

Gestión activa de la demanda en termotanques eléctricos utilizados para el calentamiento de agua para uso sanitario instalados en los hogares de los clientes

Premio CIER de Innovación: Ing. José Vicente Camargo Hernández

2do puesto: Categoría Descentralización

Autores

Sebastian Alpuy; Gustavo Alvez; Gerardo Arias; José Ignacio Cáceres; Liliana Corna; Federico Corujo; Santiago Garabedian; Gastón Hernández; Luis Pérez; Rodrigo Porteiro; Marcelo Rey; Fernando Santomauro

Empresa

UTE – Proyecto Redes Inteligentes - Consumo Inteligente

Contacto: consumointeligente@ute.com.uy

Resumen

Uruguay posee una importante capacidad de acumulación de energía distribuida en los hogares de los clientes, y esta energía es susceptible de ser gestionada en beneficio del Sistema Eléctrico Nacional. Esta acumulación existe en los hogares de los clientes, en forma de agua caliente para uso sanitario, mediante electrodomésticos conocidos como termotanques eléctricos.

Se llevó a cabo una experiencia piloto según la cual se instalaron dispositivos tipo *Plug and Play* en los hogares de 400 clientes voluntarios. Estos dispositivos se intercalaron en la alimentación eléctrica del termotanque para transformarlo en un electrodoméstico «inteligente» y gestionable. Adecuadamente gestionados, lograron reducir el pico de consumo de una sub estación. Además de los propios

dispositivos y de su firmware, también se desarrolló un sistema informático que permite la aplicación de los algoritmos de gestión, que cumplen con el objetivo de controlar esta energía descentralizada y de hacerlo respetando la directiva primaria de no impactar en el confort de los clientes. Como incentivo, se ofreció una contrapartida económica, el acceso a una aplicación celular con varias prestaciones relativas a la gestión del termotanque y algunos servicios de valor agregado como la detección de anomalías.

Introducción

En Uruguay, el 87% de los hogares cuenta con termotanques eléctricos (INE, 2019, p.3). El termotanque eléctrico es un dispositivo que permite preparar agua caliente para uso sanitario. Consiste en un depósito presurizado, típicamente de 30 a 100 litros de capacidad y que posee una aislación térmica que minimiza las pérdidas de calor al ambiente. El agua es calentada por una resistencia eléctrica de aproximadamente 1.500 W, controlada por un termostato ajustable por el usuario para obtener agua a la temperatura deseada.

En promedio el consumo de estos dispositivos representa el 33% del consumo eléctrico de los hogares uruguayos.

Es especialmente interesante la capacidad de acumulación de energía en forma térmica (agua caliente) porque dentro de ciertos límites, permite independizar en el tiempo el consumo de energía eléctrica del consumo de agua caliente (Suthar, et al., 2011 y Schneyer, 2011). Esto abre la posibilidad de implementar una gestión activa a beneficio de todo el Sis-

tema Eléctrico, porque es un dispositivo ampliamente utilizado en todos los hogares uruguayos, y tiene una participación del 13 % en la demanda de energía eléctrica del país. Además, esta energía está almacenada en forma distribuida, pues los termotanques están presentes en todo el territorio nacional.

Con el objetivo de aprovechar el almacenamiento de energía instalado y aportarle flexibilidad al Sistema Eléctrico, en el equipo «Consumo Inteligente» del Proyecto Redes Inteligentes (PRI) de UTE, se diseñó e implementó una plataforma para gestionar en forma activa usos finales de la energía con la participación del cliente, permitiendo la telemedición y el telecontrol de los termotanques. Esta plataforma utiliza tecnologías como IoT (*Internet of Things*), Big Data e Inteligencia Artificial.

La experiencia, iniciada en el 2019, consiste en instalar dispositivos de tipo *Plug and Play* en los termotanques con la finalidad de gestionar su funcionamiento y bajar automáticamente picos de potencia en el Sistema Eléctrico, haciendo que la energía sea consumida en forma desplazada en el tiempo. Esto contribuye al uso eficiente de los activos de la red, aplazando costos de inversión en infraestructura y reduciendo pérdidas técnicas. Además, se trata de una herramienta que provee una gran fortaleza para arbitrar los costos marginales del sistema, pudiendo diferir el uso de la energía a momentos donde ellos son menores.

Gestionar en forma activa la demanda de los termotanques también ofrece oportunidades para la Descarbonización del lado de la demanda, pues con servicios de valor agregado se logra fidelizar a los clientes que usan la energía eléctrica, al tiempo que se reconvierte e integra a nuevos clientes que utilizan otros energéticos de fuentes alternativas con mayor impacto ambiental.

Observar que se hace uso de infraestructura ya existente en los puntos de consumo. Los termotanques siempre estuvieron allí, y ahora las modernas tecnologías de IoT nos permiten comandar los aparatos a distancia y adquirir datos. A su vez, ese gran volumen de datos puede ser almacenado y procesado usando *Big Data*. Todo se combina con las lecturas recibidas desde la red de Medidores Inteligentes, por lo que la experiencia es una verdadera aplicación de las tecnologías de Redes Inteligentes.

La eficiencia energética también pasa por detectar los casos extremos, ya que el sistema permite encontrar termotanques con defectos técnicos o con usos problemáticos (por ejemplo, una instalación con pérdidas de agua caliente debido a un caño roto o una canilla mal cerrada).

Tener en cuenta que las maniobras en los termotanques deben hacerse con la doble premisa de no interferir con el confort del cliente, ni tampoco introducir picos de potencia artificiales, lo que exige diseñar cuidadosamente los algoritmos.

En suma, la experiencia consiste en hacer el uso óptimo de un recurso de almacenamiento distribuido en todo el territorio nacional, por lo que se trata de una actividad de Descentralización.

Materiales y Métodos

Timer Inteligente

Se diseñó un dispositivo a medida para la gestión de los termotanques uruguayos. Utiliza la red celular para comunicarse, por lo que no necesita que el cliente tenga servicio de acceso a datos. Se dotó al mismo de un firmware que le otorga robustez y flexibilidad,

que fue desarrollado por los integrantes del equipo «Consumo Inteligente». El mismo puede ser actualizado en forma remota.



Figura 1: Termotanque y «Timer Inteligente»

El dispositivo está actualmente configurado para medir y transmitir cada un minuto potencia media, potencia instantánea, voltaje y relación señal/ruido. También puede reportar su estado interno, es decir si está permitiendo o interrumpiendo el pasaje de energía, leer o escribir la agenda de encendido/apagado, cuál es su temporización e indicar si la misma está habilitada o no.

Su instalación es sumamente sencilla, pues simplemente se conecta al tomacorriente, y luego el termotanque se enchufa al aparato con lo que en forma automática el Timer Inteligente se enrola a la Plataforma Gestión de Demanda de UTE.

Plataforma Gestión de Demanda de UTE

Esta plataforma, implementada por el equipo «Consumo Inteligente», se ocupa de coleccionar los datos que llegan desde los termotanques y también tiene la capacidad de operar sobre un conjunto específico de termotanques de manera individual o simultánea. Su diseño contempla la posibilidad de vincularse e integrar otros dispositivos o electrodomésticos «smart». Ejecuta los algoritmos que permiten manipular el conjunto de termotanques con la finalidad de no superar el umbral de carga asignado a una subestación de transformación (Centro de Transformación). Estos algoritmos también contemplan que las maniobras no interfieran con el confort de los clientes, y que el reingreso de los termotanques se haga de manera paulatina de modo tal que no se generen picos de potencia por la simultaneidad de encendidos al finalizar la gestión de forma abrupta.

La plataforma integra algoritmos de «alarmas» que permiten analizar el desempeño de los termotanques y que eventualmente, detectan aquellos que tengan problemas técnicos o usos atípicos. Esto habilita la oferta de servicios de valor agregado para los clientes participantes.

En otro orden, esta plataforma también se encarga de las operaciones logísticas implicadas en la instalación y el mantenimiento de los aparatos, centralizando los datos nominales de los clientes y de sus termotanques.

Aplicación celular

Con el objetivo de que el cliente tenga un papel protagonista y que participe activamente del control energético de su termotanque, se diseñó un módulo que está incorporado a la app estándar de la empresa y que sólo está visible para los participantes de la experien-

cia. Esta app le permite al cliente ver en tiempo real el consumo de su termotanque y consumos históricos, encenderlo o apagarlo a voluntad de manera remota y también programarle una agenda de encendido y apagado totalmente flexible. Esta funcionalidad es especialmente valiosa para aquellos clientes que poseen una tarifa definida por bandas horarias.

La app también les habilita a los clientes a suprimir toda acción de control por parte de la empresa siempre que así lo deseen.

Medidores Inteligentes

Uruguay está en proceso de dotar a todos los suministros de medición inteligente. A noviembre de 2021, 600.000 de su millón y medio de clientes ya tienen un medidor inteligente instalado. Se dispuso que todos los clientes participantes de la experiencia Termotanque Inteligente UTE también tuvieran el suyo. El medidor inteligente permite observar la curva de carga del hogar con un detalle de hasta 15 minutos.

La medición inteligente de los hogares, combinada con los datos que llegan de los timers instalados en los termotanques, habilita el diseño de los algoritmos de gestión y su aplicación. La medición inteligente también habilita el desarrollo de servicios con valor que le son ofrecidos a los participantes de la experiencia.

Resultados

Primera experiencia de gestión activa

La primera experiencia de gestión activa fue sobre los clientes afectados a la subestación N° 1872, de la ciudad de Montevideo. Los termotanques susceptibles

de ser intervenidos fueron todos los que tuvieran un timer inteligente instalado a la fecha de la prueba, que estuvieran alimentados desde la subestación N° 1872 y consumiendo en el período de la intervención. La subestación alimentaba un total de 93 clientes de los cuales 51 contaban con timers inteligentes en sus termotanques (55% de termotanques disponibles para intervención).

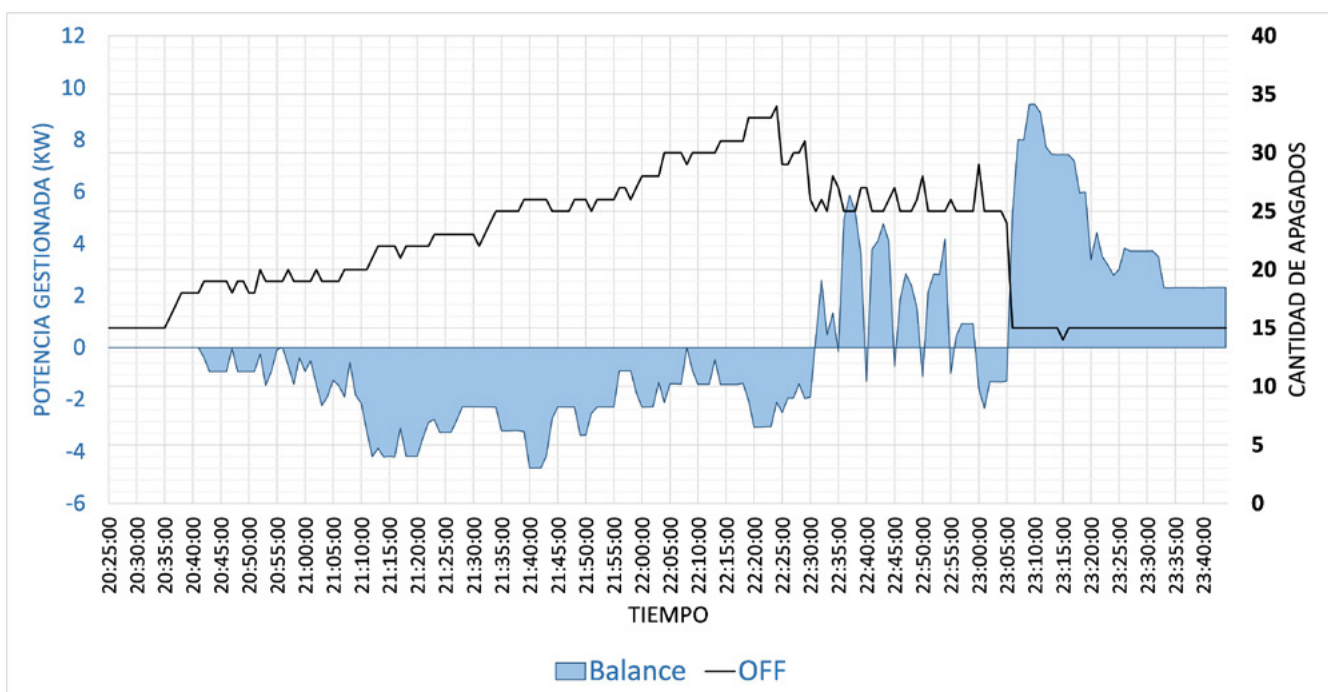
En la **Gráfica 1** tenemos la siguiente información:

- La curva de trazo negro indica la cantidad de termotanques intervenidos (apagados) en función del tiempo. Notar que comienza con un valor de 15; esto se debe a que al comienzo de la prueba ya había quince termotanques apagados porque así lo estipulaba la programación solicitada por los clientes («agenda»).
- El área celeste representa la energía gestionada. Observar que su valor es negativo por cuanto se trata de energía retirada del pico (5,8 kWh). Pos-

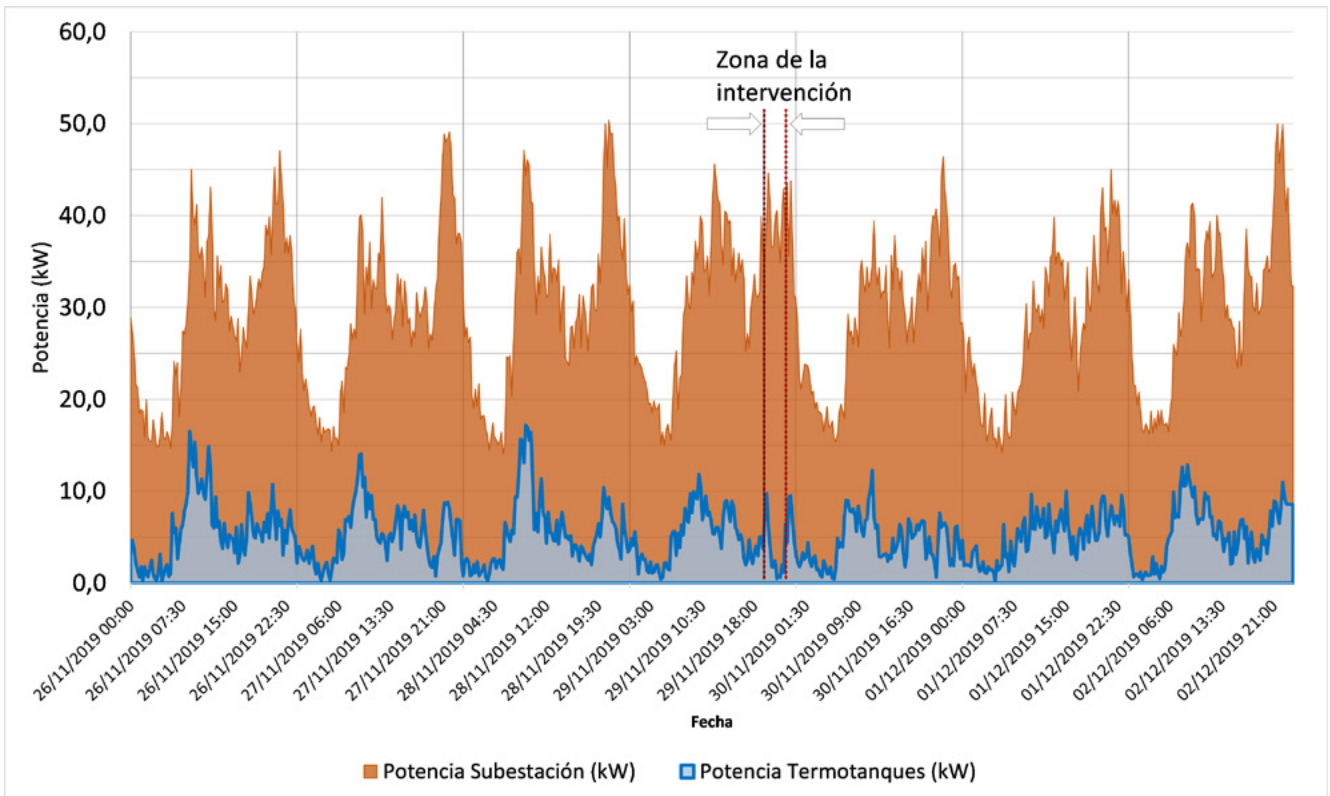
teriormente, a medida que va cayendo la demanda de la subestación, se produce un reintegro suave de la demanda de los termotanques.

En la **Gráfica 1** también se muestra un concepto muy importante: La energía solamente se traslada, no se trata de energía que se deja de consumir. Esto es lógico, pues el consumo de energía es función directa de las necesidades de agua caliente de los clientes y esto no se altera. En otras palabras, UTE no deja de vender energía y los clientes no consumen más energía, sino que este consumo se hace de manera mucho más conveniente para el uso eficiente de la red.

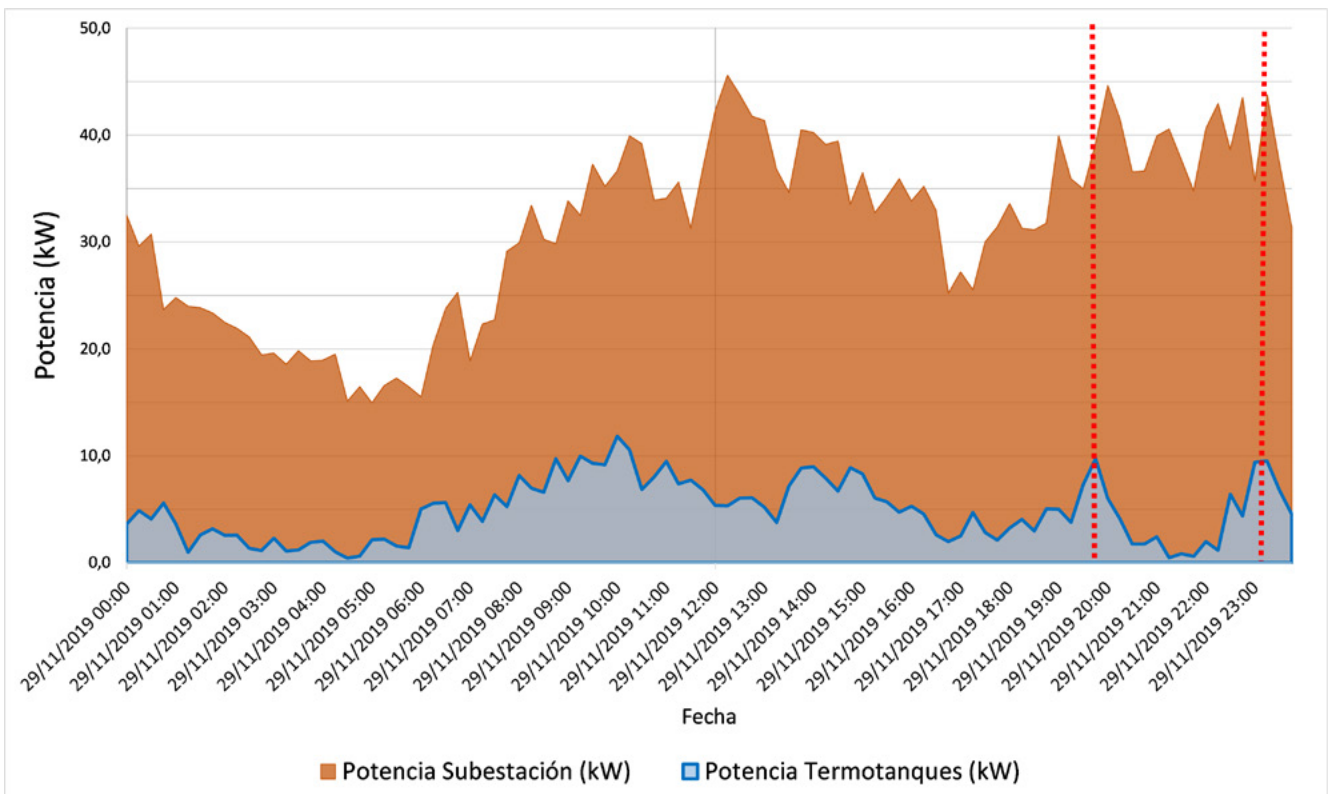
En la **Gráfica 2** se puede observar la potencia realmente consumida en la subestación SB N° 1872 en una semana. En naranja se representa la potencia total manejada por la subestación mientras que en azul podemos ver la potencia consumida por el 55% de todos los termotanques existentes en los hogares alimentados por ella, que son los que han adherido al piloto en esa zona.



Gráfica 1: Potencia gestionada y cantidad de dispositivos apagados.



Gráfica 2: Período de prueba, termotanques y subestación.



Gráfica 3: Destaque del período de intervención.

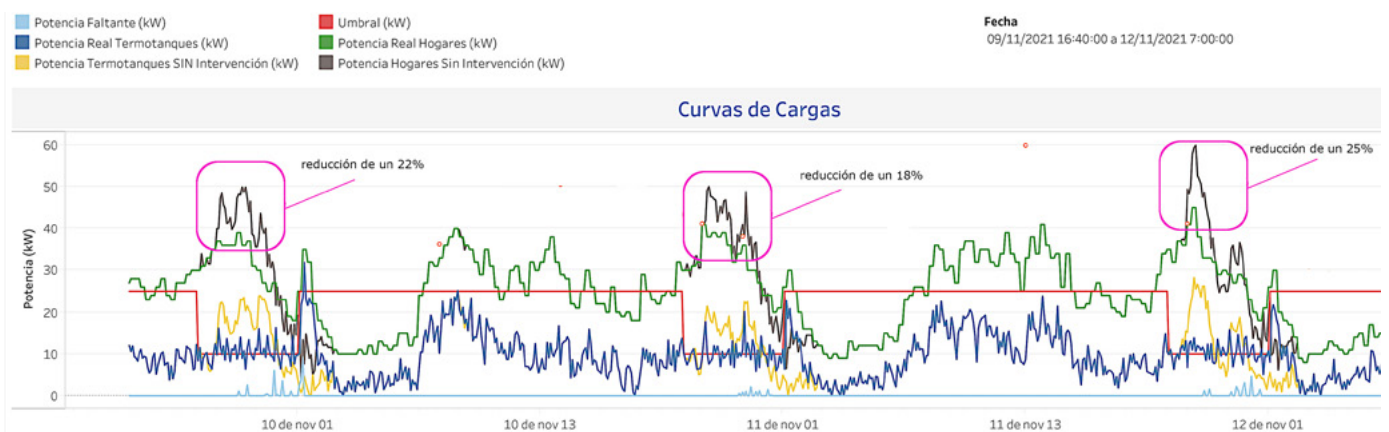
Puede verse con mayor detalle al centrarnos en un día concreto, como se muestra en la **Gráfica 3**. En los trazos punteados en rojo se destaca la ventana de tiempo donde se llevó a cabo una reducción del 10% el pico de consumo de la subestación, efectuando una verdadera acción de «peak shaving». Esto se hizo operando sobre el 22% de los termotanques alimentados de la subestación, dado que los restantes 33% adheridos al piloto estaban apagados por agenda programada por sus dueños o porque el agua dentro de su tanque estaba caliente.

Gestión activa automatizada: las intervenciones programadas

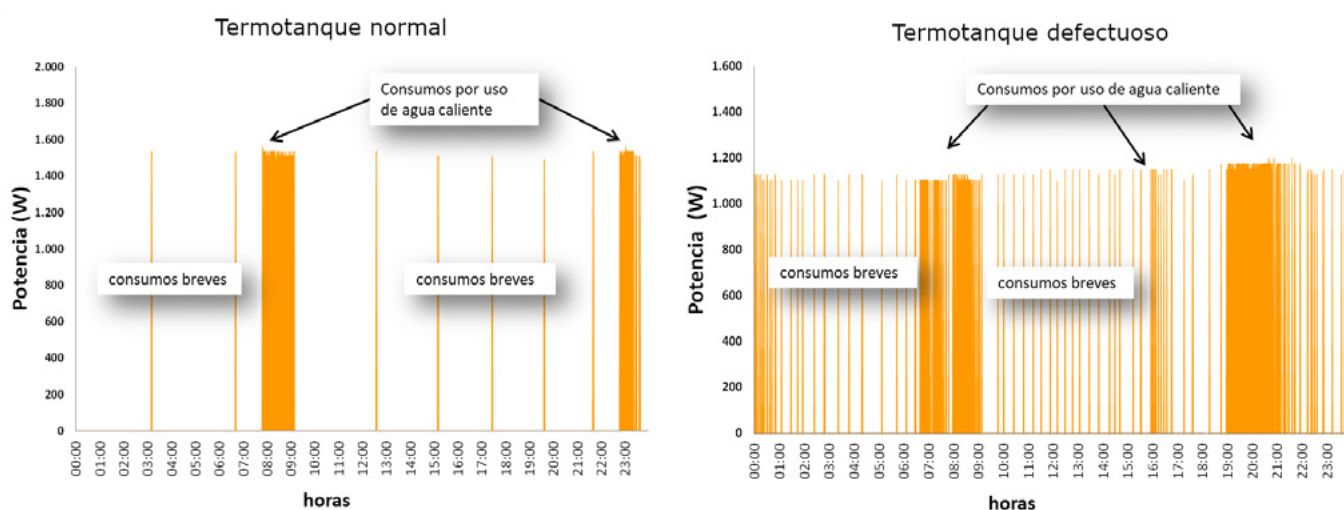
Luego del éxito de la primera experiencia, se implementó la manera de sistematizar el proceso para que las intervenciones sobre los termotanques se realizaran de manera periódica y automática. Para ello, se refinaron los algoritmos con el doble objetivo de bajar la carga de la subestación a un umbral o *setpoint* pre-

fijado, y de hacerlo sin interferir con el confort de los clientes. Los algoritmos tienen en cuenta entre otros factores las preferencias de los clientes (agendas) y el tiempo transcurrido desde que sus termotanques están encendidos o apagados. Con estos elementos se elabora un ranking o encolamiento óptimo para efectuar la desconexión temporizada estratégica de los termotanques. Es deseable que el encolamiento óptimo priorice la interrupción de los termotanques encendidos que minimicen la afectación de confort. Todo el proceso puede ser programado y ejecutado por un operador desde la Plataforma Gestión de Demanda ya mencionada.

A modo de ejemplo, puede verse en la **Gráfica 4** el funcionamiento en régimen automático del sistema, para el período del 09/11/2021 al 12/11/2021. El umbral de potencia máximo permitido para la subestación es parametrizable, en el sentido de que su valor puede establecerse por tramos y ser diferente para cada hora del día.



Gráfica 4: Ejemplo gestión automática de reducción de carga de pico.



Gráfica 5: Detección de anomalías en los termotanques.

Detección de anomalías

Se implementaron algoritmos basados en técnicas como las de cadena ocultas de Márkov (Brémaud, 1999) que permiten lograr la detección de termotanques con anomalías o defectos técnicos (ver **Gráfica 5**). Tal situación puede ser comunicada al cliente, pues un termotanque defectuoso implica altos costos de uso y potenciales problemas edilicios provocados por fugas de agua caliente por las cañerías.

Discusión y Conclusiones

La experiencia Termotanque Inteligente demuestra la factibilidad técnica de la gestión activa de la demanda en este uso, aportándole beneficios al Sistema Eléctrico. Además, resulta prometedor realizar un despliegue masivo ya que se demuestra la factibilidad comercial pues no es un tema trivial haber logrado la aceptación del producto por parte de los clientes.

El *engagement* de los clientes se logró mediante a una combinación de incentivos económicos y otorgamiento de control y poder de decisión final a través de

la app de UTE. Recibieron además otros incentivos, como informes pormenorizados sobre el desempeño de sus termotanques, su participación en el total del consumo del hogar y consejos de optimización tarifaria. Pronto también se estará en condición de ofrecerles a los clientes el detalle de cuán «verde» es el consumo de sus termotanques, integrando los datos de fuentes de generación sincronizados con los consumos. Para una población cada vez más consciente de la importancia de la Descarbonización, se considera que este es un insumo valioso.

Es importante destacar que el producto se benefició de mejoras introducidas por los propios clientes. Por ejemplo, el diseño de la app y del comportamiento de la lámpara piloto de los dispositivos (intensidad luminosa, colores y secuencias de encendido) se modificaron atendiendo a las experiencias de los clientes.

Es de vital importancia para incorporar gestión de demanda cuantificar la afectación del confort de los clientes que participan de la experiencia. UTE no dejó de considerar este aspecto y en el trabajo publicado en la revista científica *Applied Sciences* se analiza una solución exitosa para la estimación de este índice de afectación al usuario (Porteiro et al., 2021).

La estrategia aplicada para la gestión activa del termotanque puede ser trasladada a cualquier dispositivo que posea acumulación de energía y se pueda controlar a distancia, como ser bombas de calor, sistemas de calefacción con acumulación, vehículos eléctricos, entre otros.

Más información en el sitio web:

<https://portal.ute.com.uy/consumo-inteligente> y

<https://portal.ute.com.uy/piloto-termotanque-inteligente>

Reconocimientos

Especial agradecimiento a todos los colaboradores de UTE que hicieron posible esta experiencia, a las jerarquías de la empresa que inspiraron, impulsaron y apoyaron la iniciativa, a las autoridades de la CIER por la distinción otorgada y por supuesto, a los cientos de clientes voluntarios que aceptaron participar.

Referencias bibliográficas

[1] Instituto Nacional de Estadística (INE Uruguay), 2019, Boletín Técnico: Microdatos de la Encuesta Continua de Hogares 2019 [En línea]. Montevideo. [Consulta: 6 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.ine.gub.uy/documents/10181/30873/Bolet%C3%ADn+T%C3%A9cnico+Microdatos+ECH+2019/35dea1e6-98e0-41a5-ac79-46671dfcac6c>

[2] Haresh A. Suthar, Dr. Jagrut J. Gadit, 2011. Modelling and Analysis of the Simple Water Heater System. En: International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). Vol.1, No.1, pp. 49-52, ISSN: 2088-8708 49

[3] Dianarose Schneyer, Carolyn, 2011, Simulation of energy use in residential water heating systems [En línea]. Victoria. [Consulta: 6 de diciembre de 2021]. Disponible en: http://dspace.library.uvic.ca/bitstream/handle/1828/3526/SchneyerCarolyn_MASc_2011.pdf

[4] Brémaud, Pierre, 1999. Markov Chains: Gibbs Fields, Monte Carlo Simulation, and Queues. New York: Springer. ISBN: 978-1-4419-3131-3.

[5] Porteiro, Rodrigo et al., 2021, A Thermal Discomfort Index for Demand Response Control in Residential Water Heaters [En línea]. Montevideo. [Consulta: 6 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/21/10048>

[6] Jiangfeng Zhang y Xiaohua Xia, 2007, Best Switching Time of Hot Water Cylinder–Switched Optimal Control Approach [En línea]. Pretoria. [Consulta: 6 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4401505>