

Consumo eléctrico: una propuesta de gestión desarrollada en R a partir de medidores inteligentes en plantas de generación

Electricity consumption: a management proposal developed in R based on smart meters for power plants

David Eladio Barquero-Álvarez¹, Rodrigo Rojas-Morales²

Fecha de recepción: 7 de setiembre de 2020

Fecha de aprobación: 11 de enero de 2021

Barquero-Álvarez, D.E; Rojas-Morales, R. Consumo eléctrico: una propuesta de gestión desarrollada en R a partir de medidores inteligentes en plantas de generación. *Tecnología en Marcha*. Vol. 35-1. Enero-Marzo 2022. Pág 162-173.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v35i1.5367>

- 1 Ingeniero en Metalurgia; Ingeniero en Mantenimiento Industrial. Estudiante de Maestría en Ciencia y Tecnología para la Sostenibilidad del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: dbarquero@ice.go.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-6567-2970>
- 2 Biólogo. Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. Correo electrónico: rrojasM@ice.go.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-3881-9076>



Palabras clave

Consumo eléctrico; ciencia de datos; R; generación renovable; plantas de generación.

Resumen

La matriz eléctrica en Costa Rica es considerada renovable, debido al alto porcentaje de participación de fuentes limpias y la casi nula utilización de combustibles fósiles; sin embargo, es posible complementar esa sostenibilidad, mediante una mejora en la gestión del consumo eléctrico en las plantas de generación. Por otra parte, el cambio a medidores inteligentes que registran datos cada 15 minutos es una realidad en el país, lo que implica la oportunidad de proponer nuevas formas de gestión de la información de consumo, que logren utilizar todo su potencial. En relación con lo indicado, este artículo expone el desarrollo de un panel digital interactivo desarrollado en R, desde donde es posible gestionar el consumo eléctrico de dos plantas, una hidroeléctrica y otra térmica, según las necesidades de información requeridas por parte de los usuarios y a partir de la arquitectura de datos existente, incluyendo medidores inteligentes. El panel se ubica en una dirección URL, desde donde los usuarios pueden acceder y navegar para visualizar los análisis definidos, de manera amigable y práctica. La principal contribución de este estudio es ofrecer una alternativa innovadora y creativa sobre el uso de los datos masivos provenientes de los medidores inteligentes, aplicando una herramienta que mejora su gestión e incrementa la conciencia en el uso del recurso. Al ser funcional en dos plantas de tecnologías diferentes, podría considerarse como alternativa para otras instalaciones.

Keywords

Electricity consumption; data science; R; renewable generation; power plants.

Abstract

Costa Rican electricity matrix is already considered renewable due to the high running on clean sources and the near-zero use of fossil-fuels; however, it is possible to complement this sustainability by improving the management of electricity consumption in power plants. On the other hand, the change to smart meters recording data every 15 minutes is a fact in the country and it implies an opportunity to propose new ways of managing the energy consumption information to take advantage of its complete potential. In this paper an interactive digital dashboard developed in R is proposed, from where it is possible to manage the electricity consumption for both a hydroelectric and a thermal power plant, according to the previously identified requirements from the users and the existing data architecture, including smart meters. The dashboard is located at a web address, from where users access and navigate to visualize the defined analyses easily and friendly-user. The main contribution in this paper is to provide a creative and ingenious alternative for big data from smart meters through a tool that improves its management and increase the awareness of electricity usage. Since it is working for two different power plants technologies, it could be considered useful for other facilities.

Introducción

El consumo de energía eléctrica en Costa Rica, a través de los años, muestra una tendencia al aumento sostenido [1]. Esta demanda en alta tensión ha sido atendida, desde 2015, por el Sistema Eléctrico Nacional mediante fuentes renovables en más del 99%, convirtiéndose en

un logro reconocido mundialmente [2], [3], y [4], que además, está en relación directa con el desempeño positivo del Objetivo 7 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU: energía asequible y no contaminante [5].

De manera complementaria, el Objetivo 12 de los ODS, establece un especial énfasis respecto a la producción y el consumo sostenibles, mediante la eficiencia en el uso de los recursos y la energía, con el fin de mejorar la calidad de vida y generar bienestar con bajos costos, en las tres dimensiones de la sostenibilidad: ambiental, social y económica.

Precisamente para Costa Rica, el VII Plan Nacional de Energía 2015-2030 (PNE) establece la eficiencia energética como una forma significativa de reducir las emisiones. Para ello, incentiva el conocimiento del consumo energético y su eficiencia en toda la cadena de la oferta eléctrica y el avance de las redes inteligentes.

En relación con lo indicado, si bien la generación eléctrica ya es renovable por utilizar tecnologías limpias, se plantea la posibilidad de complementar la condición sostenible al considerar una mejora en la gestión del consumo eléctrico que las plantas de generación tienen para su propio funcionamiento, motivado, a su vez, en el aprovechamiento del cambio tecnológico en los sistemas de medición.

De acuerdo con [6] las empresas distribuidoras de electricidad del país utilizaban cuadrillas de técnicos para registrar manualmente la lectura de sus abonados (medidor por medidor) y para hacer llegar la información a sus departamentos de facturación. Esta forma de proceder, presentaba múltiples problemas como, por ejemplo: pérdida de información, errores de medición y retrasos. Sin embargo, hoy, la instalación masiva de medición inteligente o avanzada (AMI, por sus siglas en inglés *Advanced Metering Infrastructure*) es una realidad en el país [7], [8]; con todas las ventajas de brindar una amplia gama de información sobre el consumo eléctrico.

El cambio de tecnología en la medición de consumo tiene inclusive un interés nacional. El Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2019-2020 [9], establece como una de sus Intervenciones Estratégicas el Programa de medidores inteligentes del Sistema Eléctrico Nacional, cuyo objetivo es incrementar el número de dispositivos inteligentes en el Sistema Eléctrico para mejorar la competitividad. Se plantea la instalación de más de un millón de medidores en el país, como una de las intervenciones que impactarán la ruta de la descarbonización que el país se ha propuesto y se definen metas anuales de cantidad de medidores instalados para cada distribuidora [9].

Los medidores inteligentes recolectan información de consumo eléctrico cada 15 minutos, en lugar de una vez al mes [10], lo que permite el uso de herramientas de ciencia de datos para su gestión eficiente; no obstante, esto representa un reto desde el punto de vista computacional para su procesamiento y visualización [11]. Los datos complejos provenientes de los sistemas de distribución de energía tienen un inmenso valor. Sin embargo, es posible que las estrategias para la obtención de ese valor potencial apenas se encuentren en etapas incipientes y que la mayoría de las empresas de servicios públicos en el mundo, no estén del todo preparadas para lidiar con el creciente volumen de datos [10]. En relación con lo indicado, la carencia de casos innovadores, propuestas de aplicaciones, la poca investigación sobre el diseño de la arquitectura del sistema de análisis, junto con el uso de matemática avanzada en gran escala, representan importantes obstáculos para la adopción de análisis de big data en redes de distribución [10].

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es la creación de un panel digital interactivo, amigable y funcional en forma de página web y basado en internet de las cosas (IoT *Internet of things*), desde donde sea posible gestionar científicamente el consumo eléctrico de dos plantas de generación, una hidroeléctrica y una térmica, a partir de los datos obtenidos de medidores

inteligentes y desarrollado por completo utilizando R. La experiencia generada, con muy pocas variantes, podría aplicarse para la creación de paneles de visualización en otro tipo de instalaciones.

En la llamada “era del conocimiento”, el vínculo entre ciencia, tecnología y sociedad tiene un rol fundamental en el logro de un verdadero desarrollo sostenible, que proporcione bienestar de todos los habitantes, al transformar e innovar constantemente sus condiciones de vida, desde una perspectiva integral [12].

Materiales y métodos

Metodología ágil

El desarrollo general se llevó a cabo siguiendo los principios del Manifiesto Ágil para el Desarrollo de Software [13], específicamente mediante la aplicación de la metodología ágil Kanban [14], con el fin de lograr una gestión armoniosa, ordenada y coherente en todas las etapas.

Al requerirse un panel enfocado en el consumo eléctrico de plantas de generación, se conformó un equipo de trabajo autodirigido y autoorganizado, integrado por cuatro expertos en operación y mantenimiento de plantas. Este equipo fue responsable de la definición de las necesidades de visualización, evaluación y aprobación de las soluciones.

El trabajo se desarrolló mediante iteraciones de tres semanas, para cada una de las cuales se definía un requerimiento específico para atender, se obtenía una solución funcional y se presentaba para evaluación y validación por parte del grupo en la iteración siguiente.

El proceso de construcción, desarrollo de prototipos y su prueba (similar al utilizado por diseñadores) se recomienda para el abordaje de problemas ambiguos y abstractos. Las opciones de solución presentadas de esta manera generan una mejor comprensión del grupo, perfecciona las opciones, genera nuevas y logra consenso en el logro de una solución [15]. Se ha demostrado que existe un vínculo social, entre los usuarios y el compromiso en el uso de continuo de los paneles, generado al propiciar su integración y participación en la configuración y el desarrollo desde las primeras etapas [16].

Infraestructura

La arquitectura de IoT utilizada, se describe de manera simple mediante un modelo de 5 capas, según [17] y según se muestra en la figura 1. En la capa de percepción se encuentra el medidor inteligente (AMI) ubicado en la instalación, el cual registra energía (kWh) y demanda (kW); en la capa de red, la comunicación se lleva a cabo por protocolo Ethernet; en la capa middleware se encuentra la base de datos en Oracle y un servidor Ubuntu, de distribución Linux basado en Debian. En la capa de analíticos y generación de aplicaciones, se utiliza RServer y RStudio para generar las visualizaciones disponibles para los usuarios en formato web desde cualquier computadora en la red o mediante conexión VPN; además, otros análisis que corren en la memoria y pueden producir alertas vía correo electrónico. Todo gestionado estratégicamente mediante la capa empresarial, mediante interfaces hombre-máquina.

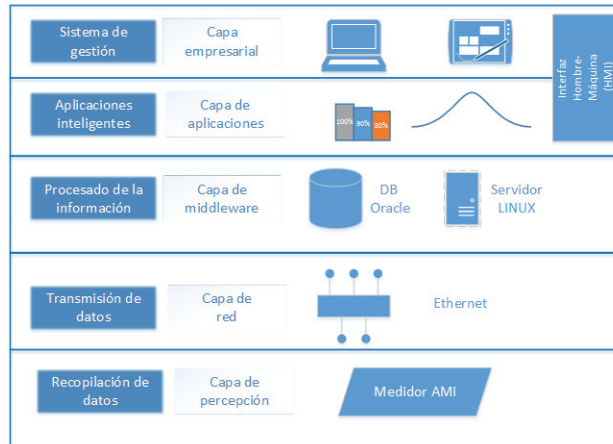


Figura 1. Diagrama de la arquitectura IoT de cinco capas utilizada

Software

La herramienta digital de visualización se construyó enteramente utilizando el lenguaje de programación R versión 3.6.3, bajo el entorno de desarrollo RStudio versión 1.2.1335, junto con los paquetes correspondientes para la adquisición, limpieza, manipulación, transformación, visualización y generación de la interface dinámica en la página web.

R se define como un lenguaje y ambiente para la computación estadística y generación de gráficos. Tiene la ventaja de que se encuentra disponible como software libre, en los términos de GNP *General Public License de Free Software Foundation* [18]. Con R es posible gestionar de manera práctica todas las etapas de un proyecto típico de ciencia de datos [19], según se detalla en la figura 2.



Figura 2. Etapas de un proyecto de ciencia de datos según [19]

A partir de las librerías *shiny* y *flexdashboard*, se generan aplicaciones dinámicas en una dirección URL desde donde es posible que los usuarios las accedan.

Resultados y análisis

Características generales

Una de las premisas de esta investigación, es que para que los datos de consumo sean útiles, deben transformarse en información. Una de las formas de hacerlo, es mediante un panel interactivo a partir del cual los usuarios puedan obtener la información procesada, según sus requerimientos. Esto es posible debido a las posibilidades que ofrecen los medidores inteligentes y el internet de las cosas o IoT. La solución visual propuesta, busca incrementar la toma de consciencia y facilitar la toma de decisiones respecto al consumo eléctrico para una planta de generación hidroeléctrica y una térmica, aprovechando la arquitectura existente. Los usuarios disponen de un panel interactivo en formato web con diferentes pestañas desde donde

es posible acceder a cada análisis requerido. Es fundamental que un panel de información sea diseñado y desarrollado para que solucione las necesidades de los usuarios, en armonía con la organización, sus procesos y su contexto [20], con el fin de que estos se apropien y lo usen.

A nivel internacional existen paneles interactivos de información sobre el consumo eléctrico para diferentes instalaciones, como hogares, industrias, campus universitarios, edificios de habitación o de oficinas [21], [16], [22], cada uno utilizando las condiciones propias, mediante software e interfaces diferentes. En todos los casos, la evidencia demuestra que la visualización, ha incrementado la conciencia en el uso de la electricidad.

En este trabajo, la herramienta permite realizar visualizaciones de diferentes agregaciones de tiempo, desde cada 15 minutos para un día determinado, hasta un resumen anual. Cada análisis se presenta en una pestaña individual.

En cuanto al diseño general, se propone un estilo sobrio pero funcional, que centre la atención en los datos, más que en elementos decorativos. Para ayudar en el contraste a personas con discapacidad visual, se utiliza en el panel una paleta de colores recomendada en [23].

Análisis visuales específicos por pestaña

Resumen anual y mensual

Consiste en una vista resumen de energía anual y mensual, en unidades de kilowatt-hora (kWh), según se muestra en los gráficos a, b y c de la figura 3. En el gráfico a, se presenta la energía total anual del año anterior y la acumulada del presente, al momento de la consulta, con el fin de comparar el comportamiento interanual. El gráfico b, muestra el acumulado mensual para cada año y permite comparar la evolución paulatina del consumo entre ambos años. Por otra parte, el gráfico c consiste en el consumo para cada mes, según el año seleccionado. Desde esta vista, se selecciona la planta que se desea seguir analizando en las siguientes pestañas.



Figura 3. Vista de resumen anual para térmica.

Consumo diario

Se muestra el consumo de energía agrupado por día (en unidades de kWh), entre las fechas seleccionadas en el filtro, según se observa en la figura 4. En esta opción, el usuario puede visualizar todo el período disponible, analizar varios meses o hacer énfasis en semanas o fechas determinadas; para ello, solamente debe desplazarse entre los rangos del filtro ubicado en la parte inferior, generado a partir de la librería dygraph. Se muestra una etiqueta con el consumo y la fecha al colocar el puntero sobre la línea.

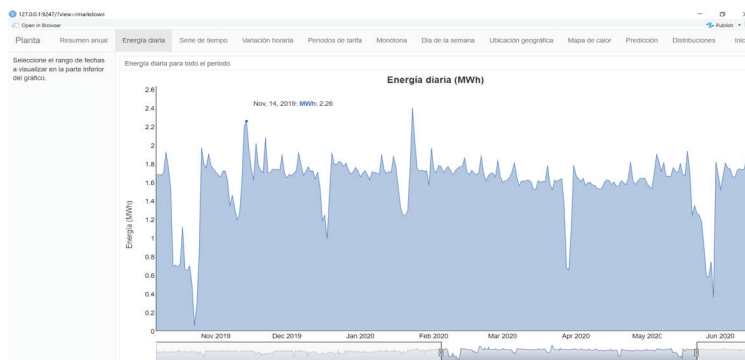


Figura 4. Vista de la pestaña de Consumo Diario térmica.

Descomposición en serie de tiempo (para consumo diario)

Al visualizar el consumo diario de un periodo a simple vista, tal vez sea posible detectar solamente algunos patrones de consumo evidentes; para un análisis más detallado, se requiere el uso de otras herramientas analíticas.

Por ejemplo, para este caso, el consumo diario de energía es convertido en una serie de tiempo, con una frecuencia semanal (7 días). Luego, se le aplica una función que la separa en los componentes de tendencia, estacional y aleatorio, mediante promedios móviles en forma aditiva. Con esta alternativa, el usuario puede analizar la frecuencia y magnitud de los consumos periódicos, la tendencia subyacente, junto con los momentos donde el consumo ha tenido un comportamiento más bien al azar. La vista de esta pestaña se encuentra en la figura 5.

Es posible filtrar entre fechas determinadas, con el fin de analizar el comportamiento específico durante un período. La descomposición en serie de tiempo, también podría ser un insumo para la elección de posibles métodos de predicción. El análisis podría ampliarse, por ejemplo, al hacer la agrupación por hora o bien, por semanas.

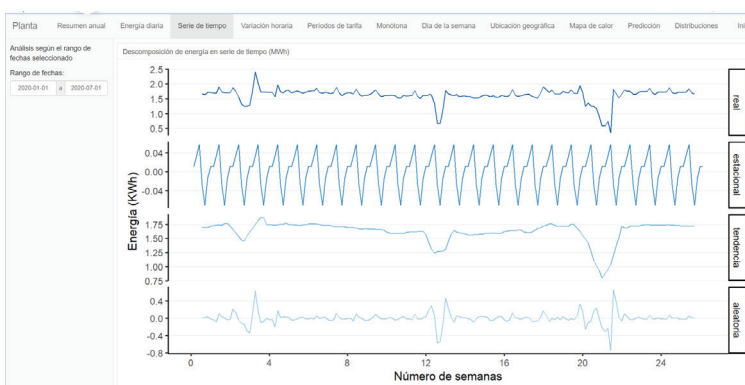


Figura 5. Vista de la pestaña de Serie de tiempo térmica.

Variación horaria

En esta pestaña que se muestra en la figura 6, el consumo se suma por hora del día, según el año y el mes seleccionado y se representa mediante gráficos de boxplot. Es útil para conocer cuánto es la dispersión del consumo en una hora específica y comparar ese comportamiento respecto al resto de horas de ese mes. Tiene un filtro desde donde es posible eliminar valores atípicos (outliers).

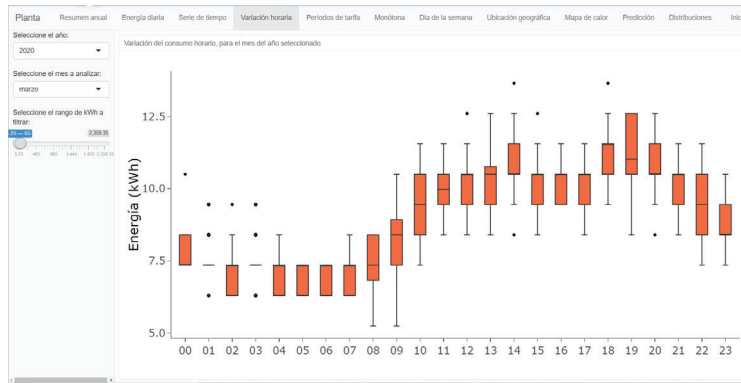


Figura 6. Vista de pestaña Variación horaria hidro.

Períodos de tarifa

Las plantas analizadas tienen Tarifa de Media Tensión (T-MT); por lo tanto, en su factura eléctrica aplica el cobro por energía y demanda, según los periodos de noche, valle y punta.

Al tener datos cada 15 minutos, es posible conocer el perfil de carga en demanda (kW) y energía (kWh), para cualquier día, respecto a los períodos de tarifa establecidos en la regulación nacional, tal como se detalla en la figura 7. Además, la pestaña presenta el resumen de demanda máxima y la energía, por cada periodo.



Figura 7. Vista de pestaña Período de tarifa hidroeléctrica.

Curva monótona de demanda

Los datos de demanda cada 15 minutos, según el rango de días seleccionado, se ordenan de mayor a menor y se grafican en unidades de kW en el eje de las ordenadas y porcentaje de tiempo en el eje de las abscisas. El resultado se encuentra en la figura 8. Esta visualización es útil cuando se requiere evaluar el régimen de consumo de la instalación, en un rango de tiempo determinado y para determinar cuánto porcentaje del tiempo trabaja la instalación a una potencia determinada, con el fin de analizar su optimización.



Figura 8. Vista de pestaña Monótona.

Día de la semana

En esta pestaña, se grafican las curvas de carga específicamente por cada día de la semana (domingo a sábado), según el año y el mes seleccionados. Se muestra, además, la curva promedio de consumo en cada caso en un color diferente y punteada. El resultado se encuentra en la figura 9. A partir de esta vista, pueden determinarse patrones de consumo asociados a hora del día, según día de la semana.



Figura 9. Vista de pestaña Día de la semana térmica.

Ubicación geográfica

En esta opción del panel, es posible ubicar la localización geográfica de la planta y mostrar la información de consumo, según el día seleccionado. Su vista se muestra en la figura 10. En caso de requerirse gestionar varias plantas simultáneamente, sería posible distinguir la tecnología por colores y comparar el consumo diario de cada una mediante el tamaño del círculo, para la fecha seleccionada.

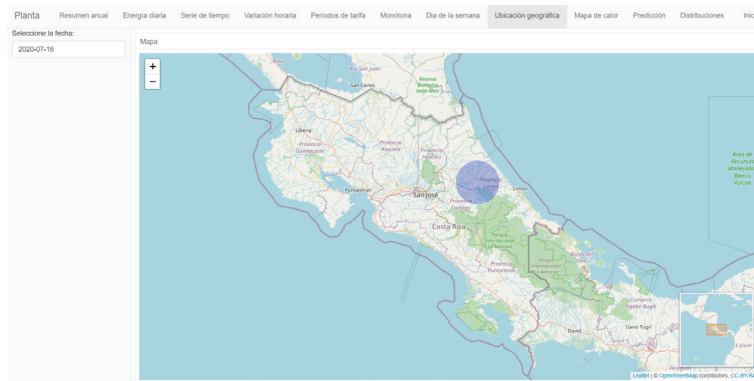


Figura 10. Vista de la pestaña Ubicación geográfica .

Mapa de calor

Según se detalla en la figura 11, el consumo diario de energía es representado por una escala de colores, de manera que es posible la comparación respecto a días de la semana, número de semana, meses y años. Puede analizarse la influencia de fines de semana, días feriados o entre época lluviosa o seca. Es una vista muy simple, pero que pone a disposición del usuario información para comparación y toma de decisiones.

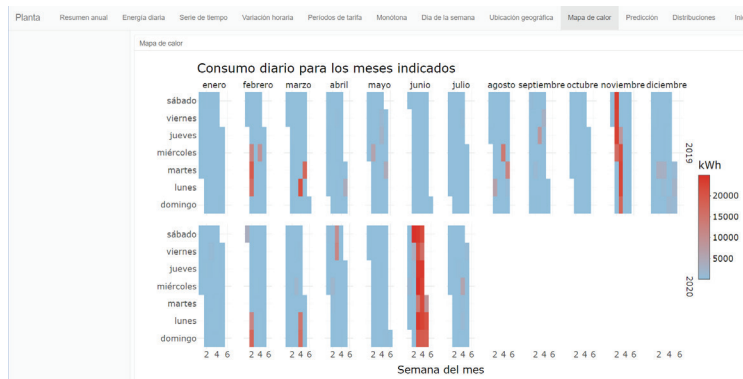


Figura 11. Vista de la pestaña Mapa de calor hidroeléctrica.

Predicción

Nuevamente, se trata el consumo diario como una serie de tiempo y se utiliza una red neuronal mediante la librería nnfor para estimar el consumo para la cantidad seleccionada de semanas. El usuario puede seleccionar el rango de fechas a utilizar para predecir. En el gráfico de esta pestaña, se muestra el resultado de los posibles escenarios de consumo como resultado de la aplicación de la red neuronal.

Conclusiones y trabajos futuros

El principal aporte de esta investigación es el desarrollo de un panel digital interactivo, como recurso para gestionar el consumo eléctrico a partir de los datos masivos generados por los medidores inteligentes, en el cual se integran la ciencia, la tecnología al servicio de la sostenibilidad, dentro de un contexto innovador y creativo, para una planta de generación eléctrica, a partir de la arquitectura existente y programado utilizando R. Al utilizar la metodología ágil, fue posible la incorporación de los usuarios desde las primeras etapas, con lo cual se

garantiza que sus necesidades y de información fueron consideradas y satisfechas. El panel fue creado enteramente utilizando R y sus librerías y está disponible en una dirección URL, desde donde los usuarios pueden realizar los análisis de manera dinámica, sencilla, libre e intuitiva.

Al lograr la implementación funcional del panel en dos plantas de tecnologías diferentes, se demuestra que la solución se puede adaptar a las distintas instalaciones.

El panel al ser configurable, es posible eliminar o agregar nuevas visualizaciones según se vayan presentando necesidades. Por ejemplo, podría plantearse la necesidad de analizar el perfil de consumo de todos los días lunes de un año para definir límites de control, a partir del comportamiento histórico; podrían realizarse análisis trimestrales o semestrales específicos; o bien, incorporar información adicional como datos de generación, condiciones climatológicas (temperatura, precipitaciones) o periodos de mantenimiento, para analizar el consumo eléctrico bajo cada condición.

También, sería posible complementar con información de costos; el factor de emisiones de la electricidad y hacer correlaciones con respecto a la generación de las plantas.

Desde R se tienen disponibles herramientas para hacer cualquier análisis de estadística descriptiva e inferencial, pero con la versatilidad y facilidad para comunicarlos de manera efectiva, amigable y dinámica para usuarios no técnicos mediante recursos de programación en html, que permitan mejorar las interfaces. Adicionalmente, es posible complementar la visualización mediante otros programas como Tableau o PowerBI; implementar algoritmos de Machine Learning desde Python.

De igual forma, es posible configurar funciones de monitoreo automático del comportamiento de consumo (valores mínimos, máximos o tasa de cambio), de manera que se envíen alertas vía correo electrónico a los usuarios en el momento que se presenten.

Otra de las posibilidades, es generar reportes periódicos automáticos, mediante los cuales se resume el comportamiento durante un tiempo determinado, según la frecuencia definida.

Agradecimientos

Gracias al Ing. Alejandro Zúñiga Luna por sus ideas y sus aportes en el uso de R y en el desarrollo del panel. Jerney Alvarado por la ayuda en la definición de las visualizaciones y Antonio Solano por las recomendaciones en el diseño general.

Referencias

- [1] Centro Nacional de Control de Energía, «SEN 2019 Boletín anual,» 15 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://apps.grupoice.com/CenceWeb/CenceDescargaArchivos.jsf?init=true&categoria=3&codigoTipoArchivo=3008>. [Último acceso: 30 Junio 2020].
- [2] S. Camargo, «Em novo recorde, Costa Rica completa 300 dias usando somentes energias renováveis,» Conexao planeta, 04 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://conexaoplaneta.com.br/blog/em-novo-recorde-costa-rica-completa-300-dias-usando-somentes-energias-renovaveis/#fechar>. [Último acceso: 25 Julio 2020].
- [3] R. Bracket, «For 300 days, Costa Rica generated electricity from renewable sources alone,» The Weather Channel, 21 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://weather.com/news/news/2018-12-21-costa-rica-300-days-energy-renewable-sources>. [Último acceso: 01 Julio 2020].
- [4] J. Roca, «Costa Rica establece un nuevo récord de eólica y supera el 98% de generación con renovables por cuarto año consecutivo,» 21 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://elperiodicodelaenergia.com/costa-rica-establece-un-nuevo-record-de-eolica-y-supera-el-98-de-generacion-con-renovables-por-cuarto-ano-consecutivo/>. [Último acceso: 02 Julio 2020].

- [5] Organización de las Naciones Unidas, «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» ONU, [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>. [Último acceso: 23 Junio 2020].
- [6] M. Calderón-Bonilla, *Sistema de lectura remota para el consumo de energía en clientes residenciales*, Proyecto de Graduación (Licenciatura en Ingeniería en Electrónica) Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Electrónica, 2012.
- [7] J. Castro, «ICE compró 285 mil medidores inteligentes más,» *La República*, 05 Marzo 2019.
- [8] Revista Summa, «Costa Rica: Nuevo proyecto dará el salto tecnológico de medidores convencionales a inteligentes en los hogares,» *Revista Summa*, 15 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://revistasumma.com/costa-rica-nuevo-proyecto-dara-el-salto-tecnologico-de-medidores-convencionales-a-inteligentes-en-los-hogares/>. [Último acceso: 01 Abril 2020].
- [9] Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, «Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública del Bicentenario 2019-2022,» 10 Setiembre 2019. [En línea]. Available: https://documentos.mideplan.go.cr/share/s/ka113rCgRbC_ByIVRHGgrA. [Último acceso: 01 Junio 2020].
- [10] Yu, N; *et al*, «Big data analytics in power distribution systems,» *2015 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, pp. 1-5, 2015.
- [11] Jarrah-Nezhad, Aylin; *et al*, «SmartD: smart meter data analytics dashboard,» *e-Energy '14: Proceedings of the 5th international conference on Future energy systems*, pp. 213-214, Junio 2014.
- [12] D. P. Huffman-Schwocho, «Ciencia, tecnología y sociedad para el Siglo XXI: Dimensiones múltiples e integrales del desarrollo sostenible global,» de *Conferencia Magistral presentada en la Semana de Inducción de la Maestría en Ciencia y Tecnología para la Sostenibilidad en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, Campus San Carlos, Costa Rica; los días 24 y 25 de enero de 2019*, San Carlos, 2019.
- [13] Beck, K, *et al*, «Manifiesto for Agile Software Development,» 2001. [En línea]. Available: <http://agilemanifesto.org/>.
- [14] H. Lei, F. Ganjezadeh y P. Kumar, «A statistical analysis of the effects of Scrum and Kanban on software development projects,» *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 43, pp. 59-67, 2017.
- [15] C. Raney y R. Jacoby, «El 'design thinking' o cómo abordar los problemas por medio del diseño.,» *Harvard Deusto Management & Innovation*, n° 14, pp. 14-23, Abril 2019.
- [16] D. Filonik, R. Medland y M. Foth, «A Customisable Dashboard Display for Environmental Performance Visualisations,» *Persuasive Technology. PERSUASIVE 2013. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7822, 2013.
- [17] N. Manoj y P. Kumar, «The Internet of Things: Insights into the building blocks, component, interactions, and architecture layers,» *Procedia Computer Science*, vol. 132, pp. 109-117, 2018.
- [18] R Core Team, «R: A language and environment for statistical,» R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020.
- [19] H. Wickham y G. Grolemund, *R for Data Science: Import, Tidy, Transform, Visualize, and Model Data*, O'Reilly Media, Inc, 2017.
- [20] A. Cahyadi y A. Pranato, «Reflecting Design Thinking: A Case Study of the Process of designing dashboards,» *Journal of Systems and Information Technology*, vol. 17, n° 3, pp. 296-306, 2015.
- [21] V. Chen, M. Delmas, S. Locke y A. Singh, «Information strategies for energy conservation: a field experiment in India,» *Energy Economics*, vol. 68, pp. 215-227, Octubre 2017.
- [22] Bull, Richard; *et al*, «Competing priorities: lessons in engaging students to achieve energy savings in universities,» *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 19, n° 7, pp. 1220-1238, 2018.
- [23] . C. Brewer y M. Harrower , «Color Brewer 2.0: Color advice for cartography,» The Pennsylvania State University, [En línea]. Available: <https://colorbrewer2.org/#type=sequential&scheme=BuGn&n=3>. [Último acceso: 13 Agosto 2020].