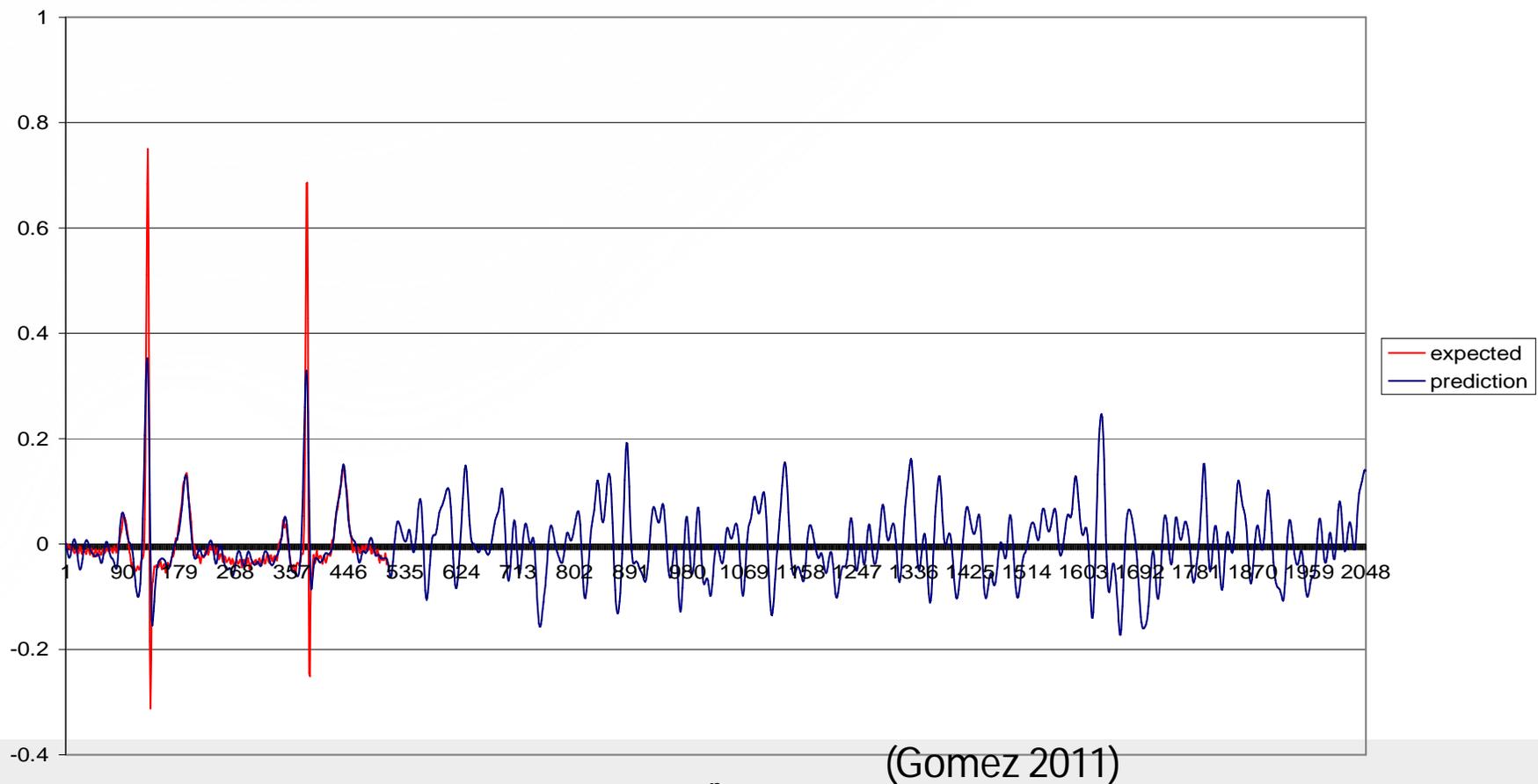
Topología de una Red Neuronal Híbrida Compleja (HCNN)



(Gomez 2011)

La predicción de un Electrocardiograma usando la red HCNN

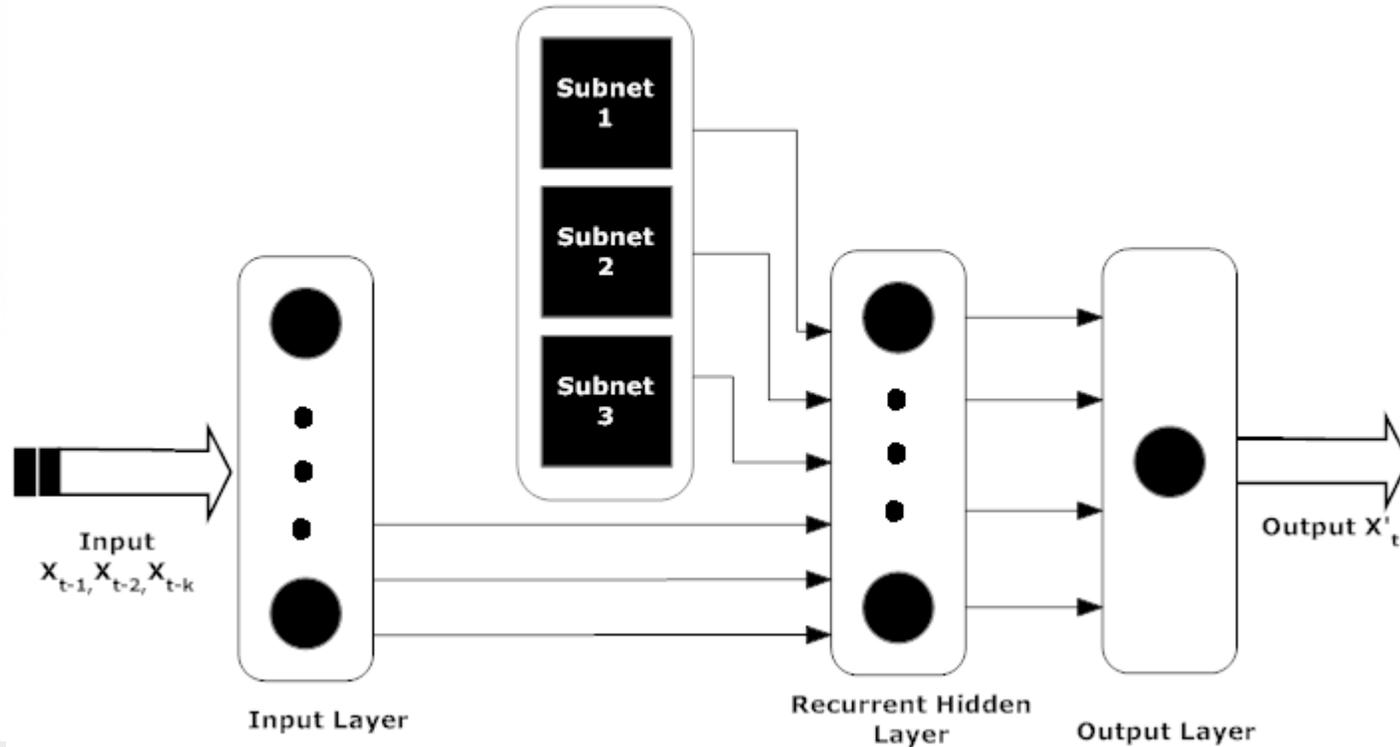
Case K.2



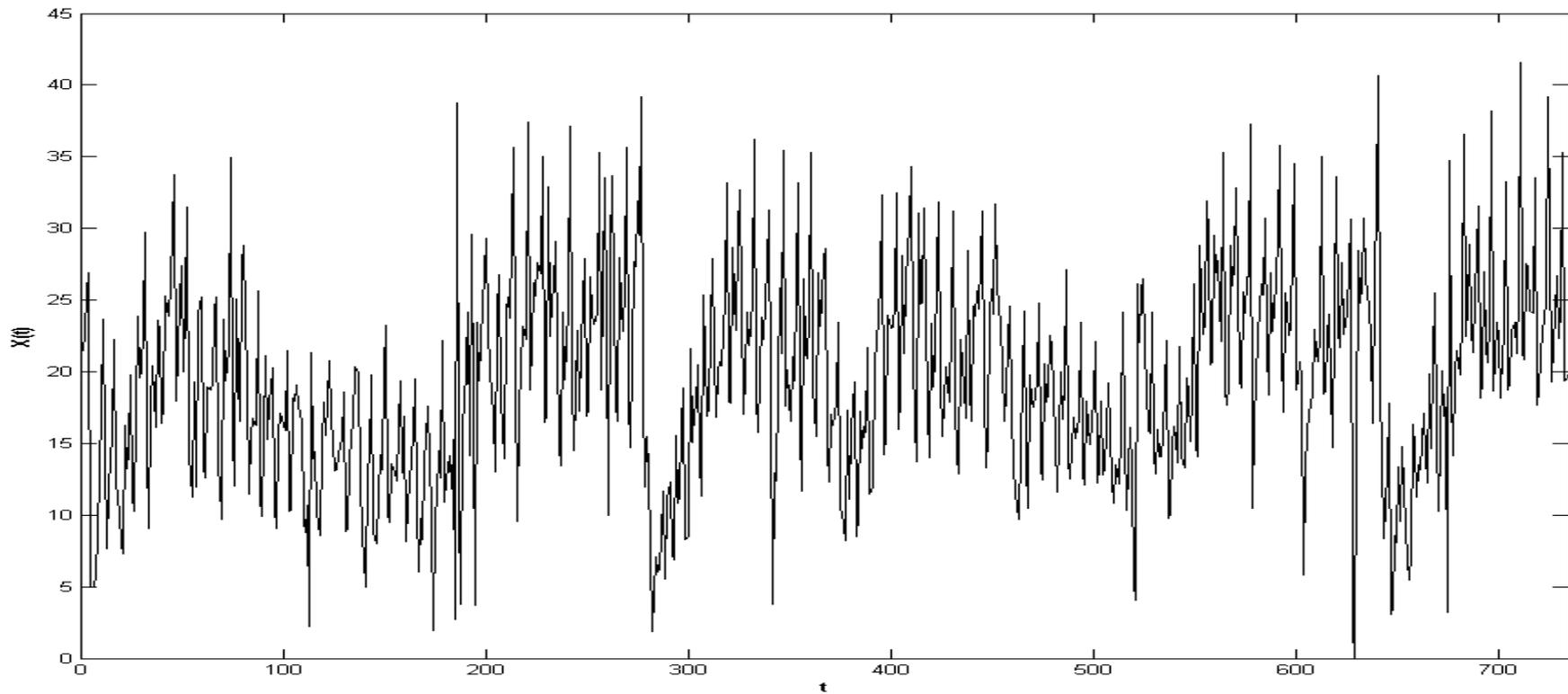
(Gomez 2011)
(c) P. Gómez Gil, INAOE 2013

Arquitectura de la red HWRN (**H**ybrid and based-on-**W**avelet-**R**econstructions **N**etwork)

(García-Pedrero 2009)

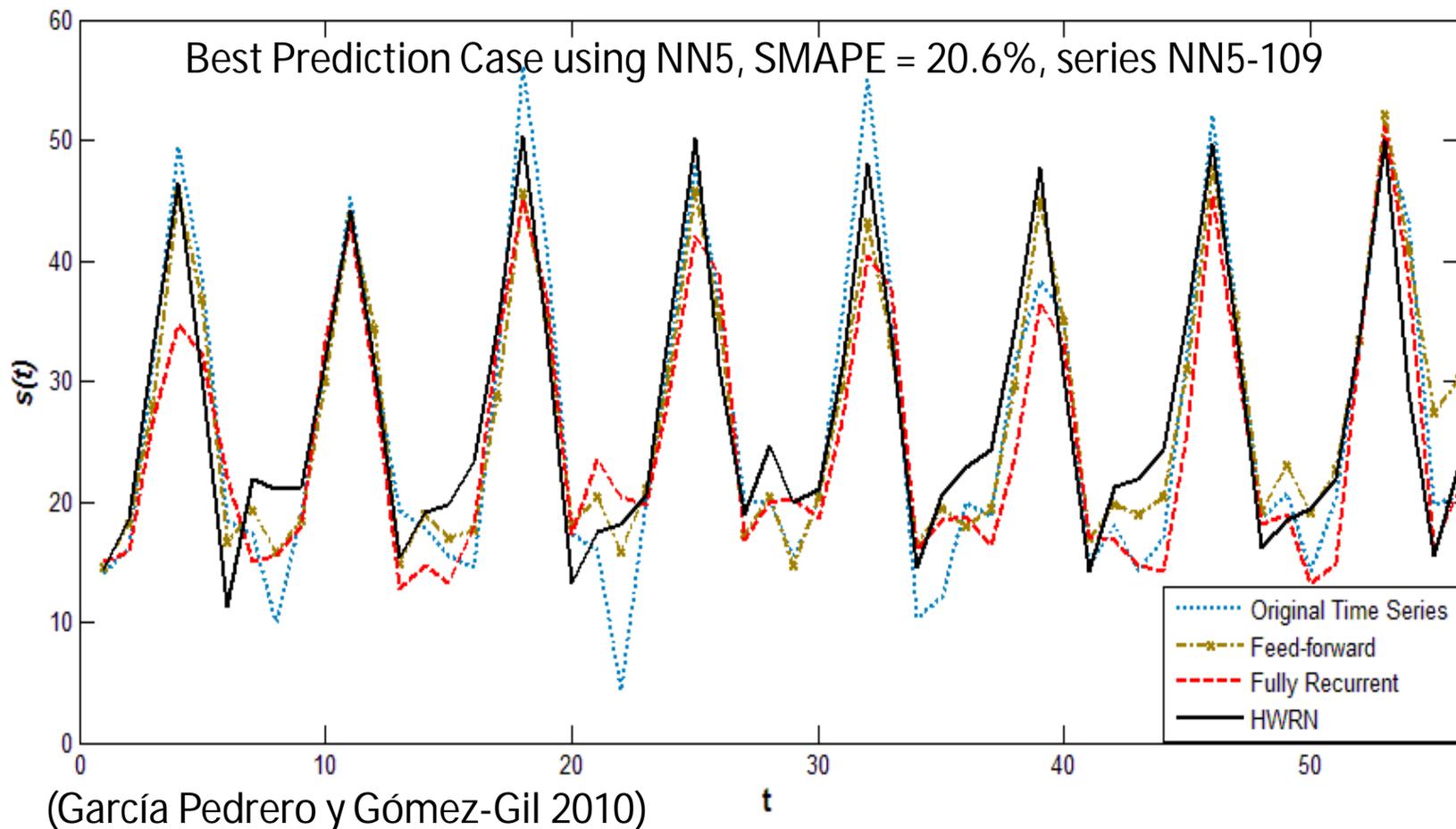


Ejemplo de una serie financiera: NN5-001



(Crone 2008)

Mejor caso de predicción de la HWRN sobre series NN5



Conclusiones



- Existe una importante necesidad de modelar lo mejor posible sistemas dinámicos altamente no lineales o caóticos.
- Las redes recurrentes con arquitecturas especializadas han mostrado los mejores resultados para predicción a largo plazo de series caóticas.
- Aún existen problemas para usar eficientemente redes recurrentes , debido a los tiempos de entrenamiento.
- Se requiere investigar sobre mejores algoritmos de entrenamiento y topologías mas eficientes.



Tonantzintla church
(c) P. Gómez Gil



Coordinación de
Ciencias Computacionales
www.inaoep.mx

Gracias por su atención!

pgomez@inaoep.mx
ccc.inaoep.mx/~pgomez

Esta presentación está disponible en:

<http://ccc.inaoep.mx/~pgomez/conferences/PggITM13.pdf>

Referencias (1/2)

- Crone S.F.: "NN5 forecasting competition for artificial neural networks & computational Intelligence." Available at: <http://www.neural-corecasting-competition.com/>. Last consulted at March 2009 (2008)
- Domingo P. "A few useful things to know about machine learning" Communications of the ACM, October 2012 Vol. 55, No. 10.
- García-Pedrero, A. Arquitectura Neuronal Apoyada en Señales Reconstruidas con Wavelets para predicción de Series de Tiempo Caóticas (A neural architecture supported by wavelet's reconstructed signals for chaotic time series prediction). Master Thesis (in Spanish), Computational Department, National Institute of Astrophysics, Optics and Electronics (2009)
- García-Pedrero, A and P. Gómez-Gil. "Time Series Forecasting using Recurrent Neural Networks and Wavelet Reconstructed Signals". Proceedings of the 20th. IEEE International Conference on Electronics, Communications and Computers. CONIELECOMP 2010. Puebla

Referencias (2/2)

- Gómez-Gil P, Ramírez-Cortés JM, Pomares Hernández SE, Alarcón-Aquino V. "A Neural Network Scheme for Long-term Forecasting of Chaotic Time Series" Neural Processing Letters. Vol.33, No. 3, June 2011. pp 215-233. Published online: March 8, 2011. DOI: 10.1007/s11063-011-9174-0 (cited at JCR Science Edition—2009).
- Gómez-Gil, P. Notas del curso Redes Neuronales Artificiales, INAOE, 2011. Disponible en: [http://ccc.inaoep.mx/~pgomez/cursos/redes neuronales artificiales/](http://ccc.inaoep.mx/~pgomez/cursos/redes_neuronales_artificiales/) -> presentaciones
- Glass, Leon. "Complex Cardiac Rhythms," Nature, Vol. 330, No. 24/31, pp. 695-696, December 1987.
- Haykin, Simon. Neural Networks and Learning Machines. Pearson, Upper Saddle River, 2009.
- Kaplan, Daniel T. and Richard J. Cohen. "Is Fibrillation Chaos?" Circulation Research, Vol. 67, No. 4, October 1990.