

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2014

MEMORIA DEL PROYECTO Nº SV-14-GIJON-01-07

1. DATOS DEL PROYECTO

Título: Inteligencia Artificial Distribuida para la Gestión de la Demanda de Agua en el Municipio de Gijón

Investigador responsable: David de la Fuente García

Tfno: 98 518 2147

E-mail: david@uniovi.es

Otros investigadores: Raúl Pino Díez, Borja Ponte Blanco

Empresas o instituciones colaboradoras.

Empresa Municipal de Aguas de Gijón (<http://agua.gijon.es/>)

2. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

2.1 Resumen ejecutivo.

Las presiones ejercidas por la escasez de recursos y el respeto al medio ambiente, entre otras razones, han supuesto una gran amenaza tanto para la calidad como para la disponibilidad del agua en las grandes ciudades, provocado una evolución desde unas políticas hídricas clásicas basadas en el aumento de la oferta hacia unas políticas hídricas orientadas a gestionar la demanda. En este contexto, potenciado por las circunstancias actuales que rodean la economía española, se resalta la importancia de la Gestión de la Demanda de Agua, dada su trascendencia en la gestión municipal, al tratarse del recurso natural más importante. Se trata de llevar el agua a los puntos en los que se necesita, en la cantidad adecuada, con la presión requerida y en el momento preciso, utilizando para ello la menor cantidad de recursos. Una variable fundamental en este proceso, es incuestionablemente, la previsión de la demanda de agua. Sin embargo, ya no basta con previsiones medio o largoplacistas, ni incluso cortoplacistas. La gestión eficiente de este recurso exige la disponibilidad continua de previsiones inmediatas, con carácter horario, fiable.

Este proyecto propone la aplicación de modernas técnicas de Inteligencia Artificial para la Gestión de la Demanda de Agua en el municipio de Gijón, con el objetivo de desarrollar una herramienta que permita optimizar la gestión municipal. Éste ha sido el objetivo principal del proyecto. Más en concreto, se ha utilizado la Inteligencia Artificial Distribuida para crear una herramienta software orientada a la toma de decisiones en la gestión. Esta herramienta replica el Sistema de Abastecimiento de Aguas del municipio de Gijón, formado por cuatro fuentes de suministro naturales (Acuífero Somió – Deva – Cabueñes, Manantial de Llantonos, Manantial de Arrudos y Perancho, y Agua de CADASA) y cinco depósitos próximos al cliente (La Perdiz, Roces, Cerillero, Castiello y La Olla), además de la Estación de Tratamiento de Aguas Potables de La Perdiz, unidos todos ellos por una red de distribución que en total alcanza los 1.000 kilómetros de longitud. Su núcleo son modernas tecnologías de previsión, como Redes Neuronales Artificiales, para estimar la demanda de agua con periodicidad horaria en función de los datos pasados. A partir de información continua sobre el nivel de las distintas fuentes de suministro y depósitos, el sistema determinará el ajuste óptimo de la red, de forma que se optimice una determinada función objetivo, garantizando la eficiencia del sistema.

La duración total del proyecto ha sido de un año y el plan de trabajo se dividió en seis tareas. Tras una primera fase de estudios preliminares sobre la materia, se llevó a cabo un detallado estudio para determinar la función a optimizar en el sistema. A partir de ahí, se llevó a cabo el diseño, desarrollo e implementación del Sistema Multiagente que, replicando el Sistema de Abastecimiento de Aguas de

Gijón, disponga de capacidad para evaluar alternativas y seleccionar la óptima. Sobre el sistema base, se incorporaron, en primer lugar, las herramientas de previsión y, en segundo, el algoritmo genético que resuelva el problema de transporte que surge ante la necesidad de transportar agua desde varias fuentes de suministro hasta el consumidor final, a través de varios depósitos intermedios.

2.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución.

El objetivo general del proyecto ha sido la construcción de un Sistema Inteligente de ayuda en la toma de decisiones respecto a la Gestión de la Demanda de Agua en el Municipio de Gijón, que optimice la gestión, cumpliendo con un nivel de servicio determinado y minimizando los costes. Es decir, se trata de desarrollar una herramienta informática que tomando como referencia el Sistema de Abastecimiento de Aguas de la ciudad de Gijón, y asumiendo como datos de entrada información continua sobre el nivel de los distintos depósitos, datos meteorológicos y datos sobre las demandas en los últimos periodos, determine el ajuste óptimo de la red en cada momento (bombeo de agua desde los depósitos, caudales en el sistema de transporte, almacenamiento de los tanques, etc), para que el agua llegue a los puntos en los que es requerida, con la presión adecuada y en el momento oportuno. De este objetivo general, surgen tres objetivos específicos:

1. La utilización de avanzadas herramientas de previsión, como Redes Neuronales Artificiales, para la elaboración de previsiones horarias de la demanda con un mínimo error, en función de los datos pasados disponibles.
2. La investigación en torno a la bibliografía existente sobre Gestión de la Demanda de Agua contrastada con la información proporcionada por la Empresa Municipal de Aguas de Gijón, para determinar un índice, en forma de función matemática (función de fitness P), significativo de la gestión, que se buscará optimizar.
3. El uso de modernas herramientas de optimización, como Algoritmos Genéticos, para resolver el problema de transporte generado ante la necesidad de desplazar grandes cantidades de agua desde las fuentes de suministro hasta los depósitos y desde éstos hasta los puntos de consumo, con el objetivo de optimizar la red en torno a una nueva función de fitness relacionada con el transporte (función de fitness T).

Este proyecto surgió del interés de la Empresa Municipal de Aguas de Gijón (<http://agua.gijon.es/>) en estas nuevas técnicas, con el objetivo de evaluar la viabilidad de la implantación de un sistema de este tipo. En este contexto, se puede considerar que tanto el objetivo general como los objetivos específicos del proyecto 'Inteligencia Artificial Distribuida para la Gestión de la Demanda de Agua en el Municipio de Gijón' se han cumplido.

2.3 Tareas realizadas

A continuación, se describen brevemente las principales tareas realizadas en el proyecto. A las planificadas inicialmente se ha decidido añadir la tarea 3, con un estudio energético del sistema de distribución, así como la adición de la tarea 7, específicamente para la experimentación y estudio de resultados.

Tarea 1: Estudios Preliminares sobre la Materia (Duración: 2 meses - Enero y Febrero de 2014).

Conllevó, por un lado, una detallada revisión sobre la bibliografía más relevante y reciente que une los conceptos de Inteligencia Artificial y la Gestión de la Demanda de Agua y, por otro, sobre las características específicas del Sistema de Abastecimiento de Aguas de Gijón, sobre el que se ha desarrollado la herramienta.

Tarea 2: Determinación de la Función P de Fitness (Duración: 2 meses, Febrero y Marzo de 2014).

Supuso un amplio análisis de alternativas para tratar de expresar matemáticamente la función de costes a optimizar con la aplicación, cuantificando los parámetros que influyen en la decisión.

Tarea 3: Estudio Energético del Sistema de Abastecimiento (Duración: 3 meses, de Marzo a Mayo de 2014).

Se tradujo en la familiarización con el software EPANET para posteriormente la creación de un modelo de simulación que replique la red de suministro del municipio de Gijón, verificado con pruebas de funcionamiento, con el objetivo de complementar el trabajo realizado a través del Sistema Multiagente. Se realizaron simulaciones en régimen permanente y régimen extendido con objeto de valorar críticamente la red.

Tarea 4: Desarrollo de un Sistema Multiagente Simple (Duración: 3 meses, de Abril a Junio de 2014).

Conllevó la construcción, como comienzo en el desarrollo de la aplicación, de un Sistema Multiagente sencillo que replique el Sistema de Abastecimiento de Aguas de Gijón, solo incluyendo los métodos de previsión más sencillos (medias móviles y alisados exponenciales), y sin la función T de fitness, de forma que no optimizará el transporte, sino que repartirá la demanda equitativamente entre las distintas fuentes de suministro, por un lado, y los distintos depósitos, por otro. Sí que incluye la función global a optimizar (función P de fitness), determinada en el paso anterior. Además, se verificó y se validó el Sistema Multiagente Desarrollado y su funcionamiento.

Tarea 5: Incorporación de las Herramientas Avanzadas de Previsión (Duración: 3 meses, de Julio a Septiembre de 2014).

Incorporó al sistema desarrollado previamente herramientas de previsión más avanzadas (técnicas ARIMA, y Redes Neuronales) en la búsqueda de una mejor solución. Además, la comparación entre ellas, permitió extraer conclusiones sobre lo adecuada que es cada una en la previsión de series temporales como las demandas de agua, con una doble periodicidad: horaria, por un lado, y, semanal, por otro.

A modo de resumen, la figura 1 describe el diagrama de flujo del funcionamiento del programa de previsión basado en Redes Neuronales Artificiales, y la figura 2 muestra la estructura general de las redes construidas, donde m es el delay

considerado y n es el número de neuronas que hay en la capa oculta. Nótese que el sistema busca en cada momento la estructura óptima de la red, de acuerdo al esquema *Multi-Layer Perceptron* (MLP).

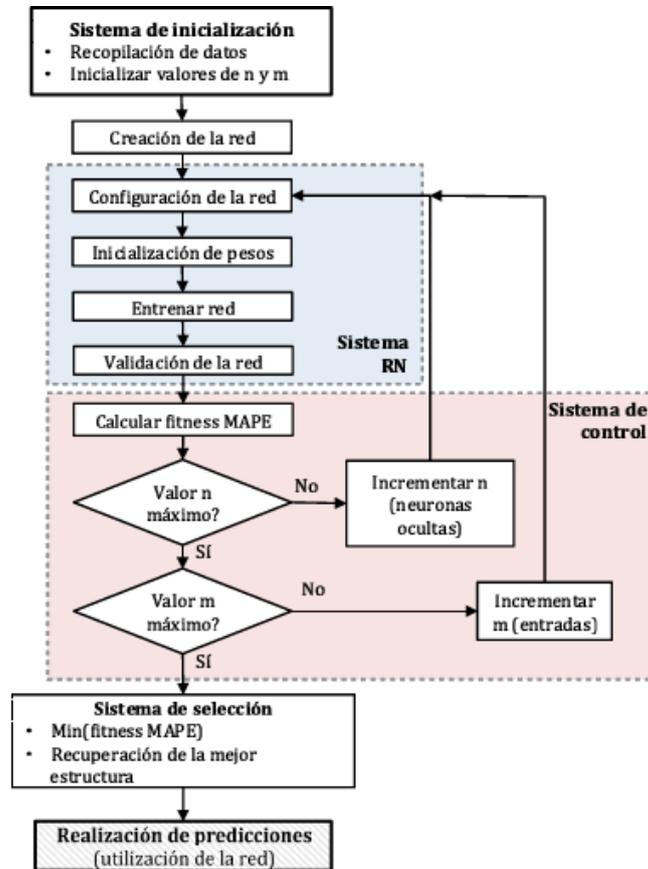


Figura 1: Diagrama de flujo del funcionamiento del programa de predicción.

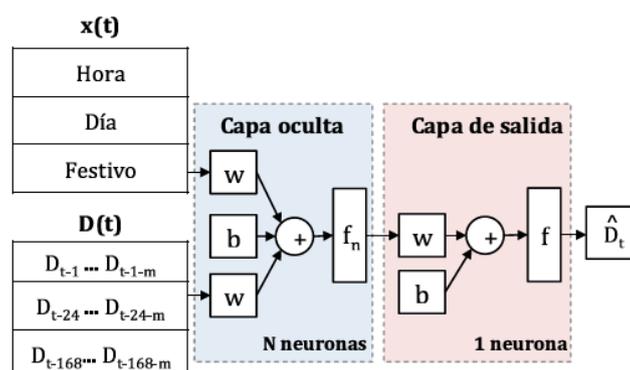


Figura 2: Estructura general de las redes neuronales construidas.

Tarea 6: Incorporación del Algoritmo Genético para Optimizar el Problema de Transporte (Duración: 3 meses, de Septiembre a Noviembre de 2014).

Incluyó en el sistema el Algoritmo Genético que determina la combinación más apropiada entre fuentes de suministro y depósitos para hacer llegar el agua a los puntos de consumo, minimizando una determinada función T de fitness, y así

asegurando un transporte eficiente del agua. Supone el último paso en el desarrollo del Sistema Multiagente.

La figura 3 representa de forma esquemática el Sistema Multiagente, desarrollado en la plataforma JADE (y con conexión con MatLab, con una base de datos, con el usuario y con el sistema físico), con los principales agentes que lo forman y las relaciones entre ellos. En la documentación citada en el apartado 2.6 se explica con más detalle la funcionalidad de los agentes.

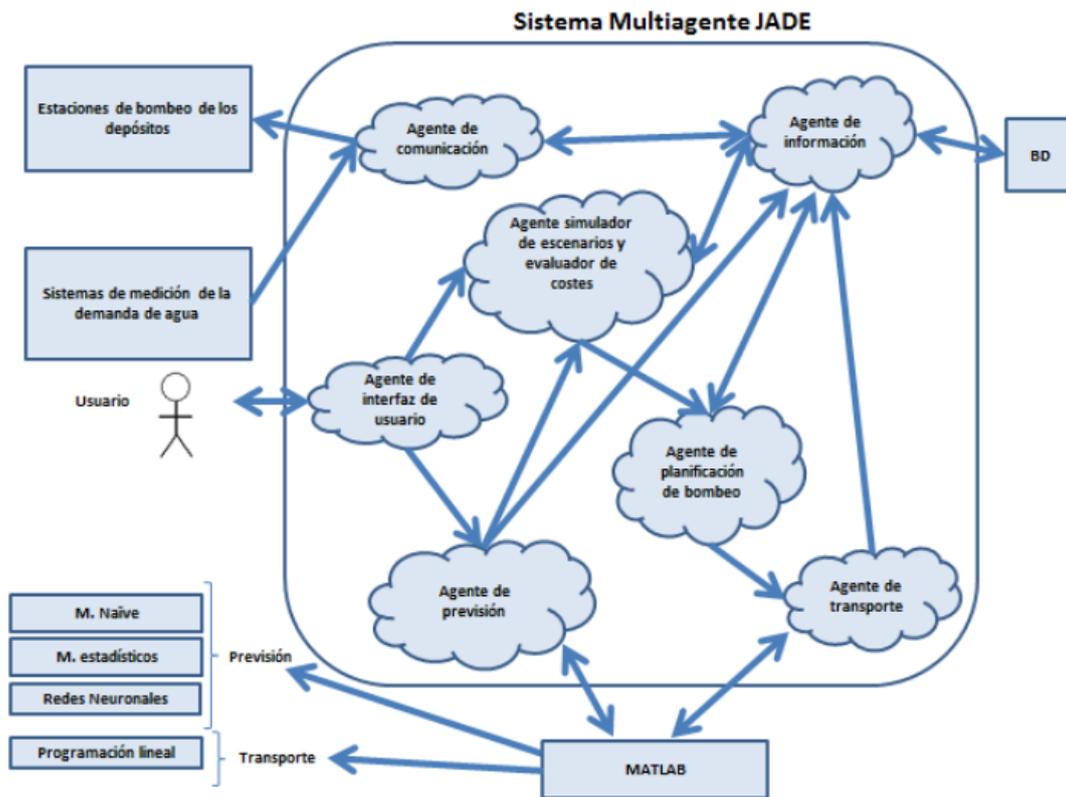


Figura 3: Esquema general del Sistema Multiagente definitivo.

Tarea 7: Experimentación y Análisis de Resultados (Duración: 3 meses, de Septiembre a Noviembre de 2014).

Una vez el Sistema Multiagente definitivo se validó y verificó, se realizaron pruebas principalmente en torno a tres ámbitos: (1) precisión del sistema de previsión; (2) reducción de costes de bombeo y almacenamiento; y (3) resolución del problema de transporte. Así, se ha comparado el rendimiento del sistema respecto a otras alternativas más simples, con el objetivo de extraer conclusiones sobre la viabilidad e interés del mismo.

Tarea 8: Difusión de Resultados (Duración: 6 meses, de Julio a Diciembre de 2014).

Abordó todas las cuestiones necesarias para difundir los resultados del proyecto de modo correcto, adecuando los mecanismos para tener el máximo impacto. En el apartado 2.6 se describen con más detalle.

De esta forma, la duración total del proyecto ha sido de un año y el plan de trabajo se dividió en ocho tareas. La tabla 1 esquematiza la planificación de las actividades a través del diagrama de Gantt del proyecto.

Tarea	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	X	X										
2		X	X									
3			X	X	X							
4				X	X	X						
5							X	X	X			
6									X	X	X	
7									X	X	X	
8							X	X	X	X	X	X

Tabla 1: Diagrama de Gantt del Proyecto.

2.4 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos se clasifican en los cuatro apartados siguientes: (1) *Resultados del sistema de previsión*, (2) *Resultados del problema de almacenamiento y bombeo*, y (3) *Resultados del problema de transporte*.

(1) *Resultados del sistema de previsión.*

Se ha evaluado el sistema de previsión desarrollado en 20 instantes distintos de la serie temporal de partida, que representa las demandas horarias de agua del municipio de Gijón a lo largo de 23 meses. Los errores correspondientes a cada uno de los métodos implementados (Redes Neuronales, Métodos Estadísticos y Métodos Naïve) por cada una de las pruebas se encuentran expuestos en la tabla 2, donde se encuentran destacados, para cada caso, el menor error cometido de cada uno de los tres métodos: en color azul el Fitness MAPE (error de ajuste, que utiliza el sistema para la selección de la mejor previsión) y en color rojo el Forecasting MAPE (error de previsión que comete el sistema al trabajar en tiempo real, considerando el error absoluto porcentual medio de las 12 siguientes previsiones). La estructura óptima de cada uno de los métodos por cada test evaluado es la que se muestra en la tabla 3.

A modo de ejemplo, en la figura 4 se ha representado el período de validación y de previsión correspondiente a un día laborable (un viernes correspondiente al test 9). Se observa cómo los tres métodos de previsión siguen la forma de la curva original. No obstante, los mejores resultados son los obtenidos mediante métodos ingenuos y Redes Neuronales.

Test	Redes Neuronales		M. Estadísticos		M. Naïve	
	Fitness MAPE	Forecasting MAPE	Fitness MAPE	Forecasting MAPE	Fitness MAPE	Forecasting MAPE
1	3.43	2.59	2.87	2.82	4.60	3.36
2	0.73	2.37	2.36	2.90	0.71	2.83
3	0.66	3.26	2.07	1.65	0.83	0.96
4	0.61	0.33	1.94	1.87	0.76	0.60
5	0.66	0.89	1.10	2.53	0.99	1.00
6	0.39	0.43	1.73	2.28	0.90	0.78
7	0.53	0.65	1.26	1.55	0.83	2.22
8	0.62	0.59	1.77	2.54	0.96	0.93
9	0.62	0.42	2.68	1.54	0.79	0.57
10	2.04	2.54	2.38	1.32	0.74	1.06
11	0.50	0.89	2.01	3.16	0.35	1.35
12	3.73	1.57	2.42	1.72	1.83	1.11
13	0.74	1.06	1.97	2.85	3.47	3.59
14	0.91	1.34	2.84	2.71	0.74	1.17
15	0.91	2.95	2.77	2.84	1.34	1.59
16	1.26	3.29	1.66	2.18	2.21	4.02
17	2.73	6.45	2.40	3.47	0.89	3.71
18	0.79	2.41	2.94	2.91	1.07	2.44
19	0.82	1.58	2.85	2.83	1.30	6.21
20	1.67	2.44	1.97	2.95	4.47	3.57
Media	1.22	1.90	2.20	2.44	1.49	2.15

Tabla 2: Errores obtenidos para cada uno de los tres métodos en las 20 pruebas realizadas.

Test	Redes Neuronales			M. estadísticos		M. Naïve
	Delays m	Neuronas n	Estructura	Modelo	Orden	Modelo
1	5	18	21-18-1	ARMA	3	2
2	1	12	9-12-1	ARMA	9	2
3	1	2	9-2-1	ARMA	8	2
4	2	8	12-8-1	ARMA	8	2
5	3	6	15-6-1	ARMA	5	2
6	3	4	15-4-1	ARMA	10	3
7	1	20	9-20-1	ARMA	10	1
8	3	16	15-16-1	ARMA	7	2
9	3	6	15-6-1	ARMA	10	2
10	2	18	12-18-1	ARMA	8	2
11	1	2	9-2-1	ARMA	6	3
12	1	10	9-10-1	ARMA	10	2
13	1	6	9-6-1	ARMA	10	2
14	1	10	9-10-1	ARMA	9	2
15	2	14	12-14-1	ARMA	2	2
16	2	16	12-16-1	AR	4	2
17	1	8	9-8-1	IVAR	2	2
18	1	2	9-2-1	IVAR	3	2
19	1	6	9-6-1	ARMA	7	2
20	1	14	9-14-1	AR	3	2

Tabla 3: Estructuras óptimas calculadas para cada una de los 20 tests.

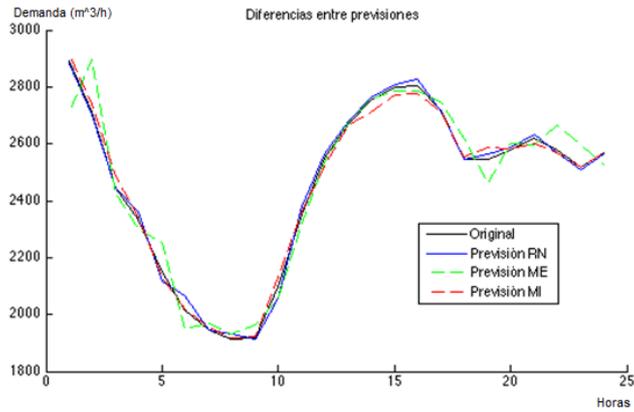


Figura 4: Resultados obtenidos para la previsión de un día laborable (test 9, viernes).

En la figura 5 se representa de forma gráfica los resultados obtenidos para el periodo de validación y de previsión de un sábado (en concreto, el test 13). En este caso, las previsiones no mantienen la exactitud de la que se ha hablado en los días laborables. De media, las Redes Neuronales son las que mantienen un error más bajo, es decir, son las que siguen con mayor exactitud la forma de la curva original, representada en color negro.

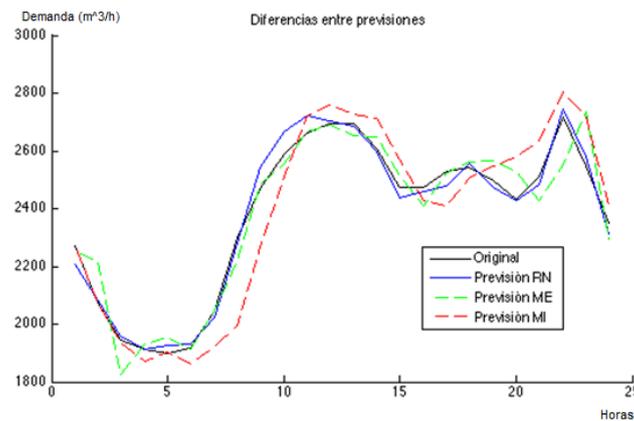


Figura 5: Resultados obtenidos para la previsión de un sábado (test 13).

Por último, la figura 6 enseña los pronósticos realizados para el tercer caso diferenciado en el pronóstico de demandas horarias de aguas: un día festivo (test 17). Nuevamente, el mejor resultado obtenido procede de Redes Neuronales.

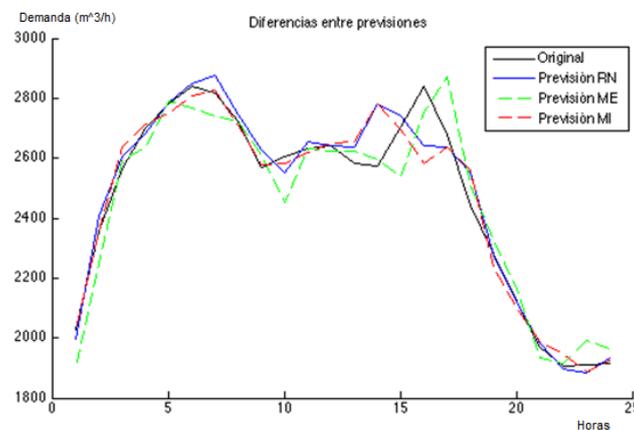


Figura 6: Resultados obtenidos para la previsión de un domingo (test 17)

A modo de resumen comparativo, puede concluirse que cada uno de los tres métodos ha probado comportarse de manera adecuada en los siguientes casos:

- Los Métodos Ingenuos dan muy buenos resultados las semanas en las que prácticamente no hay variación entre los datos de un día a otro.
- Los Métodos Estadísticos dan resultados más elevados pero siempre están dentro de un margen de error, por tanto, para días especiales, la implementación de estos métodos garantiza que los errores de pronóstico no se saldrán del valor máximo (3.5%).
- Las Redes Neuronales son las que suelen devolver pronósticos más precisos, sobre todo los días laborables y los domingos, pero para los casos anteriormente citados es necesario complementarlas con los otros dos métodos para la obtención de un buen pronóstico durante cualquier momento de la semana.

(2) Resultados del problema de almacenamiento y bombeo.

El sistema de previsión es el verdadero núcleo del Sistema Multiagente, pero no es el objetivo final del mismo sino un medio. Se trata de que el sistema genere una reducción en los costes asociados a la gestión, lo cual precisa de la disponibilidad inmediata de previsiones fiables. Unos de los costes asociados a la planificación derivan del bombeo de agua y del almacenamiento del mismo. Según el modelo considerado, ambos conllevan un coste determinado. En concreto, se han realizado los siguientes 10 tests, en los días especificados en la tabla 4 de la serie de partida. Nótese que se han escogido días de distinta clase.

Test	Pronóstico					
	Desde			Hasta		
1	16/04/09	Jueves	12	16/04/09	Jueves	23
2	17/04/09	Viernes	8	17/04/09	Viernes	19
3	08/05/09	Viernes	8	08/05/09	Viernes	19
4	16/09/09	Martes	5	16/09/09	Martes	16
5	12/09/09	Sábado	8	12/09/09	Sábado	19
6	28/10/09	Miércoles	10	28/10/09	Miércoles	21
7	30/10/09	Viernes	16	30/10/09	Viernes	3
8	15/12/09	Martes	4	15/12/09	Martes	15
9	29/03/10	Lunes	12	29/03/10	Lunes	23
10	12/05/10	Miércoles	12	12/05/10	Miércoles	23

Tabla 4: Test realizados.

La tabla 5 muestra, en cada uno de los 10 tests, tanto el error cometido (MAPE) como el coste de gestión para cada método de previsión. Estos datos están tomados para un periodo de 12 horas. Con claridad se puede observar como la reducción del error deriva en una disminución significativa de los costes asociados al bombeo y almacenamiento del agua. De esta forma, el Sistema Multiagente actúa como fuente combativa de ineficiencias, que desemboca en la reducción de costes en la gestión municipal del agua.

Los documentos citados en el apartado 2.6 recogen más pruebas interesante al respecto.

Test	Redes		Métodos Estadísticos		Métodos Ingenuos	
	MAPE	Coste (um)	MAPE	Coste (um)	MAPE	Coste (um)
1	1,40	924	3,16	2867	2,17	1636
2	1,31	1103	1,69	1602	2,83	2670
3	3,08	20705	2,08	1691	3,62	3183
4	0,33	584	1,86	2709	1,87	736
5	1,57	1091	1,72	1055	1,72	797
6	1,12	609	2,16	2119	2,25	1850
7	1,44	1602	4,45	3384	3,04	2934
8	3,99	13113	2,25	3223	4,04	5626
9	2,42	2147	2,89	2341	2,46	2207
10	0,43	540	2,28	2066	2,28	843

Tabla 5: Resultados obtenidos para cada modelo.

(3) Resultados del problema de transporte.

Para la combinación óptima de suministro para una hora concreta, se formuló un modelo matemático con una función objetivo correspondiente al coste y unas restricciones físicas.

Si se simulase por ejemplo con los datos del régimen permanente modelizado en el programa Epanet se obtendría la solución que se resume en la tabla 6, que corresponde a una demanda global de 2812 m³/h. Ha de tenerse en cuenta que las líneas con caudales nulos se deben a la existencia de otras alternativas más económicas, lo que no descarta su uso en situaciones excepcionales de suministro (averías de líneas, etc.).

Para facilitar la interpretación y visualización de los resultados se representaron gráficamente a partir del esquema general de transporte. Las elecciones de la solución pueden variar ligeramente en función de la demanda procesada en ese periodo.

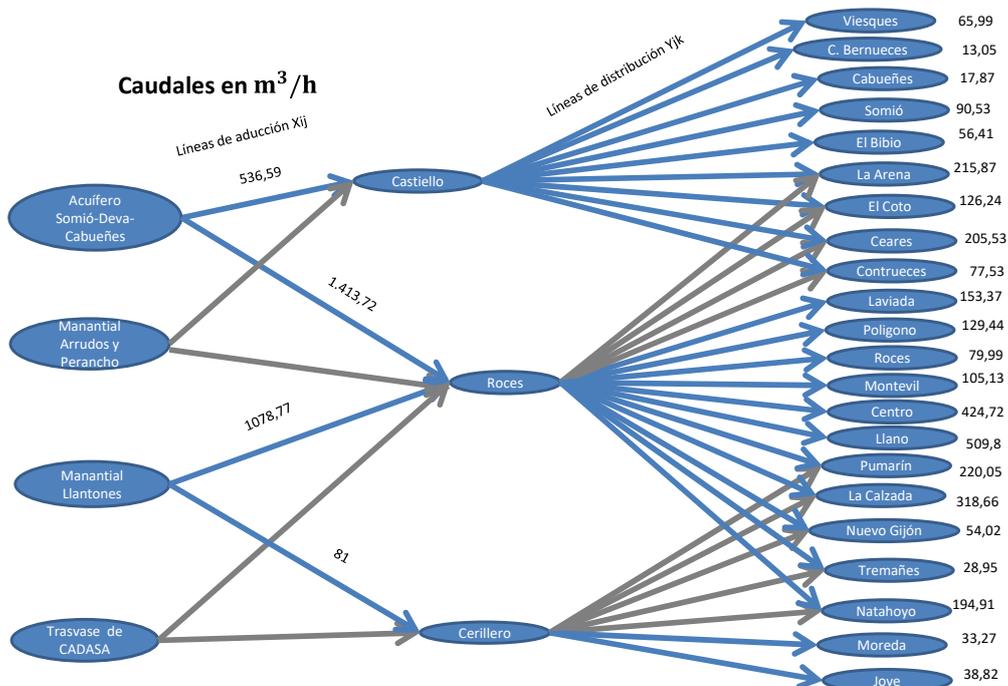


Figura 7: Resumen de líneas en activo.

Línea	Caudales (m ³ /h)
X11: Somió-Castiello	536,59
X12: Somió-Roces	1.413,72
X21: Arrudos-Castiello	0
X22: Arrudos-Roces	0
X32: Llantones-Roces	1078,77
X33: Llantones-Cerillero	81
X42: CADASA-Roces	0
X43: CADASA-Cerillero	0
Y11: Castiello-Viesques	65,99
Y12: Castiello-C. Bernueces	13,05
Y13: Castiello-Cabueñes	17,87
Y14: Castiello-Somió	90,53
Y15: Castiello-El Bibio	56,41
Y16: Castiello-La Arena	215,87
Y17: Castiello-El Coto	126,24
Y18: Castiello-Ceares	205,53
Y19: Castiello-Contrueces	77,53
Y26: Roces-La Arena	0
Y27: Roces-El Coto	0
Y28: Roces-Ceares	0
Y29: Roces-Contrueces	0
Y210: Roces-Laviada	153,37
Y211: Roces-Polígono	129,44
Y212: Roces-Roces	79,99
Y213: Roces-Montevil	105,13
Y214: Roces-Centro	424,72
Y215: Roces-Llano	509,08
Y216: Roces-Pumarín	220,05
Y217: Roces-La Calzada	318,66
Y218: Roces-Nuevo Gijón	54,02
Y219: Roces-Tremañes	28,95
Y220: Roces-Natahoyo	194,91
Y316: Cerillero-Pumarín	0
Y317: Cerillero-La Calzada	0
Y318: Cerillero-Nuevo Gijón	0
Y319: Cerillero-Tremañes	0
Y320: Cerillero-Natahoyo	0
Y321: Cerillero-Moreda	33,27
Y322: Cerillero-Jove	38,82
Precio	48.333 u.m.

Tabla 6: tabla de resultados.

Téngase también en cuenta que los números se refieren al caudal enviado o bombeado desde los orígenes de las líneas y que habría que aplicarles el 11% de pérdidas para conocer lo que realmente se recibe al final de cada tramo.

Las líneas en color gris de la figura 7 corresponden a aquellas que han sido “cerradas” o “no están en uso”, correspondientes a los caudales nulos de la tabla 6. El modelo consigue abastecer totalmente los barrios que las conectan desde otras líneas alternativas más rentables provenientes de otro depósito, prescindiendo de las opciones menos económicas.

Vemos por ejemplo, como el agente descarta utilizar la conducción de los Arrudos y de CADASA dependiendo exclusivamente de las fuentes del acuífero Somió-Deva-Cabueñes y la conducción de Llantones. Sin embargo cuando la demanda es suficientemente grande, algunas de las líneas pueden alcanzar su caudal límite, como por ejemplo, el tramo que va desde Somió-Deva-Cabueñes a Roces que alcanza el tope de 1413,72 m³/h. Entonces es cuando hay que recurrir a líneas adicionales a la saturada, que en el caso del depósito de Roces será la de la conducción de Llantones con otros 1087,77 m³/h adicionales.

Para las líneas de distribución (de caudales Y_{jk}) esta situación es mucho más inusual ya que la demanda está más dispersa entre los barrios, soportando estas tuberías finales mucho menos caudal. En estos casos el empleo de una conducción implicará la anulación de la otra para ahorrar en costes. Con todo, en los casos con dos alternativas no siempre estará la línea de distribución más económica en uso, pues por ejemplo si para abastecer el barrio limítrofe de Pumarín, surgiese una avería en la línea de Roces (más económica), entonces se podrá recurrir a la que va desde Cerillero a precio de un mayor coste de operación.

2.5 Trabajos o necesidades futuras

El proyecto “Inteligencia Artificial Distribuida para la Gestión de la Demanda de Agua en el Municipio de Gijón” fue llevado a cabo por miembros del Grupo de Ingeniería de Organización de la Universidad de Oviedo (<http://gio.uniovi.es/>) -que adaptaron metodologías conocidas y con experiencia acreditada a una cadena de suministro con unas características muy peculiares como la de la Gestión de la Demanda de Agua- con el apoyo de la Empresa Municipal de Aguas de Gijón (<http://agua.gijon.es/>). Como se mencionó anteriormente, el objetivo del proyecto no era el desarrollo de un sistema real, sino el de un prototipo que permitiese evaluar la viabilidad de la implantación de un sistema de gestión en tiempo real del citado municipio, a través de las consecuencias (ahorros, retos, limitaciones y dificultades) que este provocaría.

De esta forma, se abre una vía de colaboración entre el Grupo de Ingeniería de Organización de la Universidad de Oviedo y la Empresa Municipal de Aguas de Gijón, que se ampliará en el futuro dentro de la misma línea: la aplicación de nuevas técnicas de Inteligencia Artificial en la Gestión Municipal de la Demanda de Agua. Por ejemplo, uno de los siguientes retos es el desarrollo de un sistema de apoyo a la sectorización que la compañía está planeando llevar a cabo durante los próximos años, con el objetivo de aumentar el control de los caudales de agua a lo largo de la extensa red de distribución, lo que permita reducir las pérdidas y controlar los fraudes en la facturación. Es probable que, entre otras fuentes de

financiación, este proyecto se enmarque en una nueva convocatoria de los Proyectos de Investigación del Instituto Universitario de Tecnología de Asturias.

2.6 Divulgación de los resultados (publicaciones, artículos, ponencias...)

El sistema de previsión de la demanda de agua, basado en técnicas de Inteligencia Artificial, desarrollado en este proyecto se presentó a través de una ponencia en el congreso *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management - ICIEOM 2014* (<http://www.cio2014.org/>), celebrado del 23 al 25 de julio de 2014 en la ciudad de Málaga. Además, el artículo presentado ("*Agent-based System for Hourly Water Demand Forecasting*", escrito por Borja Ponte, David de la Fuente, Raúl Pino y Rafael Rosillo) fue galardonado en la citada conferencia con el Premio a la Mejor Investigación (*Best Research Award*).

Por otro lado, una aplicación del sistema de previsión en la reducción de una de las principales fuentes de ineficiencias en la gestión de la cadena de suministro, con el título de "*The Bullwhip Effect in Water Demand Management: Taming It through an Artificial Neural Networks-Based System*", escrito por Borja Ponte, Laura Ruano, David de la Fuente y Raúl Pino, fue seleccionado por la revista *Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua* (<http://www.iwaponline.com/jws/>), de la editorial IWA Publishing e incluida en la prestigiosa base de datos de *Web of Science* (<https://www.accesowok.fecyt.es>). El artículo estará disponible *on line* desde enero del próximo 2015.

Además, la investigación llevada a cabo desembocó en la elaboración de dos Proyectos Fin de Carrera de la titulación de Ingeniería Industrial, que pueden consultarse en la Biblioteca de Proyectos de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón (<http://www.epigijon.uniovi.es/index.php/proyectos-fin-de-carrera>): "Aplicación de técnicas de inteligencia artificial a la previsión de la demanda y a la gestión de la cadena de suministro", presentado por Laura Ruano en julio de 2014 y calificado con "10 – Matrícula de Honor", y "Sistema inteligente para la gestión instantánea de la demanda de agua en un municipio de 300 000 habitantes", presentado por David Villar en septiembre de 2014 y calificado con "9.5 – Sobresaliente".

En lo relacionado con los próximos pasos en relación con la divulgación de los resultados, se ha elaborado un artículo, que cubre todo lo realizado en el proyecto, denominado "*Intelligent Decision Support System for Real-Time Water Demand Management*", que se enviará a una revista de alto impacto, incluida en la misma base de datos, para su evaluación. Además, parte del trabajo se presentará en julio de 2015 en Las Vegas (Nevada, Estados Unidos) en la *International Conference on Artificial Intelligence – ICAI 2015*, dentro de las conferencias simultáneas organizadas por The World Conference in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing - *WORLDCOMP 2015* (<http://www.world-academy-of-science.org/worldcomp14/ws>). Por otro lado, el Trabajo Fin de Máster de Daniel Rodríguez Díaz será presentado en junio de 2015.

3. MEMORIA ECONÓMICA

Financiación		Personal	Inventariable	Fungible	Otros gastos
IUTA	SV-14-GIJÓN-1.	3.750 €			
Otras fuentes	Referencia proyecto/contrato				
Personal Becario	Nombre	Daniel Rodríguez Díaz			
	Principales tareas	- Soporte informático en el desarrollo multiagente del sistema.			
	Período	Del 15 de marzo al 14 de agosto			
Personal Becario	Nombre	David Villar Quirós			
	Principales tareas	- Estudio detallado del Sistema de Gestión del Agua en el municipio de Gijón. - Diseño conceptual del modelo multiagente.			
	Período	Del 15 de marzo al 14 de agosto			
Personal Becario	Nombre	Laura Ruano Amengual			
	Principales tareas	- Implementación del sistema avanzado de previsión.			
	Período	Del 15 de marzo al 14 de agosto			

4. OTROS PROYECTOS O ACTIVIDADES FORMATIVAS CON FINANCIACIÓN EXTERNA

Título del proyecto	
Referencia	
Investigador/a/es principal/es	
Equipo investigador	
Periodo de vigencia	
Entidad financiadora	
Cantidad subvencionada	