

## Aplicación de Redes Neuronales Artificiales al cálculo de previsiones en el Servicio de Salud del Principado de Asturias

Raúl Pino Diez<sup>1</sup>, José Parreño Fernández<sup>1</sup>, David de la Fuente García<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Administración de Empresas y Contabilidad. EPSI de Gijón. Campus de Viesques s/n, 33204 Gijón. [pino@uniovi.es](mailto:pino@uniovi.es) ; [parreno@epsig.uniovi.es](mailto:parreno@epsig.uniovi.es) ; [david@uniovi.es](mailto:david@uniovi.es)

### Resumen

*En España, los gobiernos de cada Comunidad Autónoma se gastan una gran cantidad de dinero en Sanidad. En concreto, una importante preocupación es el gasto en medicinas financiadas parcial o totalmente por la Seguridad Social. Por tanto, puede resultar muy importante para las Administraciones disponer de previsiones que permitan ajustar mejor los presupuestos en medicamentos. En este trabajo se realizan previsiones para dos series temporales compuestas por datos relativos al número de recetas tramitadas por el Servicio de Salud del Principado de Asturias (SESPA), tanto para trabajadores en activo como para jubilados. Para el cálculo de las previsiones se utilizan las Redes Neuronales Artificiales y se comparan los resultados con los obtenidos utilizando la conocida metodología ARIMA de Box-Jenkins.*

**Palabras clave:** Previsión, Series Temporales, Box-Jenkins, Redes Neuronales

### 1. Introducción

El traspaso de competencias en materia sanitaria del Estado Español al Principado de Asturias coincide en el tiempo con el cambio del sistema de financiación de las Comunidades Autónomas de Régimen Común. En este sentido, en enero de 2002 entra en vigor el nuevo sistema de financiación autonómica pactado en el seno del Consejo de Política Fiscal y Financiera, el 27 de julio de 2001.

Este nuevo sistema ha sido desarrollado legislativamente a través de la Ley Orgánica 7/2001 de modificación de la Ley Orgánica de Financiación de las Comunidades Autónomas, la Ley 22/2001 reguladora del Fondo de Compensación Interterritorial y la Ley 21/2001, por la que se regulan las medidas fiscales y administrativas del nuevo sistema de financiación de las Comunidades Autónomas de Régimen Común. El desarrollo legislativo se completó, en lo referente a esta Comunidad Autónoma, con la promulgación de la Ley 20/2002, de 1 de julio, por la que determina el régimen de cesión de tributos del Estado a la Comunidad Autónoma del Principado de Asturias y se fija el alcance y las condiciones de dicha cesión.

En Asturias, se han compatibilizado, de forma transitoria hasta el año 2002, dos Instituciones: el INSALUD, que gestionaba provisionalmente la Asistencia Sanitaria de la Seguridad Social y el Servicio de Salud del Principado de Asturias (SESPA), creado por la Ley 1/1992, de 2 de julio (aunque su efectivo funcionamiento no se produce hasta dos años después) como ente de derecho público adscrito a la Consejería de Salud y Servicios Sanitarios, dedicado a la realización de las actividades sanitarias y a la gestión de los servicios sanitarios propios de la Comunidad Autónoma, así como a la preparación organizativa para la asunción de las

transferencias. El SESPA es, por tanto, la pieza básica en Asturias del Sistema Nacional de Salud previsto por la Ley General de Sanidad de 1986. Este ente, al gozar ya de una trayectoria como ente gestor de servicios y de políticas, es el instrumento del que dispone la Administración Autonómica para asumir el reto que supone la transferencia de la gestión de los servicios sanitarios y de salud que hasta entonces eran responsabilidad de la Administración General del Estado, fundamentalmente del INSALUD. Debe en todo caso, a parte de la adecuación de su estructura organizativa y de funcionamiento para este 14 nuevo reto, garantizar la participación efectiva de la sociedad y de los trabajadores de la sanidad, a través de unos mecanismos democráticos y de representación en la planificación, gestión y evaluación.

En 2003, la Sanidad asturiana contaba con una dotación total de 1.031 millones de euros, cifra que representaba el 34% del presupuesto del Principado de Asturias. El gasto medio por habitante en materia de sanidad ascendía a 960 euros. El objetivo del presupuesto sanitario asturiano es desarrollar un sistema sanitario de calidad y modernizar las instalaciones para que todos los ciudadanos dispongan de un servicio público de salud seguro y eficaz. Del presupuesto de sanidad, 245 millones de euros se destinaron a hacer frente al pago de las recetas de farmacia.

Según datos de la Dirección General de Calidad y Atención Ciudadana del Principado de Asturias, entre enero y diciembre de 2002, los asturianos han consumido fármacos por valor de 233 millones de euros. La cifra se aleja bastante de los 211 millones de euros que se invirtieron, por el mismo concepto, el año anterior. El crecimiento regional del 10,2% sitúa a Asturias por encima de la media nacional, donde el incremento fue del 9,9%. El 70% del gasto farmacéutico en Asturias corresponde a pensionistas. Mientras que a un paciente no pensionista, al que se le prescriben 5 recetas al año, gasta una media de 60 euros, un pensionista consume 32 recetas y genera un gasto de 384 euros.

El Gobierno del Principado de Asturias está trabajando en un Plan para reducir el gasto farmacéutico. Este plan tiene tres objetivos básicos: 1) impulsar la prescripción de medicamentos en función de sus principios activos o compuestos químicos y no de las marcas comerciales; 2) intentar lograr la participación de médicos, farmacéuticos y pacientes; y 3) regular la relación entre los médicos y los laboratorios farmacéuticos a través de un decreto. En este sentido, la posibilidad de contar con previsiones fiables de la evolución del gasto farmacéutico, proporcionaría una importante ayuda a la hora de presupuestar los gastos en medicamentos.

En este trabajo se realizan previsiones para dos series temporales compuestas por datos relativos al número de recetas tramitadas por el Servicio de Salud del Principado de Asturias, tanto para trabajadores en activo como para jubilados.

## **2. Cálculo de previsiones con Redes Neuronales Artificiales**

Hasta los primeros años 20, las previsiones se calculaban simplemente extrapolando la serie en el tiempo. El principio de lo que podemos llamar “predicción moderna” de series temporales se puede fijar en el año 1927, cuando Yule inventó la técnica autorregresiva para pronosticar el número anual de manchas solares (Yule, 1927). Su modelo pronosticaba el siguiente valor como una suma ponderada de las observaciones previas de la serie. Para poder obtener un comportamiento interesante de estos sistemas lineales, era necesario asumir la intervención de un factor externo (ruido), que afectaba al sistema lineal. Durante el medio

siglo siguiente, se asumía que las series temporales eran generadas por sistemas lineales afectados por un ruido, y todas las investigaciones culminaron en la metodología ARIMA de Box-Jenkins (Box and Jenkins, 1970). Sin embargo, existen casos simples para los que esta última metodología es poco adecuada. El hecho de que series temporales aparentemente complicadas puedan ser generadas por ecuaciones muy simples, hace necesario un marco teórico mucho más general para el análisis y predicción de series temporales. Así fueron surgiendo estudios en los que se trataban series no estacionarias y/o no lineales, con nuevos métodos: modelos bilineales, biespectrales, de umbral, etc. (Tong, 1983, 1990; Priestley, 1988; Tsay, 1991; Subba Rao, 1992).

En los años 80, ocurrieron dos acontecimientos cruciales en la evolución de los estudios sobre series temporales. Por un lado, el incremento en la potencia de los ordenadores personales, permitió el estudio de series temporales mucho más largas, la aplicación de algoritmos más complejos, y la visualización interactiva tanto de los datos como de los resultados. El segundo hecho fue el desarrollo de las técnicas de aprendizaje automático y concretamente de las Redes Neuronales Artificiales.

Las Redes Neuronales Artificiales (RNAs) son modelos matemáticos inspirados en la organización y el funcionamiento de las neuronas biológicas. Existen numerosas variantes de RNAs que están relacionadas con la naturaleza de la tarea que se ha asignado. De la misma manera, también existen distintas variaciones sobre cómo modelar la neurona; en algunos casos se asemejan mucho a las neuronas biológicas mientras que en otros, los modelos son muy diferentes.

La literatura sugiere algunas características de las RNAs que las hacen especialmente interesantes en su aplicación a la previsión de series temporales. Fundamentalmente se señalan dos: la capacidad de las RN de aproximar prácticamente cualquier función (incluso las no lineales), y la posibilidad de hacer aproximaciones “*piece-wise*” o por trozos, de las funciones.

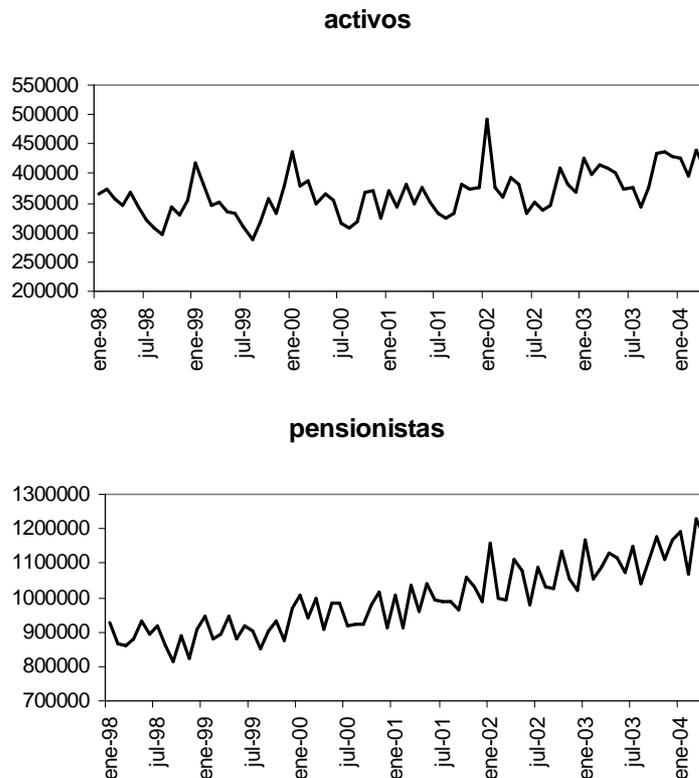
Desde el punto de vista matemático, las RNAs se pueden considerar como aproximadores universales de funciones (Hornik et al., 1989; Cybenko, 1989). Esto significa que pueden automáticamente aproximar la función que mejor se ajuste a los datos. Mientras que esta propiedad no tiene mucho valor si la relación funcional es simple (por ejemplo lineal), permite a las RNAs extraer relaciones cuando las funciones son muy complejas. Además las RNAs son intrínsecamente no lineales (Rumelhart and McClelland, 1986), lo cual implica no sólo que pueden estimar correctamente funciones no lineales, sino que también pueden extraer elementos no lineales de los datos, una vez extraídos los términos lineales.

Por otro lado, una RNA con una o más capas ocultas, puede dividir el espacio muestral automáticamente y construir diferentes funciones en diferentes porciones del espacio. Esto significa que las redes neuronales poseen la capacidad de construir modelos no lineales “*piece-wise*”. Collopy y Armstrong (1992), revisaron las opiniones de expertos en previsión, que coinciden en afirmar la importancia de contar con modelos con estas características, es decir, capaces de identificar y tratar cambios abruptos en los patrones de la serie temporal.

### **3. Cálculo de previsiones en el SESPA**

Como se ha comentado anteriormente, en este trabajo se realizan previsiones para dos series temporales compuestas por datos relativos al número de recetas tramitadas por el Servicio de

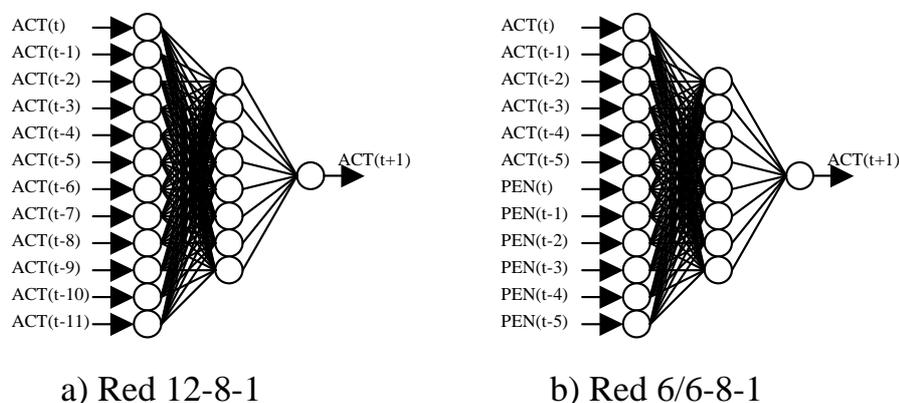
Salud del Principado de Asturias (SESPA), tanto para trabajadores en activo como para jubilados. Se dispone de datos mensuales que van desde Enero de 1998 hasta Abril de 2004.



**Figura 1.** Número de recetas tramitadas en Asturias desde enero de 1998 a abril de 2004

El procedimiento seguido consiste en modelizar las series con los datos desde Enero de 1998 hasta Diciembre de 2003 y obtener previsiones para el período Enero-Abril 2004, que puedan ser comparados con los datos reales disponibles (Figura 1).

En el caso de las Redes Neuronales Artificiales, se ha utilizado la conocida arquitectura denominada *Perceptrón Multicapa* (Multilayer Perceptron, MLP); después de numerosas pruebas para detectar la configuración idónea de la red en cuanto a número de neuronas en las capas de entrada y oculta, se ha optado por una red 12-8-1, es decir, una red con 12 neuronas en la capa de entrada, que se corresponden con los 12 valores inmediatamente anteriores al valor que se desea pronosticar, 8 neuronas en la capa oculta y 1 en la capa de salida (figura 2.a).



a) Red 12-8-1

b) Red 6/6-8-1

**Figura 2.** Configuración de las redes neuronales utilizadas para el cálculo de previsiones de la serie temporal “Recetas para Trabajadores en Activo”

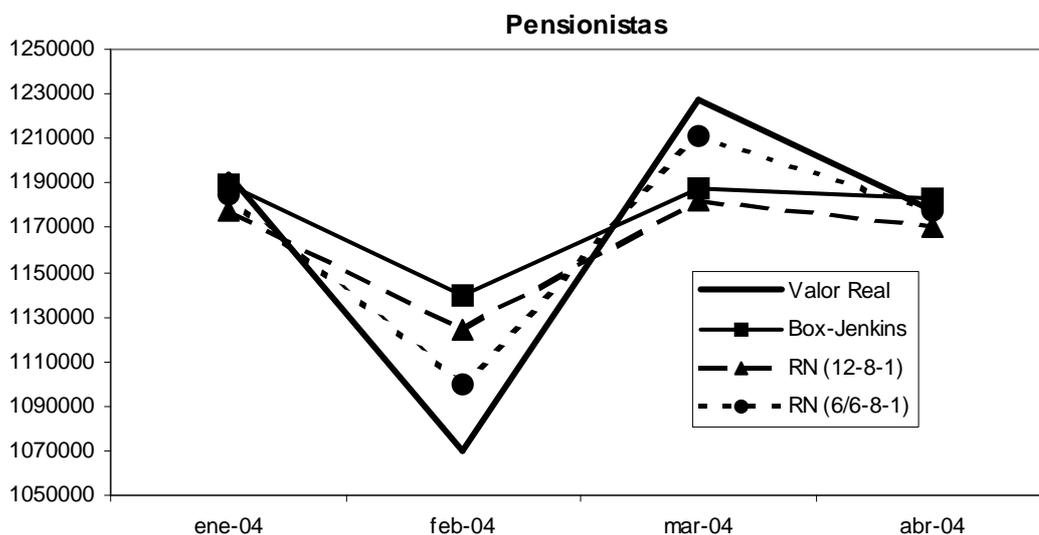
Para las dos series a pronosticar (trabajadores en activo y pensionistas), se han probado dos alternativas: tratar las series como univariantes, es decir, cada serie depende únicamente de su propio pasado; o como un sistema multivariante en el que cada serie depende no solo de su propio pasado sino también del pasado de la otra serie. En este último caso, los 12 valores de las neuronas de la capa de entrada, se corresponden con los 6 datos anteriores de cada una de las series, por lo que la red que se utiliza es 6/6-8-1 (figura 2.b).

Después de entrenar todas las redes utilizando el conocido algoritmo “error backpropagation with momentum”, utilizando el programa NeuralPlanner de simulación de Redes Neuronales Artificiales, se han obtenido los resultados que aparecen tabulados en la tabla 1, en la que se muestra el MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) para los ejemplos de entrenamiento (*training samples*) y los ejemplos de test (*test samples*, correspondientes a los valores de las series desde Enero de 2004 a Abril de 2004). Se recoge también en la tabla el error de previsión obtenido al calcular las previsiones mediante la metodología ARIMA de Box-Jenkins.

**Tabla 1.** MAPE de las previsiones calculadas con Redes Neuronales

	<i>Población Activa</i>			<i>Pensionistas</i>		
	<i>Box-Jenkins</i>	<i>12-8-1</i>	<i>6/6-8-1</i>	<i>Box-Jenkins</i>	<i>12-8-1</i>	<i>6/6-8-1</i>
<i>Error de Entrenamiento (training samples)</i>		3,75%	3,50%		2,54%	1,17%
<i>Error de Previsión (test samples)</i>	6,78%	3,98%	3,85%	2,59%	2,58%	1,21%

En las figuras 3 y 4 se representan las previsiones calculadas para las dos series temporales junto con el valor real de cada una de las series.



**Figura 3.** Valor real y previsiones para la serie temporal “Recetas para Pensionistas”

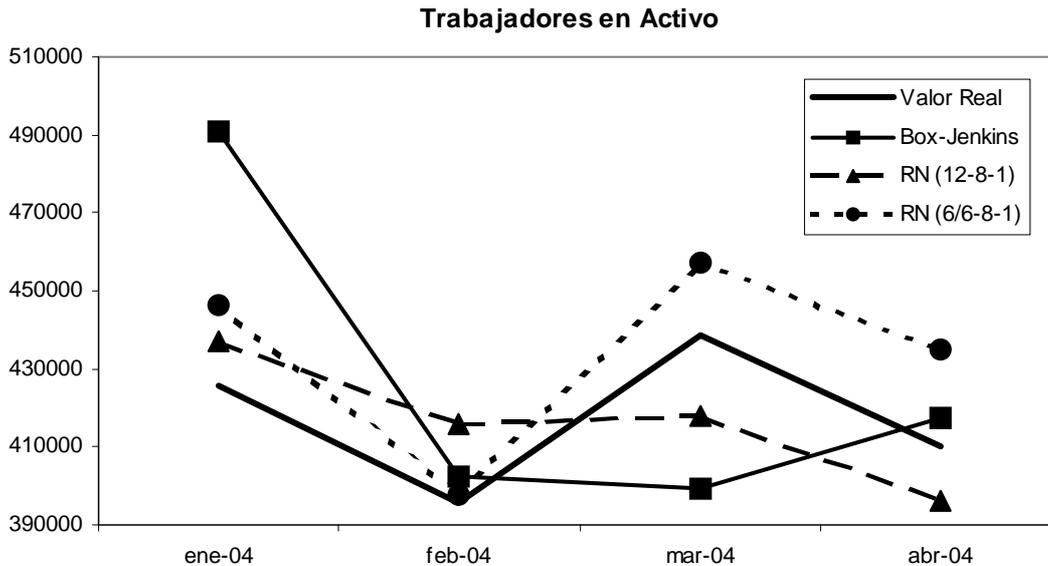


Figura 3. Valor real y previsiones para la serie temporal “Recetas para Trabajadores en Activo”

#### 4. Conclusiones

De todos es sabido que un elevado porcentaje del presupuesto de las Comunidades Autónomas españolas está destinado a cubrir los gastos sanitarios. En concreto, una importante preocupación es el gasto en medicinas financiadas parcial o totalmente por la Seguridad Social. Por tanto, puede resultar muy importante para las Administraciones disponer de previsiones que permitan ajustar mejor los presupuestos en medicamentos. En este trabajo se han calculado previsiones para dos series temporales compuestas por datos relativos al número de recetas tramitadas por el Servicio de Salud del Principado de Asturias (SESPA), tanto para Trabajadores en Activo como para Jubilados. En este trabajo, se ha utilizado la conocida metodología ARIMA de Box-Jenkins, como una técnica clásica, rigurosa y sobradamente contrastada para el cálculo de previsiones a corto y medio plazo, y la técnica de Redes Neuronales Artificiales, más reciente que la anterior pero que cada vez se utiliza más debido fundamentalmente a la sencillez de la metodología y a las indudables ventajas que ofrece, sobre todo en cuanto a su flexibilidad.

Los resultados obtenidos indican que, aunque los dos métodos proporcionan unos resultados aceptables para las dos series pronosticadas, la aproximación mediante Redes Neuronales mejora claramente los resultados de la metodología ARIMA. Además se aprecia una clara mejoría cuando se incluyen las dos series como variables explicativas en el cálculo de las previsiones de cualquiera de ellas, demostrándose que en realidad las dos series temporales se ven mutuamente influidas, como si se tratara de un sistema multivariante de dos entradas y dos salidas.

#### Referencias

Box, G.E. and Jenkins, G.M. (1970): *Time Series Analysis*, Holden-Day, San Francisco.

- Collopy, F. and Armstrong, J.S. (1992): "Expert opinions about extrapolation and the mystery of the overlooked discontinuities". *International Journal of Forecasting*, 8, pp. 575-582.
- Cybenko, G. (1989): "Approximation by Superpositions of a Sigmoidal Function", *Mathematics of Control, Signals and Systems*, 2, pp. 303-314.
- Hornik, K.; Stinchcombe, M. and White, H. (1989): "Multilayer feedforward networks are universal approximators". *Neural Networks*, 2, pp. 359-366.
- Makridakis, S. (1993): "Accuracy Measures: Theoretical and Practical Concerns". *International Journal of Forecasting*, 9, pp. 527-529.
- Priestley, M.B. (1988): *Non-Linear and Non-Stationary Time Series Analysis*. Academic Press, London.
- Rumelhart, D.E. and McClelland, J. (1986): *Parallel Distributed Processing*. MIT Press, Cambridge.
- Subba Rao, T. (1992): "Analysis of Nonlinear Time Series (and Chaos) by Bispectral Methods". In *Nonlinear Modeling and Forecasting*, (Casdagli, M. and Eubank, S., ed.). Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Proc. Vol XII, pp. 199-226.
- Tong, H. (1983): *Threshold Models in Non-Linear Time Series Analysis*. Springer-Verlag, New York.
- Tong, H. (1990): *Non-Linear Time Series: A Dynamic System Approach*. Oxford University Press, Oxford.
- Tsay, R.S. (1991): "Non-Linear Time Series Analysis: Diagnostics and Modelling". *Stat. Sinica*, 1, pp. 432-451.
- Yule, G. (1927): "On a Method of Investigating Periodicity in Disturbed Series with special reference to Wolfer's Sunspot Numbers". *Phil. Trans. Royal Society London*, 226, pp. 267-298.