

# Redes Inteligentes de Agua: Factores y métodos para la predicción del consumo residencial de agua potable

Pandolfi Daniel<sup>1</sup>, Alba Enrique<sup>3</sup>, Andrea Villagra<sup>1</sup>, Leguizamón Guillermo<sup>1 2</sup>  
[dpandolfi@uaco.unpa.edu.ar](mailto:dpandolfi@uaco.unpa.edu.ar), [eat@uma.es](mailto:eat@uma.es), [avillagra@uaco.unpa.edu.ar](mailto:avillagra@uaco.unpa.edu.ar), [legui@unsl.edu.ar](mailto:legui@unsl.edu.ar)

<sup>10</sup>Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM) Instituto de Tecnología Aplicada (ITA)  
Unidad Académica Caleta Olivia - Universidad Nacional de la Patagonia Austral

<sup>2</sup>Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC)  
Departamento de Informática - Universidad Nacional de San Luis

<sup>3</sup>Grupo NEO, Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación - Universidad de Málaga

## Resumen

El concepto de ciudades inteligentes y sostenibles se introdujo para superar los grandes desafíos que enfrenta el desarrollo urbano. Por lo tanto, el crecimiento demográfico y el cambio climático presentan nuevos retos para las administraciones gubernamentales y las empresas de consumo de agua potable. Los sistemas inteligentes de distribución de agua potable deben ser cada vez más eficientes y responder a múltiples restricciones de abastecimiento. Las variables relacionadas a la demanda residencial de agua es uno de los parámetros más difíciles de determinar para modelar en este tipo de sistemas. El objetivo de esta línea es *identificar* los distintos factores que inciden en el estudio de la demanda de consumo de agua potable a escalas espaciales y temporales, e incorporar *modelos que proporcionen estimaciones confiables para predecir* el consumo de agua urbana a nivel residencial a corto, medio y largo plazo.

**Palabras clave:** Smart City, Big Data, Redes inteligentes de agua, Machine Learning.

## Contexto

La línea de trabajo se lleva a cabo en el Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM), Instituto de Tecnología Aplicada (ITA) de la Unidad Académica Caleta Olivia Universidad Nacional de la Patagonia Austral, en el marco del Proyecto de Investigación 29/B255 “Soluciones inteligentes para el desarrollo urbano sostenible”. Este proyecto se desarrolla en cooperación con el LIDIC de la UNSL, y el Grupo NEO de la UMA (España).

## Introducción

El agua desempeña un papel crucial en la ubicación y el crecimiento de las comunidades y el Foro Económico Mundial anunció en 2015 que la crisis del agua ocupa el octavo riesgo mundial con la mayor probabilidad de ocurrir dentro de los próximos 10 años [WEF15]. La demanda de agua urbana es parte de un sistema complejo, que depende de los patrones y procesos que surgen a través de interacciones de variables a múltiple escala.

House-Peters and Chang describen en [HPC11] una amplia revisión de la capacidad de estimar la demanda de agua en múltiples escenarios climáticos, de crecimiento poblacional y relacionándolos con el modelado de procesos hidrológicos urbanos. Para el análisis de demanda residencial de agua los autores [HPC11] han descrito distintos tipos de factores temporales y espaciales. Entre los factores temporales se pueden citar variables tales como temperatura, precipitaciones, velocidad del viento, evaporación, precio del agua, crecimiento de la población, crecimiento de la población y nivel de ingresos. En los factores espaciales se pueden mencionar variables tales como edad, tamaño de la familia, educación, tamaño de las viviendas, número de habitaciones, tamaño del espacio al aire libre, piscinas, proporción de viviendas unifamiliares, tipos de vivienda, índice de diferencia de vegetación normalizada, índice de calor urbano, y políticas ambientales.

Según Corbella y Sauri [CS09] los sistemas de distribución de agua atienden a la demanda de clientes residenciales, industriales, comerciales, institucionales y públicos. Las demandas se ven afectadas tanto por factores de impacto a largo plazo como cambio poblacional, condiciones económicas y políticas de conservación del agua y otros factores de impacto a corto plazo, incluidos los patrones climáticos estacionales y las demandas pico asociadas (verano).

El comportamiento de los consumidores puede facilitar la determinación de un enfoque más proactivo de la gestión de la demanda de agua y además el desarrollo de una estrategia de intervención que logren predicciones fiables en el consumo de agua doméstica.

Trabajos recientes describen el estado de las investigaciones, particularmente para los aspectos relacionados con los modelos predictivos describimos a continuación algunas de las comunicaciones más recientes. Walker et al. [WC+15] presentan un modelo de predicción de consumo doméstico de agua basado en redes neuronales, el modelo se basa en datos reales recopilados a partir de medidores inteligentes en tiempo real. En [SY+15] se presenta el resultado de la investigación de la encuesta como parte del Sistema de Apoyo Integrado para el Uso Eficiente del Agua y la Gestión de Recursos (ISS-EWATUS) financiado por la Unión Europea (UE). El trabajo incluye el análisis de tres elementos principales para identificar para el comportamiento de los consumidores de agua domésticos: comportamientos de uso final; características sociodemográficas y de propiedad; y construcciones psicosociales tales como actitudes y creencias. Chen et al. [CY+15] proponen un modelo de evaluación comparativa para el consumo doméstico de agua basado en *Adaptive Logic Networks* (ALN), los datos del mundo real son recopilados por un sistema de control del consumo de agua instalado en Sosnowiec (Polonia) y Skiathos (Grecia). En [CY+15] los autores presentan un trabajo basado en *Deep Learning* (DL) y redes neuronales artificiales (ANN) donde muestran las aplicaciones para la simulación, la optimización y el control de la operación de los sistemas de distribución de agua. En [CV+15] se presenta una metodología para evaluar la eficiencia del uso doméstico de agua basado en la comparación entre pares. Los grupos de pares se establecieron a través de análisis de conglomerados según sus características sociodemográficas más

relevantes. Sanz y Pérez [SP15] describen una metodología de colocación de sensores basada en el análisis de presión y sensibilidad al flujo utilizando el método *Singular Value Decomposition* (Descomposición del Valor Singular) y presentan una comparación de calibración de demanda en una red real con datos sintéticos. Shabani y Naser [SN15] utilizan una amplia gama de variables explicativas en sus modelos de previsión de demanda de agua. En [VC+15] se presenta una metodología novedosa para evaluar la eficiencia del uso de agua doméstica en interiores basada en funciones de evaluación del rendimiento que convierten variables de estado (por ejemplo, caudal, volumen) en índices de rendimiento que van desde 0 (el rendimiento más bajo) hasta 300 (excelente rendimiento). [SR+15] Salleh et al. presentan un estudio donde se investiga el efecto de las variaciones en los datos de consumo de agua en la clasificación de los niveles de uso doméstico de agua. En [duPJ15] du Plessis y Jacobs analizan el uso de agua al aire libre de propiedades residenciales donde las componentes de uso de agua definidas matemáticamente y combinadas para desarrollar un modelo predictivo. En [HK15] se presenta una investigación preliminar sobre la aplicación de un enfoque de pronóstico de demanda probabilístico para identificar roturas de tuberías. El método produce un pronóstico probabilístico de la demanda futura en condiciones normales. Candelieri et al. [CS+15] proponen un algoritmo de autoaprendizaje basado en *Support Vector Machine* completamente adaptable, basado en datos, para pronosticar la demanda de agua a corto plazo y con periodicidad horaria, basados en la disponibilidad de lectores automáticos de medición (AMR). En [CY+15] los autores presentan un trabajo basado en

*Deep Learning* (DL) y redes neuronales artificiales (ANN) donde muestran las aplicaciones para la simulación, la optimización y el control de la operación de los sistemas de distribución de agua.

### Líneas de investigación y desarrollo

En esta sección se describe la línea de investigación que se lleva a cabo en el proyecto y la línea de trabajo con medio ambiente y redes inteligentes de agua.

Una ciudad inteligente es la que realiza actividades en al menos una de las seis áreas de acción inteligente: Economía inteligente, Sociedad inteligente, Gobernanza inteligente, Movilidad inteligente, Medioambiente inteligente, Modo de vida inteligente. Algunas aplicaciones que se pueden definir en estas áreas y que son de interés en este trabajo de investigación son: (a) Movilidad: rutas dinámicas personalizadas; seguridad urbana y (b) Medioambiente: gestión inteligente de la basura; agua inteligente.

La gestión de redes inteligentes de agua involucran muchas decisiones a nivel operacional tomando como base factores de decisión tales como el control de válvulas y bombas, la predicción de consumo, análisis de las variables de demanda y consumo residencial. Particularmente, esta línea de trabajo se enfocará a la predicción de la demanda de agua para el consumo residencial a tres escalas de tiempo *nowcasting*, *forecasting*, *foresight*.

### Resultados obtenidos/esperados

Como objetivo general se espera modelar, resolver e implementar un amplio y variado conjunto de servicios inteligentes de la ciudad y producir un mayor impacto en Ciencia e Industria.

Como objetivos específicos se pretende:  
 (a) Estudiar el estado de tecnologías y técnicas de Machine Learning, para resolver problemas en problemas de Smart-Water. (b) Proponer y seleccionar tecnologías a los problemas identificados. (c) Diseñar y construir prototipos de solución a los problemas identificados.

### Formación de recursos humanos

Esta línea de investigación proporcionará un marco propicio para la iniciación y/o finalización de estudios de posgrado de los integrantes docentes. De igual forma, será un ámbito adecuado para la realización de tesis de grado. En ese sentido, dos integrantes de este proyecto de investigación está desarrollando su Tesis de Maestría en temáticas afines y un integrante está desarrollando su Tesis de doctorado. Además, se cuenta con un becario alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas.

### Referencias

[CS+15] Candelieri A., Soldi D., Archetti F., Short-term forecasting of hourly water consumption by using automatic metering readers data, *Procedia Engineering*, Volume 119, 2015, Pages 844-853.  
 [CV+15] Catarina J., Vieira P., Rebelo M., Covas D., Assessment of Water use Efficiency in the Household Using Cluster Analysis, *Procedia Engineering*, Volume 119, 2015, Pages 820-827.  
 [CY+15] Chen X., Yang S.H., Yang L., Chen X., A Benchmarking Model for Household Water Consumption Based on Adaptive Logic Networks, *Procedia Engineering*, Volume 119, 2015, Pages 1391-1398.  
 [CS09] Corbella, H. M., and Sauri Pujol D. (2009), What lies behind domestic water use? A review essay on the drivers of domestic water consumption, *Bol. Asoc. Geogr. Esp.*, 50, 297-314.  
 [duPJ15] du Plessis J.L., Jacobs H. E., Procedure to Derive Parameters for Stochastic

Modelling of Outdoor Water use in Residential Estates, *Procedia Engineering*, Volume 119, 2015, Pages 803-812.

[HPC11] House-Peters, L. A., and Chang H. (2011), Urban water demand modeling: Review of concepts, methods, and organizing principles, *Water Resources Research*, vol. 47, W05401.

[HK15] Hutton C., Kapelan Z., Real-time Burst Detection in Water Distribution Systems Using a Bayesian Demand Forecasting Methodology, *Procedia Engineering*, Volume 119, 2015, Pages 13-1.

[SP15] Sanz G., Pérez R., Comparison of demand calibration in water distribution networks using pressure and flow sensors, *Procedia Engineering*, Volume 119, 2015, Pages 771-780, ISSN 1877-7058.

[SR+15] Salleh N., Rasmani K. A., Jamil N. I., The Effect of Variations in Micro-components of Domestic Water Consumption Data on the Classification of Excessive Water Usage, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 195, 2015, Pages 1865-1871.

[SN15] Shabani S., Naser Gh., Dynamic Nature of Explanatory Variables in Water Demand Forecasting, *Procedia Engineering*, Volume 119, 2015, Pages 781-787.

[SY+15] Shan Y., Yang L., Perren K., Zhang Y., Household Water Consumption: Insight from a Survey in Greece and Poland, *Procedia Engineering*, Volume 119, 2015, Pages 1409-1418.

[VC+15] Vieira P., Catarina J., Covas D., Novel Performance Assessment Indices for Domestic Water Use, *Procedia Engineering*, Volume 119, 2015, Pages 813-819.

[WC+15] Walker D., Creaco E., Vamvakieridou-Lyroudia L., Farmani R., Kapelan Z., Savić D., Forecasting Domestic Water Consumption from Smart Meter Readings Using Statistical Methods and Artificial Neural Networks, *Procedia Engineering*, Vol 119, 2015, Pages 1419-1428.

[WEF15] World Economic Forum (2015). *Global Risks 2015 Report*. Jan, 2015.

[WE+15] Wu Z. Y., El-Maghraby M., Pathak S., Applications of Deep Learning for Smart Water Networks, *Procedia Engineering*, Volume 119, 2015, Pages 479-485.