



Maestría en Ciencia y Tecnología para la Sostenibilidad

Desarrollo de metodología para la gestión de consumo eléctrico basada en ciencia de datos

Candidato

Sr. David Eladio Barquero Álvarez

Tutor

Dr. Rodrigo Rojas Morales

Asesor técnico

MFA. Antonio Solano Román

Abril 2021

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

UNA
UNIVERSIDAD
NACIONAL
COSTA RICA

**Maestría en Ciencia y Tecnología para la
Sostenibilidad**

**Desarrollo de metodología para la gestión de
consumo eléctrico basada en ciencia de datos**

Tribunal Examinador

Dr. Carlos Meza Benavides, quien preside
Representante Área Académica Doctorado



Dr. Fabián Echeverría Beirute, Gestor Maestría



Dr. Rolando Madriz Vargas, Representante
Área Energías Renovables



Dr. Rodrigo Rojas Morales, Tutor Tesis



MFA. Antonio Solano Román, Asesor Tesis



M.Sc. Yuri Alvarado Rojas, Evaluador Externo



AGRADECIMIENTOS

Nada de lo que he logrado en la vida lo he hecho solo; Dios me ha bendecido rodeándome con personas muy pacientes que me han ayudado muchísimo a lo largo del camino.

Gracias a mi padre Eladio Barquero, en el cielo de los papás; a mi hermana, Marta Barquero, en el cielo de las hermanas; a mi madre María del Carmen, aún aquí conmigo. Han sido ejemplo, guía, luz, consuelo y amor en su más puro estado.

Diana Robles: la razón más bonita para terminar esta maestría.

Mi agradecimiento a mi tutor, el Dr. Rodrigo Rojas Morales, por todos sus consejos y revisiones.

Gracias al Ing. Antonio Solano, asesor técnico, por sus opiniones y recomendaciones en el desarrollo del artículo y la tesis.

Al Ing. Alejandro Zúñiga Luna, quien me inició en esta aventura de programar en R.

A la coordinación y los profesores de la MCTS.

Gracias al Ing. Melvin Monge, director del NG del ICE, Ing. Alejandro Rojas gestor del NG y al Ing. Víctor Martínez director del PGAP.

A mis compañeros de APIOM GAP, del NG del ICE.

Para Ana Victoria Herrera González, mi reconocimiento por su asesoría filológica.

Many thanks my dear brother Lufunda Muzeya, Manager - Director General's Office, Energy Regulation Board, Zambia.

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre

Eladio Barquero Rodríguez

A la memoria de mi hermana

Marta Barquero Álvarez.

Para mi madre,

María del Carmen Álvarez Rodríguez.

Flor del café

Al despertar

concientizamos

dándonos alegría
el respirar el aroma
de la flor del café
recién abierta

¡Aroma dulce que gozamos!

Se llenan los pulmones
del dulce encantador
de un paisaje sin igual
blanquecino
como nube a ras de suelo
que sabemos
que más adelante
recogeremos

Eladio Barquero Rodríguez

Índice de contenido

RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	viii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.1.1 Estado de la generación y consumo eléctrico en Costa Rica	2
1.1.2 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU.....	6
1.1.3 Marco nacional sobre energía y consumo	7
1.1.4 Sostenibilidad en el Grupo ICE.....	8
1.1.5 Cambio tecnológico en sistemas de medición.....	12
1.2 Problema.....	15
1.3 Objetivos	16
1.4 Justificación.....	16
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 Plataformas de información para datos de consumo eléctrico	22
3.3 Evaluación de experiencia de usuario	32
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	33
3.1 Método tecnológico	34
3.2 Técnicas de recolección de datos.....	35
3.2.1 Revisión bibliográfica.....	35
3.2.2 Entrevista.....	36
3.3 Materiales.....	36
3.3.1 Infraestructura de datos.....	36
3.3.2 Software.....	37
3.3.3 Metodología ágil Kanban.....	39

3.4 Limitaciones	41
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
5.1 Metodología propuesta para desarrollo de la plataforma de información de consumo eléctrico.....	44
5.1.1 Esquema de la metodología propuesta	45
5.1.2 Identificación de necesidades.....	46
5.1.3 Programación del panel de gestión de consumo eléctrico	49
5.1.4 Evaluación final.....	50
5.2 Aplicación en Plantas Generación ICE	52
5.2.1 Identificación de necesidades.....	52
5.2.2 Panel dinámico de información de consumo	54
Pestaña predicción.....	64
5.2.3 Resultados de la evaluación de la experiencia de usuario.....	65
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	69
CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES	72
CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS.....	83
Anexo 1. Lista de librerías de R utilizadas	84
Anexo 2. Nota de entrega del código.....	87
Anexo 3. Respuestas a cuestionario	88
Anexo 4. Memoria de cálculo respuestas CEU.....	89
Anexo 5. Percentiles horarios por día de la semana.....	92
Anexo 6. Gráfico comparativo por mes.....	93
Anexo 7. Comparación de gráficos de distribución	94
Anexo 8. Distribución de demanda con filtro.....	95
Anexo 9. Comparación distribuciones	96

Lista de cuadros

Cuadro 1. Resumen de documentos sobre sostenibilidad que orientan la tesis.	12
Cuadro 2. Comparación entre medidores electromecánicos e inteligentes (AMI).....	14
Cuadro 3. Conformación de etapas del método tecnológico.	34
Cuadro 4. Clasificación de la tesis.	35
Cuadro 5. Cuestionario de experiencia de usuario en español.	51
Cuadro 6. Requerimientos de los usuarios en el canvas de criterios de diseño	52
Cuadro 7. Detalle de las necesidades de información y características de la solución entregada.	53
Cuadro 8. Evaluación por escala a partir de la aplicación del CEU.	65
Cuadro 9. Resultados de la evaluación por calidades.....	67

Lista de figuras

Figura 1. Demanda y generación bruta en Costa Rica 2010-2019	2
Figura 2. Producción de energía bruta por fuente 2010-2019	3
Figura 3. Generación renovable/térmico en porcentaje 2010-2019	4
Figura 4. Proporción renovable/térmico en el SEN 2010-2019	4
Figura 5. Distribución de potencia instalada del SEN por agente para 2019	5
Figura 6. Distribución de potencia instalada del SEN por tecnología para 2019.....	6
Figura 7. Cantidad de plantas ICE por tecnología para 2019	10
Figura 8. Potencia instalada ICE por tecnología para 2019.....	11
Figura 9. Pilares de la investigación de tesis.....	19
Figura 10. Etapas en la generación de consciencia	20
Figura 11. Proceso de técnicas de data mining aplicado a sets de datos	24
Figura 12. Modelo incremental progresivo para data mining y predicción utilizando series de tiempo de energía	25
Figura 13. Marco para el proceso de diseño de paneles según	30
Figura 14. Diagrama de la arquitectura IoT de cinco capas utilizada.....	37
Figura 15. Etapas de un proyecto de ciencia de datos	38
Figura 16. Ejemplo de tablero de control de la metodología Kanban.....	41
Figura 17. Etapas de la metodología propuesta elaboración propia	45
Figura 18. Canvas de criterios de diseño (Desing Criteria Canvas) [76].....	48
Figura 19. Estructura de navegación general de las pestañas web.....	55

Figura 20. Vista de la pestaña: Resumen	56
Figura 21. Vista de la pestaña: Energía Diaria	57
Figura 22. Vista de la pestaña: Serie de tiempo	58
Figura 23. Vista de pestaña Variación horaria.....	59
Figura 24. Vista de pestaña: Períodos de tarifa	60
Figura 25. Vista de pestaña: Monótona.....	61
Figura 26. Vista de pestaña: Día de la semana.....	62
Figura 27. Vista de la pestaña: Ubicación geográfica.....	63
Figura 28. Vista de la pestaña: Mapa de calor	64
Figura 29. Vista de la pestaña: predicción	65
Figura 30. Resultados de la evaluación del Cuestionario de Experiencia de Usuario por escala y con intervalo de confianza al 95%.....	66
Figura 31. Resultado de la evaluación por calidad	68

RESUMEN

El consumo eléctrico en Costa Rica presenta una tendencia histórica creciente. La demanda ha sido atendida principalmente por una matriz considerada renovable, con una participación de recursos limpios superior al 98%. Hay una oportunidad de complementar esta sostenibilidad, si se considera un enfoque al consumo eléctrico que se tiene en las plantas de generación para su propio funcionamiento.

Adicionalmente, el país ha definido como una de sus metas el cambio masivo de medidores electromecánicos a medidores inteligentes, los cuales producen múltiples registros con una frecuencia muy alta; esta condición, necesariamente requiere de herramientas de big data, para una apropiada gestión, de manera que se facilite la manipulación, análisis e interpretación de la gran cantidad de datos disponibles, de forma sistemática, ordenada y repetible.

En relación con lo indicado, esta tesis propone el desarrollo de un marco teórico metodológico, que permita gestionar la creación de una plataforma digital interactiva para la gestión del consumo eléctrico. A partir de las recomendaciones y las mejores prácticas indicadas en la literatura, junto con el criterio de experto, se diseñan las partes y se especifica con detalle, lo que se debe hacer en cada una.

La metodología planteada, se aplicó en dos plantas de generación, una hidroeléctrica y una térmica, con el fin de someterla a una prueba real. Como resultado, se obtuvo una plataforma web, interactiva, programada en R y compuesta por diferentes pestañas desde donde los usuarios pueden acceder a diferentes tipos de gráficos que satisfacen los requerimientos de información identificados previamente. Con datos de dos años de demanda y energía para ambas plantas, la plataforma tiene un desempeño adecuado en términos de novedad, claridad y utilidad práctica, según la evaluación de los propios usuarios.

A partir de los resultados del caso de estudio, es posible concluir que la plataforma es funcional, atractiva, novedosa, genera valor y es fácilmente escalable a otras

plantas o instalaciones a partir con modificaciones mínimas; además, logra integrar ciencia, tecnología y sostenibilidad en beneficio de los usuarios-consumidores.

Dentro de los trabajos de investigación futuros, se recomienda realizar desarrollos de analítica predictiva y analítica prospectiva, junto con el uso de otros lenguajes de programación complementarios para mejorar la interactividad de los usuarios.

La tesis se encuentra estructurada de la siguiente forma. En el Capítulo 1, se encuentra la Introducción e incluye los antecedentes, el problema, los objetivos y la justificación. El Capítulo 2 es el Marco Teórico, donde se resumen los principales hallazgos al respecto en la literatura. La Metodología se detalla en el Capítulo 3. Resultados y discusión están en el Capítulo 4. Las Conclusiones y las Recomendaciones, corresponden a los Capítulo 5 y Capítulo 6, respectivamente.

ABSTRACT

Electricity consumption in Costa Rica has a growing historical trend. The demand has been met mainly by a power matrix which mainly comprises more than 98 per cent renewable energy resources. An opportunity to complement this sustainability is possible when an approach to electricity consumption that is taken at power plants for their own operation is considered.

In addition, the country has defined as one of its main goal, the massive shift from electro-mechanical meters to smart meters, which produce many records in high frequency; this condition requires big data tools for its proper management, so that the manipulation, analysis, and interpretation of the vast amount of data available is undertaken, in a systematic way over a period of time.

In relation to the above, this thesis proposes the development of a methodological-theoretical framework that facilitates the creation of an interactive digital platform for the management of electricity consumption. Based on the recommendations and best practices revealed in literature review, together with the expert criterion, its parts are designed and specified in detail, with specifications of what needs to be done in each one.

The proposed methodology was applied in two power plants, one hydroelectric and one fossil fuel, to present it with a real test. As a result, a programmed in R interactive web platform was obtained, which contains different tabs from which users may access different graphics that meet previously identified information requirements. Using data of two (2) years of demand and energy for both plants, the platform had an adequate performance in terms of novelty, transparency, and practical utility, according to the user's own assessment.

From the results of the case study, it is possible to conclude that the platform is functional, attractive, novel, generates value and is easily scalable to other plants or facilities from minimal modifications. It also manages to integrate science, technology and sustainability for the benefit of users-consumers.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

1.1.1 Estado de la generación y consumo eléctrico en Costa Rica

El consumo de energía eléctrica en Costa Rica, a través de los años, muestra una tendencia al aumento sostenido, así lo confirman los datos del Centro Nacional de Control de Energía, del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) [1] y según se observa en la Figura 1.

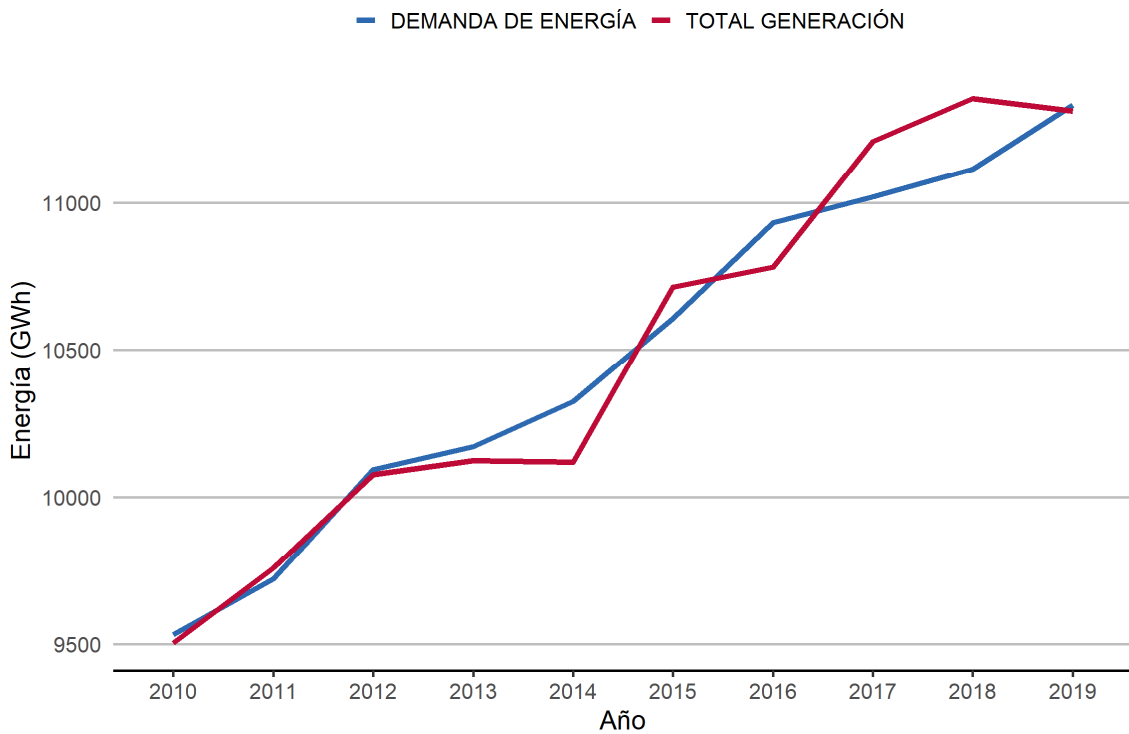


Figura 1. Demanda y generación bruta en Costa Rica 2010-2019 [1]

Al respecto, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) ha atendido la demanda eléctrica en alta tensión (138 kV / 230 kV), principalmente, con el suministro de fuentes renovables de energía, que se caracterizan por ser firmes, ejemplo la hidroeléctrica, geotermia y con un respaldo creciente de energía de fuente variable como el recurso eólico y biomasa, según se muestra en la Figura 2.

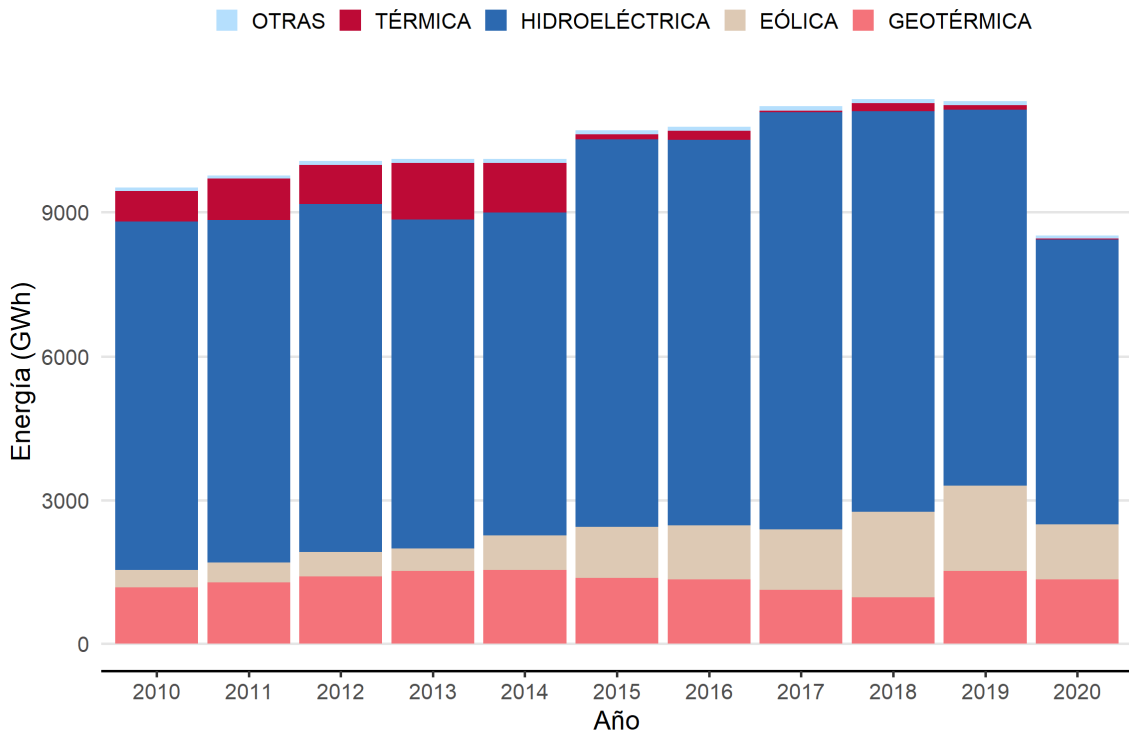


Figura 2. Producción de energía bruta por fuente 2010-2019 [1]

Resalta que, a partir de 2015, la participación de fuentes renovables es muy cercana al 100%, al punto que para 2019, la generación eléctrica fue un 99,15% renovable [1]. El comportamiento porcentual de la generación renovable se aprecia en la Figura 3.

Por su parte, la proporción renovable/térmico, en términos de energía para varios años, se muestra en la Figura 4.

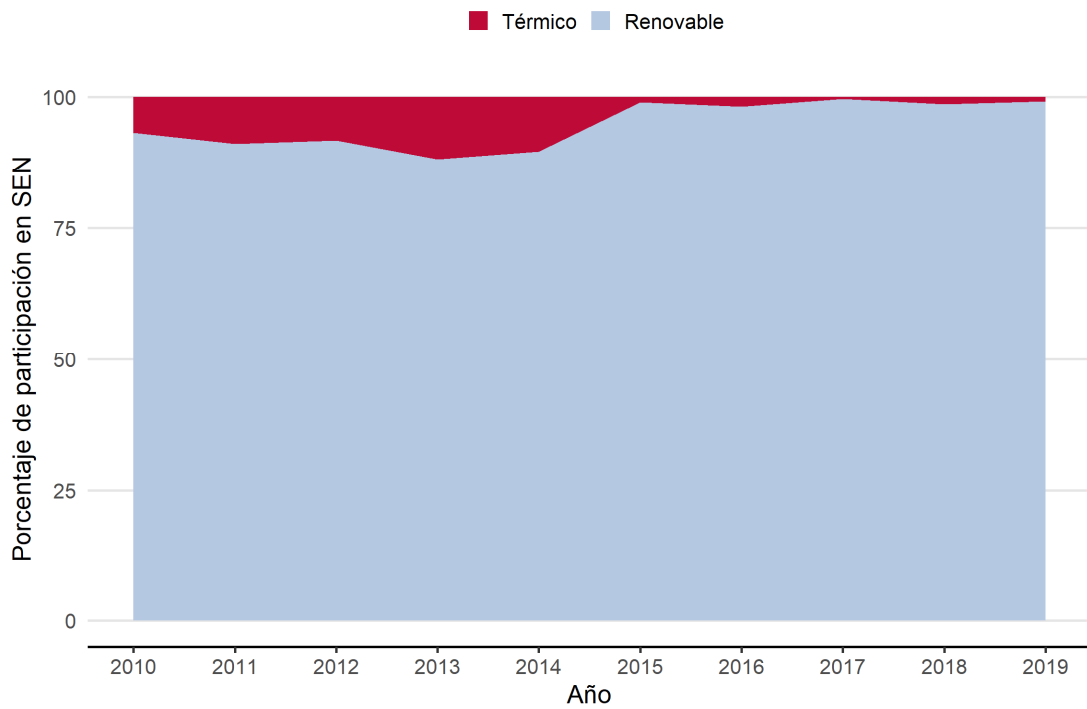


Figura 3. Generación renovable/térmico en porcentaje 2010-2019 [1]

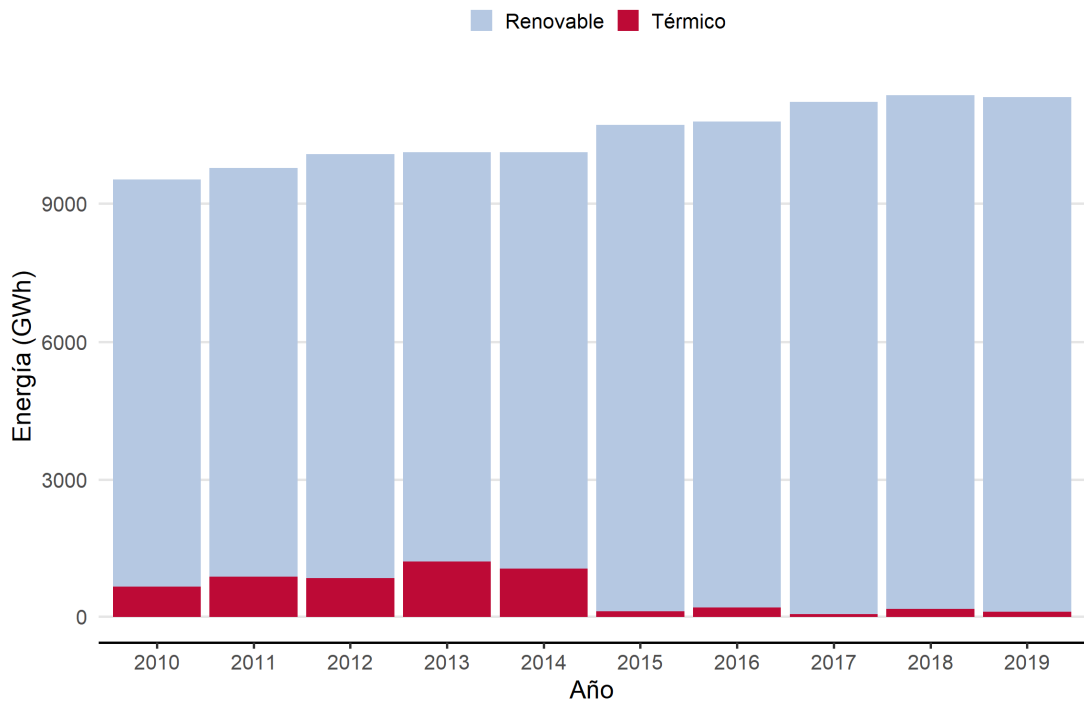


Figura 4. Proporción renovable/térmico en el SEN 2010-2019 [1]

Adicionalmente, en las redes de distribución, existe una participación cada vez mayor de generación distribuida, entendida como la producción de energía, con fuentes alternativas que satisface de manera parcial o total las necesidades eléctricas del usuario (autoconsumo), junto con la posibilidad de inyectar los excedentes a la red de distribución; en el país, resalta la solar fotovoltaica. De hecho, durante 2019, la Dirección de Energía del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) contabilizaba oficialmente una potencia instalada de 46 221 kW, colocados en 1010 sistemas de generación distribuida en todo el país [2]. Esta condición, como lo indica el trabajo de Portilla [3], señala que el ICE también ha propiciado la investigación, el desarrollo y la eventual incorporación de energías renovables no convencionales, tales como: generación eólica marina, eólica terrestre, biomasa, biocombustibles, marina y solar fotovoltaica.

Por otra parte, en alta tensión, el SEN cuenta con una potencia instalada total de 3 566 453 kW, de los cuales 2 437 290 kW son gestionados por el ICE, lo que equivale al 68,34% [1], según se detalla en la Figura 5.

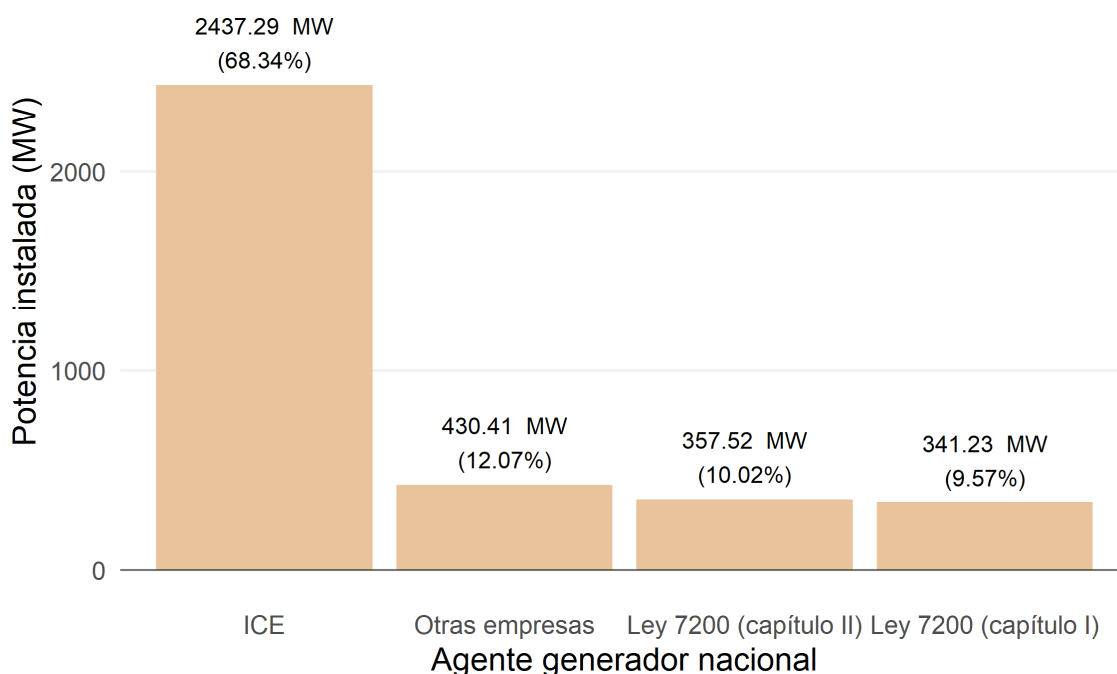


Figura 5. Distribución de potencia instalada del SEN por agente para 2019 [1]

El 65,7% de la potencia instalada total son plantas hidroeléctricas; es decir, 2 343 166 kW. En segundo lugar, se encuentran las plantas térmicas, que suman 474 112 kW de potencia instalada, para un 13,29% [1], apreciable en la Figura 6.

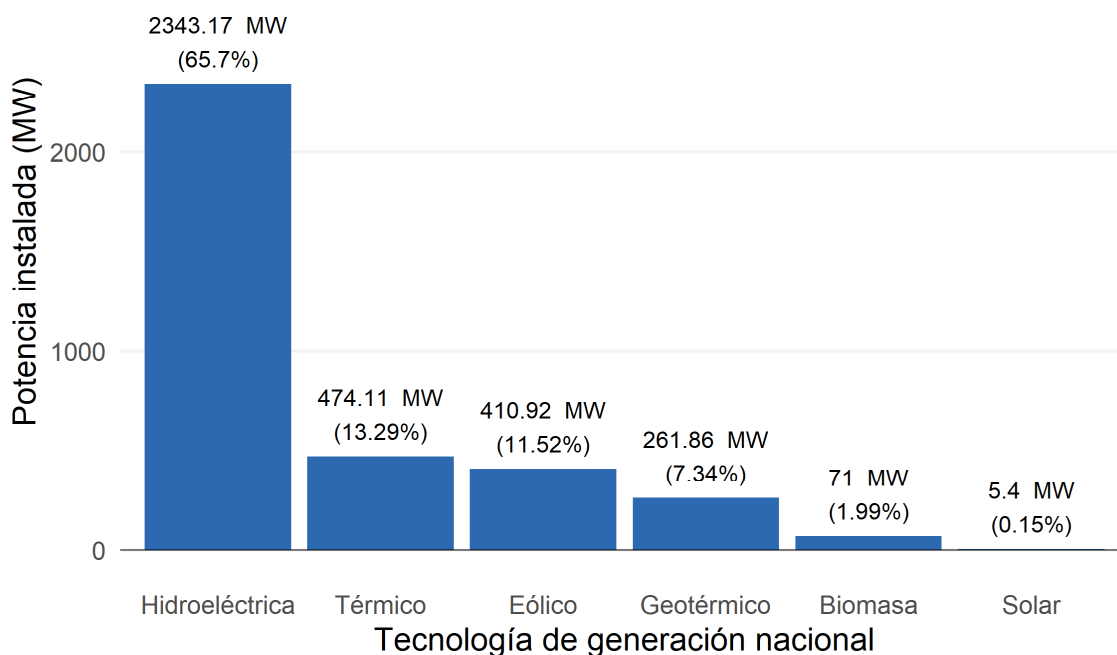


Figura 6. Distribución de potencia instalada del SEN por tecnología para 2019 [1]

En resumen, la demanda de electricidad en Costa Rica ha venido creciendo y ha sido atendida por el SEN en más del 99% por medio de fuentes renovables. De la potencia instalada total en alta tensión, el ICE gestiona casi 2 437,29 MW, equivalente al 68%.

1.1.2 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU

En el año 2015, 193 países miembros de las Naciones Unidas aprobaron la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Una oportunidad para proteger el planeta y mejorar la calidad de vida de todos, sin dejar a nadie atrás. La agenda tiene 17 objetivos (ODS) que van desde la eliminación de la pobreza, el combate al cambio

climático, la educación, la igualdad de la mujer, la defensa del medio ambiente o el diseño de nuestras ciudades [4]. Hoy, se enfrentan grandes desafíos y rezagos como consecuencia del incumplimiento de los gobiernos signatarios, el desinterés político y por la falta de financiamiento interno y externo, sin embargo, en el caso de Costa Rica, se avanza en la implementación de esta agenda.

Por ejemplo, la condición nacional de tener una matriz eléctrica renovable, cercana al 100%, se ha reconocido mundialmente [5], [6], y [7]. Es bajo esta condición que se podría afirmar, entonces, que la producción eléctrica de Costa Rica muestra indicadores de sostenible bastante robustos, lo cual ayuda en gran medida al cumplimiento del objetivo 7 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU: energía asequible y no contaminante [4].

La tendencia a tener una matriz eléctrica renovable, se estima que continúe según el Plan de Expansión de la Generación 2018-2040, ya que viene a ratificar el esfuerzo nacional, encabezado por el ICE, de procurar la incorporación de tecnologías exclusivamente renovables en alta tensión [8].

Ahora bien, de manera complementaria al objetivo 7 de los ODS, se encuentra el Objetivo 12 el cual, establece un especial énfasis respecto a la producción y el consumo sostenibles, mediante la eficiencia en el uso de los recursos y la energía, orientados a mejorar la calidad de vida y generar bienestar con bajos costos y en las tres dimensiones de la sostenibilidad, en las dimensiones ambiental, social y económica) [4]. Para la ONU, tanto la producción de energía, como su consumo eficiente, son pilares fundamentales de la sostenibilidad.

1.1.3 Marco nacional sobre energía y consumo

Costa Rica cuenta con políticas nacionales propias que orientan el tema energético, en términos de generación y consumo, de manera amplia y consistente. En 2015 se presentó el VII Plan Nacional de Energía 2015-2030; el cual define la política energética, junto con la visión y el compromiso del país en esta materia, plasmados en diferentes ejes [9].

A partir de 2019 se encuentra vigente la versión 01, que incorpora los ajustes considerados relevantes, según la nueva situación del sector energía. Los cambios principales se concentran en los objetivos y las matrices de metas a diferentes plazos; con lo cual, la versión anterior sigue siendo válida en todo lo demás [10].

Dentro del Plan Nacional de Energía, el eje llamado *En la senda de la eficiencia energética* apunta particularmente a una mayor eficiencia de la matriz eléctrica existente y define objetivos orientados al aumento en la eficiencia en la demanda y en la oferta. De manera específica, el sub-objetivo 1.6 indica la necesidad de fomentar la eficiencia de consumo energético del sector público y busca como resultado, mejorar la gestión energética en el sector público.

De forma complementaria, el Plan Nacional de Descarbonización [11] establece en el eje 4 la consolidación del sistema eléctrico nacional con capacidad, flexibilidad, inteligencia y resiliencia necesaria para abastecer y gestionar energía renovable a costo competitivo. Ambos planes (energía y descarbonización) son consecuentes con el Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2019-2022, en el que se ha definido la descarbonización como una de sus metas [12].

1.1.4 Sostenibilidad en el Grupo ICE

El Grupo ICE, como institución autónoma y ente responsable por ley de suplir la demanda eléctrica del país, está llamado a desarrollar su quehacer de forma congruente con el marco normativo energético definido para Costa Rica. Por esta razón y, además, por ser consciente de los retos que trae el Siglo XXI, en términos de sostenibilidad, ha definido en su Estrategia 4.0 (vigente desde 2019), un:

“Mapa Estratégico con sus respectivos objetivos y lineamientos estratégicos, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los lineamientos de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), los planes nacionales de desarrollo, energía, telecomunicaciones, la Estrategia de Transformación Digital, el Plan de Descarbonización y la normativa de Responsabilidad Social (ISO-26 000)”, [13, p. 09].

Resaltan, de manera especial, los siguientes objetivos:

“Objetivo 10: Optimizar los procesos del Grupo ICE mejorando los instrumentos de medición de resultados, tiempos, costos y eficacia para impulsar la modernización y transformación digital”. [13, p. 38]

OEES 14. Fomentar la creación de valor implementando la gestión integral de la sostenibilidad aportando a los Objetivos de Desarrollo Sostenible y considerando las mejores prácticas internacionales aplicables a los negocios. [13, p. 39]

Se evidencia que la sostenibilidad, junto con la transformación digital deben de tener un papel preponderante y considerarse en todos los negocios de la institución. Uno de esos negocios, es el Negocio Generación (ubicado dentro de Gerencia de Electricidad), el cual es responsable de la operación, el mantenimiento y la gestión de las plantas de generación eléctrica en alta tensión.

Como se ha indicado, el ICE gestiona el 68,34% de la potencia del SEN, equivalente al 2 437 290 kW. La potencia instalada ICE, se distribuye en 15 plantas hidroeléctricas (51,72%), siete plantas geotérmicas (24,14%), cinco plantas térmicas (17,24%), una planta eólica (3,45%) y una solar (3,45%) [1], como se ilustra la Figura 7.

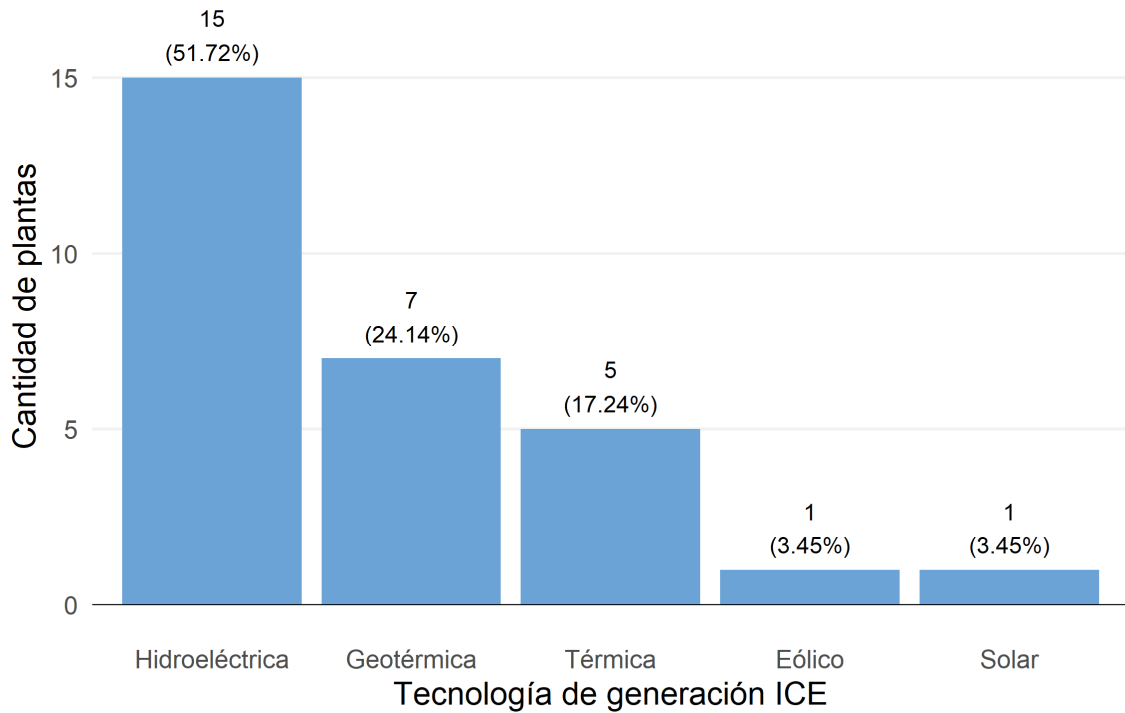


Figura 7. Cantidad de plantas ICE por tecnología para 2019 [1]

Con respecto a la potencia instalada ICE por tecnología [1], 1 683 818,25 kW (69,09%) es hidroeléctrica; 1 683 818,25 kW es térmica (19,45%); 261 860,00 kW es geotérmica (10,74%); 16,5 MW (0,68%) es eólica y 1 000 kW (0,04%) es solar; condición que se evidencia en la Figura 8.

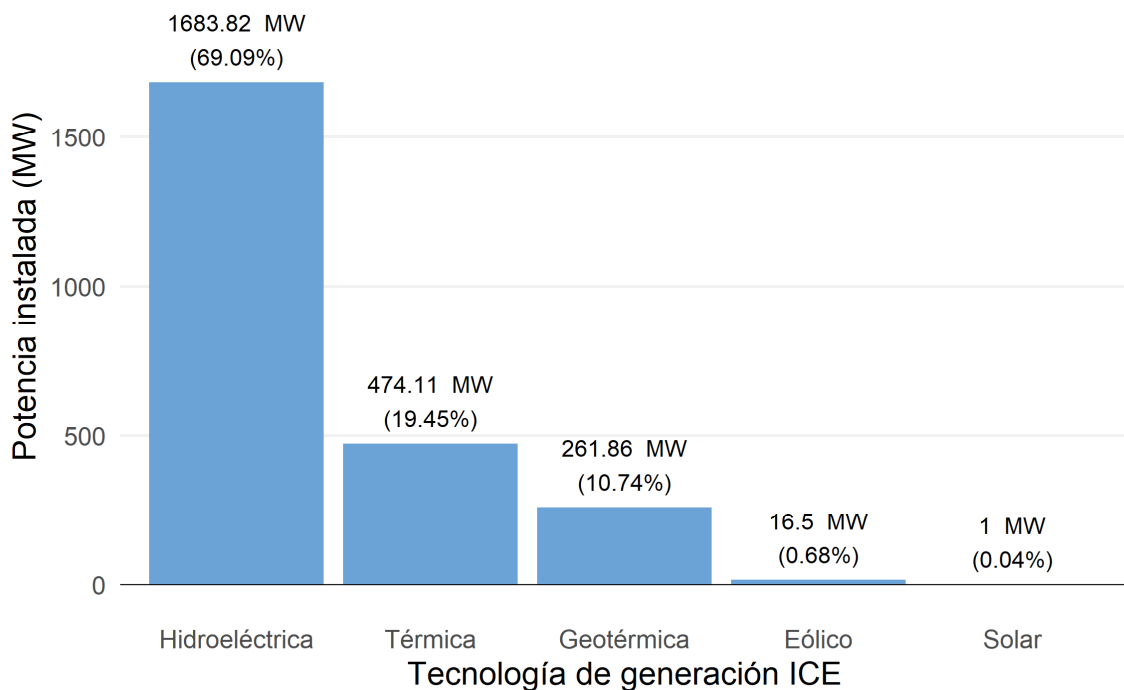


Figura 8. Potencia instalada ICE por tecnología para 2019 [1]

El Negocio Generación, tiene sus plantas certificadas internacionalmente en calidad, ambiente y salud y seguridad en el trabajo [14] y dentro de su matriz de aspectos ambientales se contempla el consumo eléctrico.

En relación con lo indicado, se plantea una oportunidad de mejora significativa en la sostenibilidad de la cadena de suministro eléctrico dentro del Negocio Generación, al unificar dos consideraciones: la primera es que una planta de generación, en sí misma, es una instalación industrial (como cualquier otra) en la cual se consume electricidad para su funcionamiento; y la segunda, que es posible gestionar de mejor forma su consumo eléctrico mediante el desarrollo y el uso de herramientas digitales y tecnológicas, aspectos que se desarrollarán más adelante.

Se pretende generar un punto de vista complementario, dado que la matriz de generación eléctrica del país ya es prácticamente renovable en términos de las fuentes que utiliza; sin embargo, también sería posible aplicar los principios de consumo sostenible y así, evidenciar que:

- a) se gestiona eficaz y eficientemente de la electricidad consumida en las plantas de generación;
- b) se hace un aporte adicional para que la energía producida siga siendo asequible y, además,
- c) que se reduce el impacto por producirla.

Un resumen de los documentos sobre sostenibilidad bajo los cuales se orienta esta tesis se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Resumen de documentos sobre sostenibilidad que orientan la tesis.

Documento	Alcance
Objetivos de desarrollo sostenible, ONU	Global
VII Plan Nacional de Energía 2015-2030	Nacional
Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública del Bicentenario 2019 - 2022 de Costa Rica	Nacional
Plan Nacional de Descarbonización	Nacional
Estrategia 4.0	Institucional

1.1.5 Cambio tecnológico en sistemas de medición

Además de complementar la sostenibilidad de la generación, haciendo énfasis en el consumo eléctrico, hay otro elemento que motiva el presente trabajo y corresponde a una propuesta para aprovechar al máximo de cambio tecnológico en los sistemas de medición, por medio de las empresas distribuidoras.

Según [15], en el pasado, las empresas distribuidoras de electricidad del país utilizaban cuadrillas de técnicos para registrar manualmente la lectura de sus abonados (medidor por medidor) y posteriormente trasladar la información a sus departamentos de facturación. Esta forma de proceder presentaba múltiples

problemas, como pérdida de información, errores de medición y retrasos; además, convertía al consumidor en un sujeto pasivo frente al consumo de electricidad, pues solo podía ver la información totalizada hasta el final de cada mes.

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; con todas las ventajas de brindar una amplia gama de información sobre el consumo eléctrico de los clientes. En el corto plazo se prevé la instalación masiva de este tipo de sistemas inteligentes por parte de las empresas distribuidoras de electricidad de Costa Rica; estimándose en más de 1 600 000 medidores al año 2023 según indican [16], [17] y [18]. Esta acción puede ayudar al país a seguir la tendencia mundial, de migrar hacia las llamadas redes inteligentes (o *Smart Grids*), en las cuales la medición inteligente de consumo eléctrico tiene un papel fundamental [19].

Este cambio de tecnología en la medición tiene inclusive un interés nacional; a tal punto, que el Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2019-2022, establece como una sus Intervenciones Estratégicas el Programa de medidores inteligentes del Sistema Eléctrico Nacional, cuyo objetivo puntual es incrementar el número de dispositivos inteligentes en el sistema eléctrico para mejorar la competitividad. Inclusive, el cual tiene metas relacionadas con la cantidad de medidores instalados por cada distribuidora por año [12].

De esta manera, con la nueva tecnología de medición y en función del medidor es posible obtener una amplia gama de datos relativos al consumo, entre ellos energía activa (kWh), energía reactiva (kVAR), voltaje (V), demanda de potencia (kW) en intervalos de 15 minutos, de manera que puedan estar disponibles para gestionar de una mejor manera la demanda.

En el Cuadro 2, se presenta una comparación de algunos elementos entre la tecnología de medición electromecánica y los medidores inteligentes, basado en [20].

Cuadro 2. Comparación entre medidores electromecánicos e inteligentes (AMI), basado en [20]

Elemento	Medidores electromecánicos	Medidores inteligentes (basados en tecnología IP)
Frecuencia de recolección de datos	Una o dos veces al mes, manualmente por personal en sitio	De 10 a 30 min. Eventos de frecuencia en milisegundos
Seguridad electrónica/ física	Se requieren barreras físicas contra el robo de energía	Propenso a ciberataques; clientes maliciosos podrían alterar el valor de la energía consumida
Componentes del sistema	Medidores electromecánicos	Medidores inteligentes, panel de control, módem y cables.
Flujo de información	No hay flujo de información	Comunicación abierta en dos sentidos, con posibilidad de señales de control
Conexiones de red	No requiere	Conexión inalámbrica o con cable
Confiabilidad de los datos	No aplica	En función de la red
Gestión energética	No disponible	Modos de medición y control
Modo de precios en tiempo real	Precio fijo	Precio dinámico
Variables	Solamente energía (kWh), por resta entre valores acumulados entre las mediciones	Energía (kWh), reactivo (kVAR), voltaje (V), factor de potencia (p), elementos de calidad de energía (según modelo del medidor)

1.2 Problema

El registro de datos de consumo eléctrico cada 15 minutos, ofrece una amplia gama de posibilidades para su análisis visual. No obstante, se requiere de una guía de trabajo, funcional y práctica que oriente cómo debe desarrollarse una plataforma de información – sistema, orientado a la solución de las necesidades y expectativas particulares de información de los usuarios. Adicionalmente, al estar trabajando con gran cantidad de datos, se requiere realizar todo el ciclo de adquisición, limpieza, transformación y generación de información a partir de los datos de consumo eléctrico, junto con el código de programación correspondiente para hacer los análisis reproducibles. Conjuntamente, es preciso evaluar la metodología aplicada en un caso real, bajo un contexto específico, para obtener toda la realimentación posible.

En relación con lo indicado, la ausencia de ese modelo de ejecución induce a un limitado, e ineficiente uso de los datos disponibles para la gestión del consumo eléctrico por parte de los usuarios de una instalación y provoca ineficiencias en toda la infraestructura e inversión hecha para el cambio masivo a medidores inteligentes. Es decir, hay una gran oportunidad desaprovechada al tener los datos de consumo eléctrico, sin un marco para el desarrollo de aplicaciones de visualización para monitoreo y comunicación interna, con empresas y con particulares.

Por lo tanto, el problema de investigación se centra en los siguientes tres aspectos:

- Un vacío teórico-metodológico para el desarrollo de plataformas digitales interactivas o sistemas para visualización de información a partir de medidores inteligentes y la realidad y las condiciones existentes en nuestro país.
- La falta de un código de programación, que permita la adquisición, limpieza, transformación, análisis y presentación de la información.
- La importancia y necesidad de evaluar los resultados de un prototipo generado a partir de los dos aspectos mencionados anteriormente.

1.3 Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una metodología para la gestión de consumo eléctrico, en plantas de generación eléctrica en Costa Rica, basada en la ciencia de datos y a partir de medidores inteligentes.

Objetivos específicos

1. Diseñar el proceso para i) la identificación de necesidades de información de consumo eléctrico, ii) el desarrollo de la plataforma y iii) la evaluación de la solución generada.
2. Programar en R un prototipo funcional de la plataforma de consumo eléctrico que muestre sus principales características.
3. Analizar los resultados obtenidos al aplicar la metodología en dos plantas de generación eléctrica.

1.4 Justificación

Los medidores inteligentes representan un salto cuantitativo y cualitativo en cuanto al manejo y la disponibilidad de información de consumo. Solamente en energía, se pasaría de un dato mensual a aproximadamente, 2880 datos mensuales, cantidad que podría multiplicarse varias veces, si se consideran otras variables como demanda, voltaje, y calidad de la energía. Tal cantidad de información obliga necesariamente al uso de herramientas de ciencia de datos para su gestión [21].

Ahora bien, el cambio de tecnología de medición, por sí solo, o el simple registro de las mediciones, no genera ningún valor agregado. Sin embargo, al combinar la disposición de información estructurada, ordenada y frecuente sobre consumo junto con herramientas de visualización y análisis de datos (por ejemplo, *Big Data*), es

posible generar conocimiento valioso sobre patrones de uso de la electricidad, tendencias según época del año, descripción estadística y predicción de costos, según el requerimiento específico de cada usuario. Por ejemplo, en [22], el autor, hace un amplio y profundo recuento de algunas de las posibilidades que han abierto gracias a la masificación de la medición inteligente alrededor del mundo y su análisis, entre las cuales se encuentran:

- Identificación de patrones de consumo eléctrico en hogares por composición de la familia (cantidad, edad y educación de los miembros).
- - Mejora en la gestión el consumo, debido al suministro de información a los clientes.
- Ayuda a evitar fraudes y al manejo de la demanda.
- Nuevos esquemas tarifarios como precios dinámicos, prepago.
- Análisis de correlación entre eventos en tensión, temperatura ambiente, impacto de la generación distribuida, las condiciones de carga en las subestaciones y en los consumidores.
- Mejora en la gestión de las redes y las cargas variables debido a la incorporación progresiva de generación distribuida, vehículos eléctricos y nuevos elementos dinámicos en las redes de distribución.
- Análisis predictivos para estimar el posible impacto de ciertas decisiones en el consumo.
- Identificación del potencial de ahorro energético de edificaciones, al comprender mejor el uso de la electricidad.
- Establecimiento de un proceso para la detección rápida de anomalías o consumos inusuales, aplicando redes neuronales a partir de los datos históricos, mediante la comparación el consumo modelado y el consumo real.
- Cambios en la percepción que tienen los consumidores sobre la adopción de nuevas tecnologías en las redes inteligentes y en la disposición a pagar más por el servicio de electricidad con el fin de reducir las emisiones de carbono

y los apagones; así como cambios de comportamiento para aprovechar las ventajas de nuevos esquemas tarifarios.

- Creación de nuevas industrias; posibilidad de cooperación público-privadas.

La información de los medidores inteligentes ofrece enormes posibilidades para su uso y análisis, para lo cual deberá establecerse un orden. Empero, para efectos de esta investigación, se plantea empezar con el desarrollo de una metodología práctica para generación de una plataforma digital interactiva, mediante la cual sea posible gestionar el consumo eléctrico que se tiene en las plantas de generación y que esté basada en los principios y fundamentos de la ciencia de datos.

Es preciso considerar que el alcance definido incluye solamente a dos plantas gestionadas por el Negocio Generación del ICE; sin embargo, se debe tener presente que existe una amplia oportunidad de aplicación de la propuesta a desarrollar en otros sectores, pues se estima que en Costa Rica el 95% de los clientes de las empresas distribuidoras desconoce la cantidad de energía eléctrica que consumen al mes, según [23].

La sistematización del proceso, entonces, permitiría que sea posible aplicar el resultado en cualquier otra instalación diferente a una planta de generación, a partir de leves modificaciones. Con esto, la investigación podría generar un valor adicional a la sociedad costarricense, puesto que corresponde a un primer prototipo, necesario para generar experiencia en el comportamiento y los retos que se están presentando, con base en el contexto y la realidad de la medición utilizada.

La solución propuesta, contempla una visión integral en la cual se unifican la ciencia, la tecnología y la sostenibilidad, para el desarrollo de un sistema de gestión de consumo eléctrico, a partir del diseño centrado en el usuario y enteramente realizada en el país. En la Figura 9, se presentan las principales características de la investigación asociados a los pilares de la maestría.

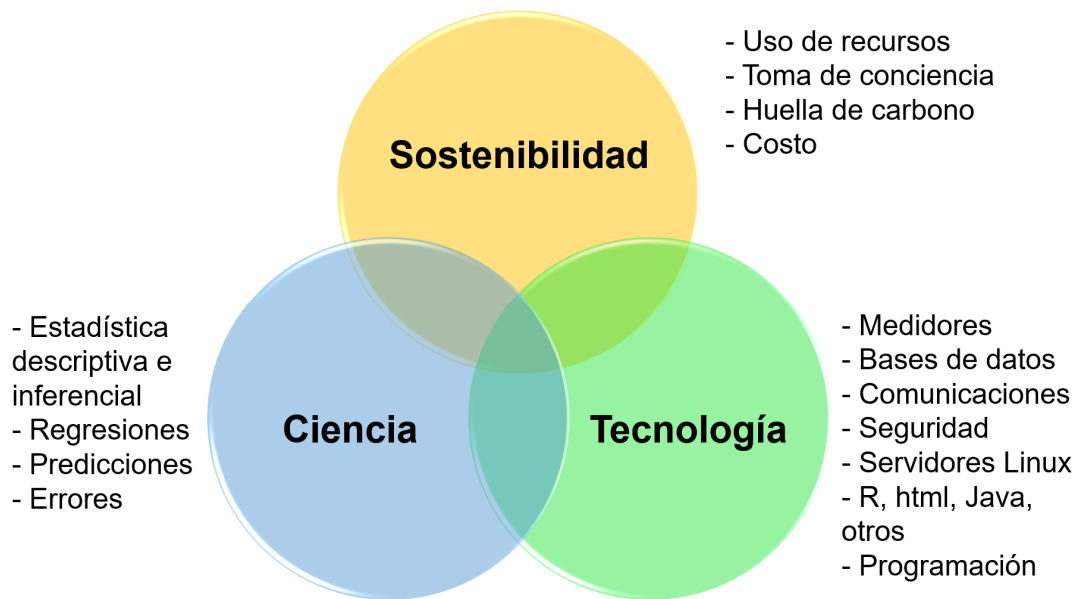


Figura 9. Pilares de la investigación de tesis

Una plataforma para el consumo eléctrico, como la propuesta, tiene la intención de desarrollar consciencia y facilitar la toma de decisiones respecto al consumo eléctrico. Al respecto, se ha indicado que los seres humanos recurren a representaciones visuales de manera innata para muchos objetivos [24] (por ejemplo, para representación de relaciones; descubrimiento de patrones o tendencias; captar y mantener la atención; como ayuda a la memoria; para resaltar los detalles o la generalidad; como motivación; definición de una historia compartida) y en especial, para la presentación de opciones, generar acción y tomar decisiones.

Se propone generar una solución vanguardista, desde su diseño y elaboración, que integre elementos de innovación y creatividad (según se requiere hoy en día, para la solución de problemas complejos) [25] y que, además, es inexistente en el país, que sirva como herramienta en la toma de conciencia acerca de la forma en que se consume electricidad y su evolución en las etapas posteriores, según se propone en la Figura 10.

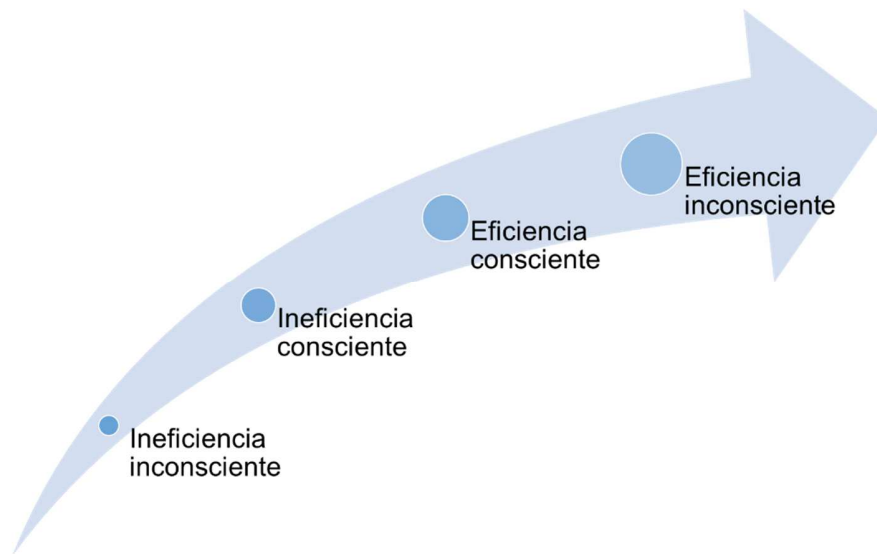


Figura 10. Etapas en la generación de consciencia

La importancia de la solución propuesta podría dividirse en las siguientes áreas:

- **Impacto social:** ayuda a generar consciencia en las personas usuarias, acerca del uso de los recursos; empoderándolas y motivándolas al uso eficiente.
- **Impacto económico:** una gestión eficiente del consumo eléctrico se traduce directamente en menos costos. Además, el desarrollo propuesto, no implicó costos adicionales a la organización, ya que se llevó a cabo a partir de las condiciones existentes.
- **Impacto medioambiental:** para generar electricidad se utilizan diferentes recursos, de manera que una gestión más consciente, ayuda en la reducción del uso de agua, combustibles, vapor, entre otros recursos.
- **Originalidad:** la solución propuesta, responde a las necesidades y condiciones propias de Costa Rica; no es una simple adaptación, copia o aplicación de algún desarrollo realizada en otro país.
- **Integralidad:** bajo una visión holística, se unen la ciencia y la tecnología y se ponen al servicio de la sostenibilidad, con el fin de generar un impacto positivo en la sociedad.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Plataformas de información para datos de consumo eléctrico

La masiva cantidad de información debe ser recolectada, almacenada y analizada para obtener información útil para tomar decisiones [26] y la tecnología tradicional, no es una herramienta apropiada para hacerlo [27]

Este aumento en la amplitud y profundidad de la información conlleva un aumento en la complejidad del análisis y la comprensión. Los seres humanos tienen una capacidad limitada para procesar información y sin las herramientas adecuadas, conforme aumenta la complejidad, disminuye la precisión de la interpretación [26].

Los datos complejos provenientes de los sistemas de distribución de energía tienen un inmenso valor [21]. Sin embargo, esta misma fuente indicaba desde 2015, que las estrategias para la obtención de ese valor potencial apenas estaban en etapas incipientes y que la mayoría de las empresas de servicios públicos en el mundo, no estaban del todo preparadas para lidiar con el creciente volumen de datos. De igual manera, identificó que la falta de casos innovadores de uso y la carencia de propuestas de aplicaciones que conviertan el big data en inteligencia con valor junto con *a investigación insuficiente sobre el diseño de la arquitectura del sistema de análisis de big data y las matemáticas avanzadas en gran escala*” (la traducción es del autor) son dos de los principales obstáculos para la adopción de análisis de big data en redes de distribución. El consumo de electricidad es uno de los componentes de la información disponible de los sistemas de distribución.

Por lo indicado, el análisis de los datos de consumo aporta valor para las empresas distribuidoras y para los clientes. Por ejemplo, se reporta que tiene utilidad para:

- Validar la información;
- Auditoría de pérdidas;
- Identificar información faltante / máxima demanda; para
- El análisis de perfil del consumidor;

- El pronóstico de carga y para la identificación de patrones anormales de consumo.

Todo lo cual, propicia una mejor gestión al permitir a los clientes conocer su consumo y contribución al proceso de gestión de la energía [19].

Consecuentemente, la demanda de electricidad tiene afectación directa sobre la operación de las plantas de generación y el sistema de distribución, por lo que se ha evidenciado la importancia de contar con perfiles de consumo horario [28].

Un eventual beneficio para la sociedad es que, a partir del análisis de datos de muchos consumidores, es posible la identificación de elementos que ayuden a crear políticas y programas que se enfoquen en la eficiencia energética (control de demanda, identificación de patrones de consumo, modelado de consumo por cambio de políticas, costo) [29].

Con respecto a los análisis de los datos, se reportan varias iniciativas en la literatura. Una metodología para la extracción de patrones de consumo eléctrico en series de tiempo tipo *big data*, orientada hacia la obtención de conclusiones con valor es propuesta por [30]. La metodología se basa en el estudio de cuatro índices de validez de técnicas de agrupamiento de datos (*clustering*) y la aplicación de una técnica de agrupamiento. Se obtienen y discuten los resultados de la aplicación, y con base en los patrones de consumo obtenidos, se generan políticas para la gestión energética de la instalación.

Por su parte [31], propone describir la distribución de consumo eléctrico por período del día (mañana, tarde y noche), para cada día de la semana, y el costo según la tarifa aplicable en cada período, lo cual podría llevar a una optimización del consumo.

Para el análisis del consumo de energía, [32] indica que el mejor proceso analítico son las técnicas de minería de datos, que incluyen el análisis y preprocesamiento de datos exploratorios, minería de patrones frecuentes y asociaciones; clasificación / caracterización; agrupación y deducción de valores atípicos, lo cual se esquematiza en la Figura 11.

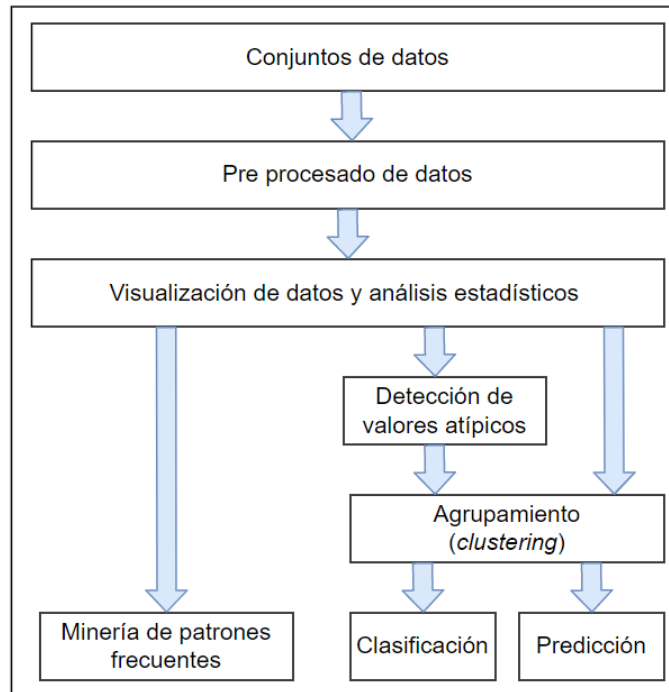


Figura 11. Proceso de técnicas de data mining aplicado a sets de datos [32]

Debido a que a partir de las bases de datos se obtienen datos crudos, es necesario llevar a cabo diferentes procesos para limpiarlos y acondicionarlos. Al respecto, en [32], son mencionados varios aspectos que se pueden requerir en las etapas de preprocesamiento de datos y visualización y análisis estadísticos:

- 1) **Limpieza:** cambio de formato de fecha original a uno legible (UTC); corrección de inconsistencias mediante ordenamiento según la serie de tiempo.
- 2) **Integración de los datos:** consiste en integrar datos provenientes de diferentes orígenes; por ejemplo, al integrar datos de generación de electricidad con datos de consumo.

- 3) **Transformación de los datos:** reemplazo o generación de nuevos atributos. Por ejemplo: día de la semana, hora, día del año, mes, año, período punta, período valle, periodo noche.
- 4) **Reducción de los datos:** reducción o agregación con base en los atributos de tiempo generados anteriormente. Debido a que se cuenta con datos de energía cada 15 minutos, por ejemplo, es preciso hacer las agregaciones correspondientes, según la unidad de tiempo que se desee analizar.

Otro modelo inteligente de minería de datos para el análisis, pronóstico y visualización de series de tiempo de consumo eléctrico, para descubrir varios patrones temporales, es presentado por [33]. Los patrones identificados, definen el uso de los aparatos eléctricos en la instalación según hora, día, semana, mes y la estación del año, entre otros factores, para así inferir y analizar el impacto del consumo de energía de los consumidores y la tendencia de pronóstico de energía. Su propuesta se resume en la Figura 12.

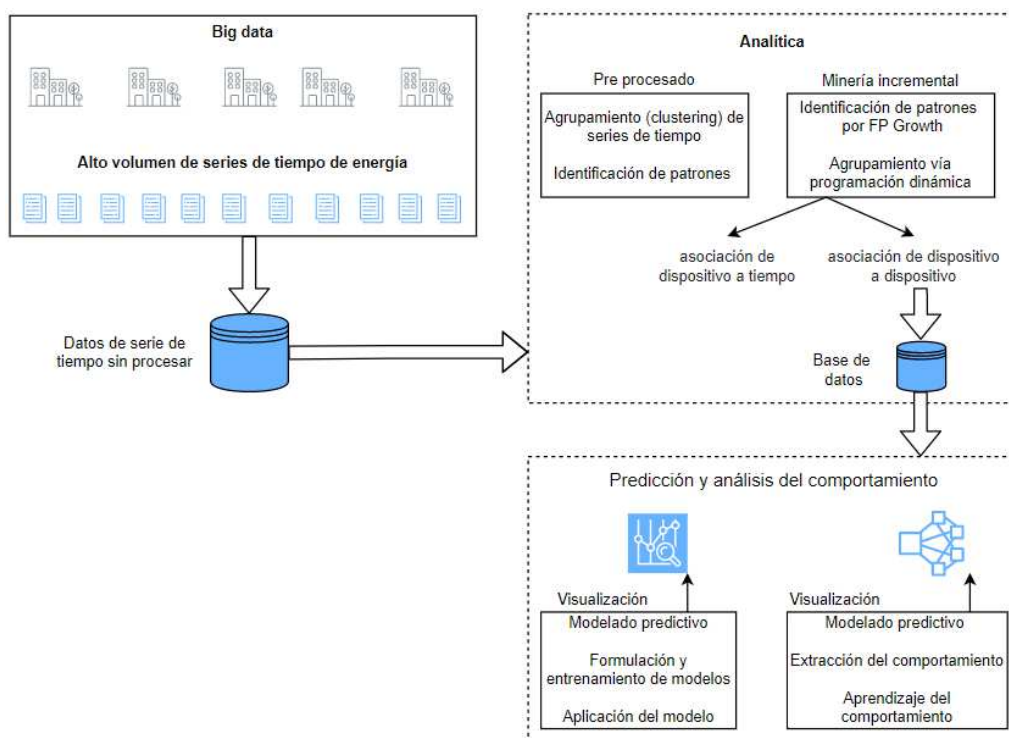


Figura 12. Modelo incremental progresivo para data mining y predicción utilizando series de tiempo de energía [33]

Al trabajar con datos, el valor no está solamente en procesar un gran volumen, sino en la capacidad de aplicar técnicas apropiadas para extraer la información valiosa, con un propósito particular y luego entregarla a los usuarios. Es decir, se trata de hacer analítica de datos, entendida como un proceso sistemático de aplicación de diferentes técnicas sobre los datos [34].

En relación con lo indicado, se distinguen tres tipos de modelos analíticos:

- a) Análisis descriptivos: suministran información sobre el pasado, permitiendo aprender de comportamientos anteriores y entender qué pasó.
- b) Análisis predictivos: su objetivo es brindar información para estimar la probabilidad de ocurrencia de comportamientos futuros, desde el comportamiento pasado o actual.
- c) Prescriptivos: mediante algoritmos de optimización y simulación sugieren posibles resultados y un plan de acción.

En [33], los autores presentan un modelo inteligente de minería de datos para analizar, predecir y visualizar consumo eléctrico en serie de tiempo, con la finalidad de revelar patrones temporales de consumo.

La analítica sobre consumo eléctrico todavía se encuentra en etapas iniciales: no ha sido completamente explorada ni desarrollada. Esta tesis se enfoca principalmente, en los análisis descriptivos y sugiere, solamente, una opción para de análisis predictivo.

Se ha documentado el impacto positivo que la retroalimentación del consumo de energía a través de plataformas en relación con el aprendizaje, el cambio de comportamiento y su disminución [35] en viviendas [36], edificios [37] y universidades [38]. El análisis de energía y demanda puede ayudar, inclusive al conocimiento de los procesos, patrones de uso y a la identificación de fallas potenciales en equipos, entre otros [39]. También se ha indicado, que, en ambientes de producción industrial, el conocimiento detallado del consumo eléctrico es un requisito previo para reducir y optimizar su consumo [40] , [41].

De manera específica, los autores en [42] comprobaron mediante un experimento de campo aplicado en India, la utilidad de un panel de información para la gestión de consumo eléctrico. Los autores demuestran que una campaña, basada en proveer información de consumo eléctrico a los habitantes de un complejo de apartamentos en India, durante un año a partir de un medidor inteligente, impacta el consumo de los habitantes de clase media. Se desarrollaron paneles personalizados para la gestión de consumo eléctrico y a partir de la frecuencia de ingreso a dichos paneles, junto con la tasa de lectura de los mensajes enviados se determinó que una estrategia basada en información y conciencia acerca del consumo responsable es más efectiva, que una basada solamente en costos.

Asimismo, en la bibliografía se menciona que una herramienta que permita al usuario seleccionar la información de consumo a visualizar, los intervalos de tiempo a analizar (día, semana, mes o entre fechas determinadas), entre otros elementos, permitirá tomar decisiones que conlleven a generar una cultura de ahorro energético y conservación de los recursos [43].

Se encuentran referencias, también, sobre los llamados “paneles ambientales”, los cuales están siendo utilizados como una novedosa forma de eco retroalimentación (ecofeedback), con el fin de acerca a las empresas con el entorno ecológico y ambiental de la comunidad que les rodea. La transición a una relación más sostenible con la naturaleza demanda la introducción de nuevas formas de retroalimentación que hagan visible el flujo de recursos y se pueda considerar en la toma de decisiones [44]. La eco retroalimentación (ecofeedback), entonces, se refiere a la retroalimentación explícitamente diseñada para comunicar implicaciones ambientales para la toma de decisiones.

Por su parte [45], resalta que los paneles de información son un instrumento para la gestión de la información, para su monitoreo y análisis; para la observación, identificación y resolución de problemas. Por lo tanto, el autor identifica y revisa analíticamente las características clave, los propósitos, usos y beneficios de un panel para las necesidades de la universidad. Al desarrollarlo en R, valida su valor

para generar paneles, ya que la tesis justamente se basa en desarrollar una propuesta de panel en R.

En contraste a las bondades referenciadas, es posible encontrar críticas y dudas respecto de la efectividad de los paneles de visualización para consumo eléctrico. Se dice, por ejemplo, la poca evidencia existente que sugiera que, mediante un panel, automáticamente se alcanzará una reducción en la demanda de energía [36]; en [46] se llegó a afirmar inclusive, que *“el panel más genial del mundo no ahorrará ni un BTU de energía, a menos que alguien tome una llave y arregle el equipo, ajuste un programa de operación o tome medidas para mejorar la infraestructura”* (la traducción es del autor).

Múltiples soluciones técnicas se han desarrollado para fomentar la eficiencia energética en edificios. No obstante, su efectividad y sostenibilidad en algunas ocasiones no corresponden con las expectativas, debido, principalmente, a la falta de perspectiva del diseño y de las necesidades reales del usuario [47].

Además, el uso no eficaz de los datos puede resultar en sesgos o priorizaciones innecesarias. Por lo tanto, la efectividad del panel depende, principalmente, de la implementación de las medidas, a partir de análisis de los datos [48].

Otra observación que se hace con respecto a los paneles en formato web es que la audiencia que los visita, se limita a quienes buscan contenido de forma activa [44].

La posibilidad de supervisar productos de IoT mediante aplicaciones web, tabletas o dispositivos inteligentes para consumo eléctrico, también presenta algunas desventajas como mayor costo, problemas de comunicación y peligro de ataques cibernéticos, entre otros [49]. La privacidad y la seguridad son de los principales retos para enfrentar en el futuro, ya que los usuarios deben tener la tranquilidad que sus datos están seguros.

No todo está perdido, igualmente se encuentran opciones para compensar las debilidades señaladas, En [36], se mencionan algunas de las cualidades de la retroalimentación exitosa mediante plataformas, incluyen: múltiples opciones para que los usuarios puedan escoger, un elemento interactivo, desglose detallado y

comparaciones entre períodos, al tiempo que se reconocen lagunas en la literatura de investigación al respecto.

En relación con lo indicado, el reto es desarrollar comunicaciones que puedan ser utilizadas para seleccionar la información más útil para el consumidor, combinarlas con asesoría y lograr una acción efectiva. Por eso, uno de los principales retos es lograr el involucramiento de los usuarios. Es preciso conocer qué les interesa y esto tiene un alto componente social que debe tenerse presente [36].

Las plataformas, mediante visualizaciones interactivas, permiten a los usuarios recolectar, organizar y analizar grandes cantidades de datos, con el fin de descubrir patrones y otra información valiosa. Convierten datos complejos en accesibles, consumibles y les otorga sentido [27]. La visualización, incorpora técnicas hombre-máquina para presentar conocimiento en forma de aplicaciones web, paneles y dispositivos móviles. Para su desarrollo satisfactorio, se requiere la experiencia y el conocimiento de un equipo multidisciplinario [34].

En su tesis doctoral [50], y en otros artículos, [51] se resalta la importancia de los paneles en la entrega de información a los usuarios con la finalidad de monitorear sus sistemas. Sin embargo, plantea que las investigaciones se han centrado principalmente en aspectos técnicos de los paneles como su interfaz gráfica, la funcionalidad o los aspectos tecnológicos. Por esta razón, la autora explora el proceso de diseño y su relación con el desempeño de la organización, sus procesos y su entorno. Expone, además, que, en el diseño de un panel de información, aplican los principios básicos del pensamiento basado en diseño.

Seguidamente, propone que el panel se desarrolle con una razón, para solucionar una necesidad y, por ende, que sea centrado en el usuario y sus requerimientos, para que éste se apropie y lo use.

De esta manera, para la autora, la comunicación grupal, interdisciplinaria y multifuncional, tienen un papel fundamental en el diseño y desarrollo de un panel de información. La comunicación y colaboración entre los “dueños de los datos”, los futuros usuarios del panel, la gestión técnica de la infraestructura y los desarrolladores producirá un panel efectivo y funcional, donde el pensamiento

basado en diseño se podría aportar una visión creativa, holística y orientada a soluciones.

El marco para el proceso de diseño de paneles de información, propuesto por la autora [50] se muestra en la Figura 13.

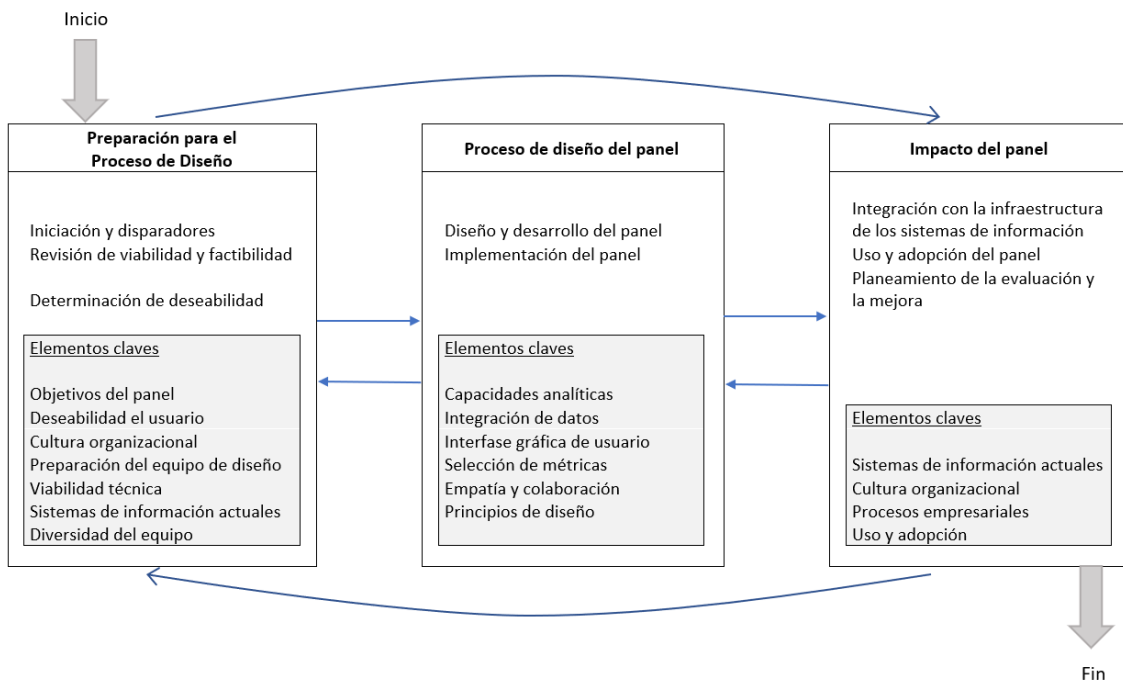


Figura 13. Marco para el proceso de diseño de paneles según [50]

A partir de la Figura 13, se evidencia que el proceso de diseño de paneles de información no es lineal; por el contrario, es un ciclo en el que es posible hacer ajustes y realimentar cualquier etapa, en cualquier momento.

En [52] para desarrollar el diseño y el concepto de la visualización de los paneles de salud fue utilizado un modelo teórico de conciencia de la situación, de forma que permitiera satisfacer las necesidades de las partes interesadas. En este modelo de conciencia, la percepción es el nivel 1 y es el más básico; corresponde a la habilidad de percibir la condición actual y monitorear datos específicos en el entorno. El nivel 2, comprensión consiste en la facultad de integrar y sintetizar diferentes elementos de los datos. Por su parte, la proyección el nivel 3 y concierne a la capacidad de pronosticar estados futuros.

El desarrollo de la visualización fue llevado a cabo mediante un proceso de diseño centrado en el usuario, colocando las necesidades de los usuarios al frente del diseño y el desarrollo. A través de entrevistas, se identificaron las necesidades de información y estas fueron cubiertas por los gráficos dentro de los paneles. De esta forma, se obtuvo realimentación positiva, con usuarios señalando beneficios puntuales.

Los programas no parecen ser una limitación o problema. Para la visualización interactiva, se reporta el uso de diferentes opciones como Tableau [50], Power BI [49], Java [51], al igual que R [45].

De forma particular, R es reconocido como un sistema de primera para el análisis de datos de forma interactiva y diseñado específicamente para el trabajo con datos y, por lo tanto, con características más amplias que otros lenguajes para ello. Cuenta, además, con una amplia gama de paquetes o librerías para el manejo de tareas especializadas, generadas por expertos basados en la literatura más reciente en sus campos [53].

Asimismo, destaca por su condición de software libre, el estar disponible para instalar en la mayoría de los sistemas operativos y, en especial, por el incremento paulatino de su uso en universidades (en campos tan variados como análisis estadísticos; estudios ecológicos, ciencia genética y molecular, predicción y modelado), lo cual demuestra que es confiable y es una garantía de desarrollo continuo en el futuro [54]. Para la investigación científica y el ámbito académico, la reproducibilidad de los análisis junto con su comunicación, son aspectos fundamentales y por los que, justamente, el uso R se prefiere [55] .

En la investigación científica, la reproducibilidad es un aspecto medular, que es posible obtener con R asociado a la credibilidad

Los paneles, permiten ver la información de forma estructurada, integrada y organizada de forma sencilla. Pero no deben ser un esfuerzo aislado, que se hace solo una vez; por el contrario; deben verse como un esfuerzo continuo en el tiempo, respecto a la contribución del desarrollo de la organización [48].

En resumen, las plataformas de información respecto al consumo eléctrico son útiles en la medida que sean utilizadas por los usuarios, se analice la información y se tomen acciones concretas al respecto. Es preciso, entonces, que la plataforma considere las necesidades de los usuarios y sea considerada atractiva.

3.3 Evaluación de experiencia de usuario

Los análisis visuales se han convertido en una herramienta fundamental en la exploración y análisis de grandes cantidades de datos, permitiendo que tengan sentido para las personas y que les sea más fácil interactuar con ellos. No obstante, junto con su creciente popularidad, también se ha indicado que en ocasiones no se tiene claridad en la forma de evaluar las nuevas clases de análisis visuales, en términos de desempeño y facilidad de uso [56].

El tema se complica, cuando además de evaluar la calidad de un determinado análisis de datos (que es diferente de evaluar la ciencia o la pregunta que subyace en los análisis) [57], se debe evaluar, al mismo tiempo, si la interfaz es eficiente, fácil de usar y fácil de entender para los usuarios.

Un concepto que podría ayudar es la *Evaluación de la Experiencia de Usuario*, según la presentan en [58], ya que integra y toma en cuenta simultáneamente elementos pragmáticos (como eficiencia y eficacia), junto con elementos hedónicos (como características estéticas y de uso). La *Evaluación de Experiencia de Usuario*, permite describir de manera cuantitativa todo el impacto que un determinado producto tiene en el usuario final y tiene especial aplicación en el desarrollo de software. Su instrumento de aplicación es a través del Cuestionario de Experiencia de Usuario (CEU) o *User Experience Questionnaire* por su nombre en inglés.

Se ha indicado que una *Experiencia de Usuario* de alta calidad es uno de los factores de competitividad en mercados con clientes maduros y su objetivo obtener información sobre cómo se sienten los usuarios al utilizar un determinado diseño; es subjetiva (cada usuario tiene su opinión), depende del contexto y, por lo tanto, no puede ser medida en un laboratorio [59].

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1 Método tecnológico

Por su naturaleza, el trabajo de investigación se ubica dentro de la generación de conocimiento tecnológico; por lo tanto, se sigue el método tecnológico para su correcto desarrollo [60]. El resultado es un producto concreto, funcional, práctico y útil en ambiente digital, para la gestión del consumo eléctrico y la documentación de la metodología de solución.

De acuerdo con [60], el método tecnológico, en todas sus etapas, se encuentra conformado según se indica en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Conformación de etapas del método tecnológico.

Etapa	Detalle
Análisis	Situación, necesidad
Diseño	Generación de prototipo, solución
Ensayo	Aplicación en contexto
Evaluación	Analizar el desempeño, impacto
Innovación	Identificación de mejoras

Según [61], la presente investigación se clasifica como Tesis Tecnológica, debido a que su interés y sus resultados, están orientados hacia:

- La aplicación del conocimiento para transformar la realidad actual de la industria.
- La generación de innovación.
- La satisfacción de necesidades para la sociedad, motivado por los tres pilares de la sostenibilidad.

- La producción de bienestar, al ayudar a generar de conciencia sobre el consumo eléctrico.

Según la propuesta de [61], esta investigación se podría clasificar según el Cuadro 4.

Cuadro 4. Clasificación de la tesis basado en [61].

Clasificación	Tipo	Razón
Método de investigación	Investigación de campo	Análisis y desarrollo a partir de los datos reales de consumo eléctrico de instalaciones existentes.
Tratamiento del tema	Temas prácticos	Los datos y el resultado tienen una función pragmática
Forma de recopilación y por tratamiento de su información	Técnicas mixtas	Se requirieron entrevistas, revisión bibliográfica, generación de código de programación
Enfoque	Mixto (cualitativo y cuantitativo)	La captura e identificación de los datos de necesidades es cualitativa; mientras que, para el desarrollo, análisis y los resultados del panel, se utilizan datos cuantitativos de consumo eléctrico

3.2 Técnicas de recolección de datos

3.2.1 Revisión bibliográfica

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de literatura, artículos y tesis relacionados con el desarrollo de paneles de gestión de consumo eléctrico; diseño basado en el

usuario; *desing thinking* y evaluación de experiencia de usuario. También, sobre el contexto de la generación y el consumo eléctrico en Costa Rica y el cambio a medidores inteligentes.

Además, sobre uso y análisis generados a partir de los datos de consumo eléctrico.

3.2.2 Entrevista

Se realizó una entrevista abierta a un profesional en ingeniería eléctrica, con más de 10 años de experiencia en la gestión energética en la industria costarricense y bajo la norma ISO 50001.

Corresponde a una entrevista cualitativa no estructurada [62], en la cual el interés, la conversación y las opiniones, siempre estuvieron centrados sobre diferentes elementos de la metodología propuesta, el panel o los análisis realizados.

La entrevista se llevó a cabo en diferentes etapas del proceso, sin seguir una cronología o un patrón específico de preguntas.

Algunos de los temas discutidos fueron: abordaje de clientes, requerimientos según normativa ISO 50001, principales gráficos utilizados en la gestión energética; distribución de las pestañas.

3.3 Materiales

3.3.1 Infraestructura de datos

La arquitectura de IoT utilizada de manera simple, se describe mediante un modelo de 5 capas, basado en [63] y según la Figura 14.

En la capa de percepción se encuentra el medidor inteligente (AMI) ubicado en cada una de las plantas, que registra energía (kWh), demanda (kW) y otras variables; 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 14.04, de distribución Linux basado en Debian.

En la capa de analíticos y generación de aplicaciones, se utiliza R Studio versión 1.2.1335, R versión 3.6.3 y Shiny Server versión 1.5.9.923 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 producen alertas vía correo electrónico. Todo gestionado estratégicamente mediante la capa empresarial, mediante interfaces hombre-máquina.

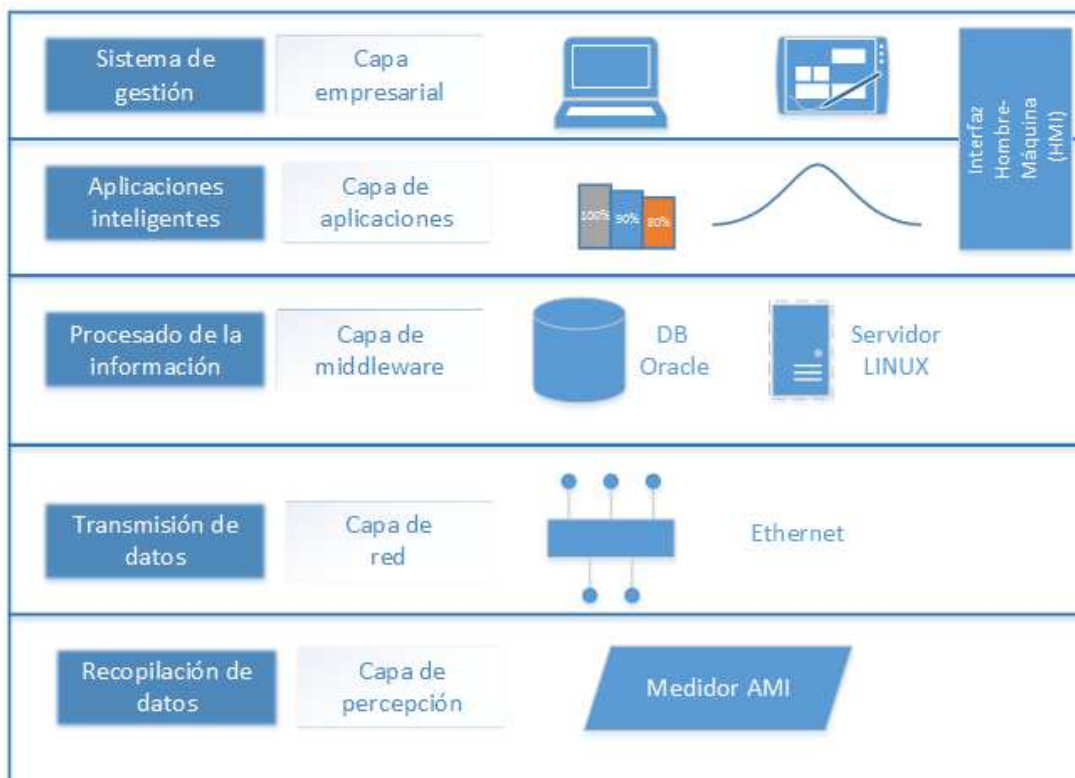


Figura 14. Diagrama de la arquitectura IoT de cinco capas utilizada

3.3.2 Software

El panel digital de visualización se construyó utilizando el lenguaje de programación R, bajo el entorno de desarrollo RStudio. Se utilizan, además, diferentes paquetes o librerías para la adquisición, limpieza, manipulación, transformación, visualización

y generación de la interfase dinámica en la página web. La referencia detallada de todas las librerías utilizadas se encuentra en el Anexo 1.

Precisamente, 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 [64].

Con R es posible gestionar de manera práctica todas las etapas de un proyecto típico de ciencia de datos [65] y que se visualiza en la Figura 15.

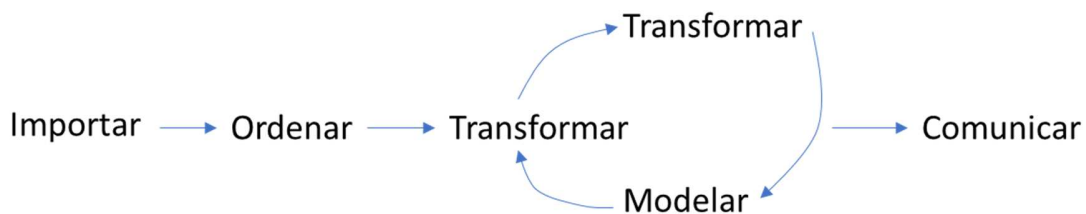


Figura 15. Etapas de un proyecto de ciencia de datos según [16]

Existe una amplia comunidad de usuarios y desarrolladores en R alrededor de la llamada CRAN (*Comprehensive R Archive Network*, por sus siglas en inglés) que constantemente están generando nuevos paquetes, con lo cual, las posibilidades de visualización y análisis se van ampliando todos los días. De igual manera, cada vez más centros de científicos de investigación y universidades lo utilizan para sus estudios [66].

Por otra parte, R es ampliamente utilizado por investigadores, de manera directa y a través de programas como Jamovi [67] o Infostat [68], los cuales lo utilizan como motor de sus cálculos.

De igual manera, existen usos documentados de R en investigaciones de medicina, biología, hidrología, ciencias sociales, entre otros [66].

3.3.3 Metodología ágil Kanban

La programación y el desarrollo general del prototipo se llevó a cabo siguiendo los principios el Manifiesto Ágil para el Desarrollo de Software [69], específicamente mediante la aplicación de la metodología ágil Kanban, con el fin de lograr una gestión armoniosa, ordenada y coherente en todas las etapas.

La metodología Kanban, es una técnica de producción ajustada, utilizada originalmente por un fabricante de vehículos japoneses en su sistema de producción y adoptada, posteriormente, para desarrollo de software [70]. Se basa en limitar el trabajo en curso y en visualizar el flujo de valor del desarrollo, con lo cual se reduce el tiempo del ciclo [71]

La metodología Kanban para el desarrollo de software, se caracteriza por cinco principios [72]:

1. Límite de trabajo en progreso (WIP, *work in progress* por sus siglas en inglés).
2. Visualización del flujo de trabajo.
3. Medición y gestión del flujo.
4. Hacer explícitas las políticas del proceso.
5. Utilizar modelos para reconocer oportunidades de mejora.

Al estar enfocado en el consumo eléctrico de una planta de generación, se conformó un equipo de trabajo autodirigido y autoorganizado, conformado por cuatro personas del Negocio Generación del ICE, conectoras de operación y mantenimiento de plantas.

Este equipo fue responsable de la definición de los requerimientos, y la evaluación y aprobación de las soluciones. Se trabajó con iteraciones de revisión de tres semanas, para cada una de las cuales se definió un requerimiento, se obtuvo una solución funcional se presentaba para evaluación y validación por parte del grupo en la iteración siguiente.

En la Figura 16, se encuentra un ejemplo de tablero de control de desarrollo típico bajo la metodología Kanban. El primer paso, fue dividir todo el requerimiento en pequeños productos o entregables que se ubican en la columna PILA (o *backlog*, en inglés). En la columna LISTO, está el requerimiento que se ha definido como prioritario, con el cual se puede continuar una vez que se tenga espacio; es decir, es trabajo que está a la espera para ser atendido. En el caso de trabajar en un equipo, el requerimiento ya se asigna a un desarrollador específico.

Bajo la columna DESARROLLO se ubicó el requerimiento en el cual se está trabajando. Una vez listo, el trabajo pasa a la columna PRUEBA.

En la columna PRUEBA, entonces, está el trabajo que debe ser sometido a diferentes verificaciones internas y especialmente, por parte del usuario final. Una vez evaluado y con el visto bueno del usuario, el trabajo puede finalmente ubicarse en la columna LISTO.

Si durante la etapa de PRUEBA, el trabajo requiere ajustes, entonces se debe regresar a la columna LISTO o DESARROLLO, según se requiera, para corregir o agregar los cambios necesarios.

Una vez que un desarrollador concluye satisfactoriamente un requerimiento, toma uno nuevo de la pila LISTO y sigue trabajando, empezando nuevamente el ciclo en un flujo continuo.

Al estar basado en una forma visual de control, es posible estimar el estado de cualquier desarrollo en cualquier momento, en función del estado de los requerimientos y la carga de trabajo del equipo.



Figura 16. Ejemplo de tablero de control de la metodología Kanban.

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 [73]. 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 [74].

3.4 Limitaciones

La investigación desarrolla un caso práctico a partir de la información de consumo eléctrico y el contexto de dos plantas de generación de diferente tecnología, una

térmica y una hidroeléctrica. Se utilizaron datos reales cada 15 minutos de demanda (en unidades de kW) y energía (en unidades de kWh) entre enero de 2019 y diciembre de 2020, provenientes de los medidores instalados en cada lugar.

El código de programación en R, y se encuentra almacenado y protegido por la institución, a la cual le pertenecen los derechos patrimoniales, según la Política de propiedad intelectual e industrial del Grupo ICE, Código: 35.00.001.2010, versión 2 [75]; la cual textualmente indica:

“Artículo 9. Todos los productos y servicios realizados con recursos del Grupo ICE, ya sean materiales, financieros, estratégicos, logísticos intelectuales, estructurales, y otros, serán protegidos y sus derechos patrimoniales le corresponderán al Grupo ICE, sin perjuicio del reconocimiento del derecho moral a autores.” (pp. 9)

En el Anexo 2 se muestra la nota de entrega formal.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Metodología propuesta para desarrollo de la plataforma de información de consumo eléctrico

En esta sección, se explica la metodología planteada para el desarrollo de la plataforma de información de consumo eléctrico. A partir de la revisión de la literatura y la entrevista, se presentan algunos requisitos clave que debe cumplir:

- 1- Debe estar fundamentada en el diseño basado en el usuario.
- 2- Los usuarios participan activamente en todas las etapas, para que se apropien de la herramienta desde el inicio.
- 3- Promoción de un equipo multidisciplinario, de manera que personas con diferentes perfiles hagan sus aportes y se logre una visión integral.
- 4- Busca identificar claramente las necesidades de información.
- 5- Al ser una instalación industrial, se incorpora la asesoría de profesionales en gestión energética y creación de interfases interactivas, para ayudar en la interpretación de la información y evitar conclusiones erradas.
- 6- Es una plataforma configurable, de manera que fácilmente se puede integrar cualquier modificación a la medida, en cualquier momento.
- 7- Utiliza una herramienta cuantitativa para la Evaluación de Experiencia de Usuario, que mide el grado de satisfacción general, una vez que se ha utilizado la plataforma.

5.1.1 Esquema de la metodología propuesta

En la Figura 17, se resume esquemáticamente la propuesta para la gestión del consumo eléctrico.

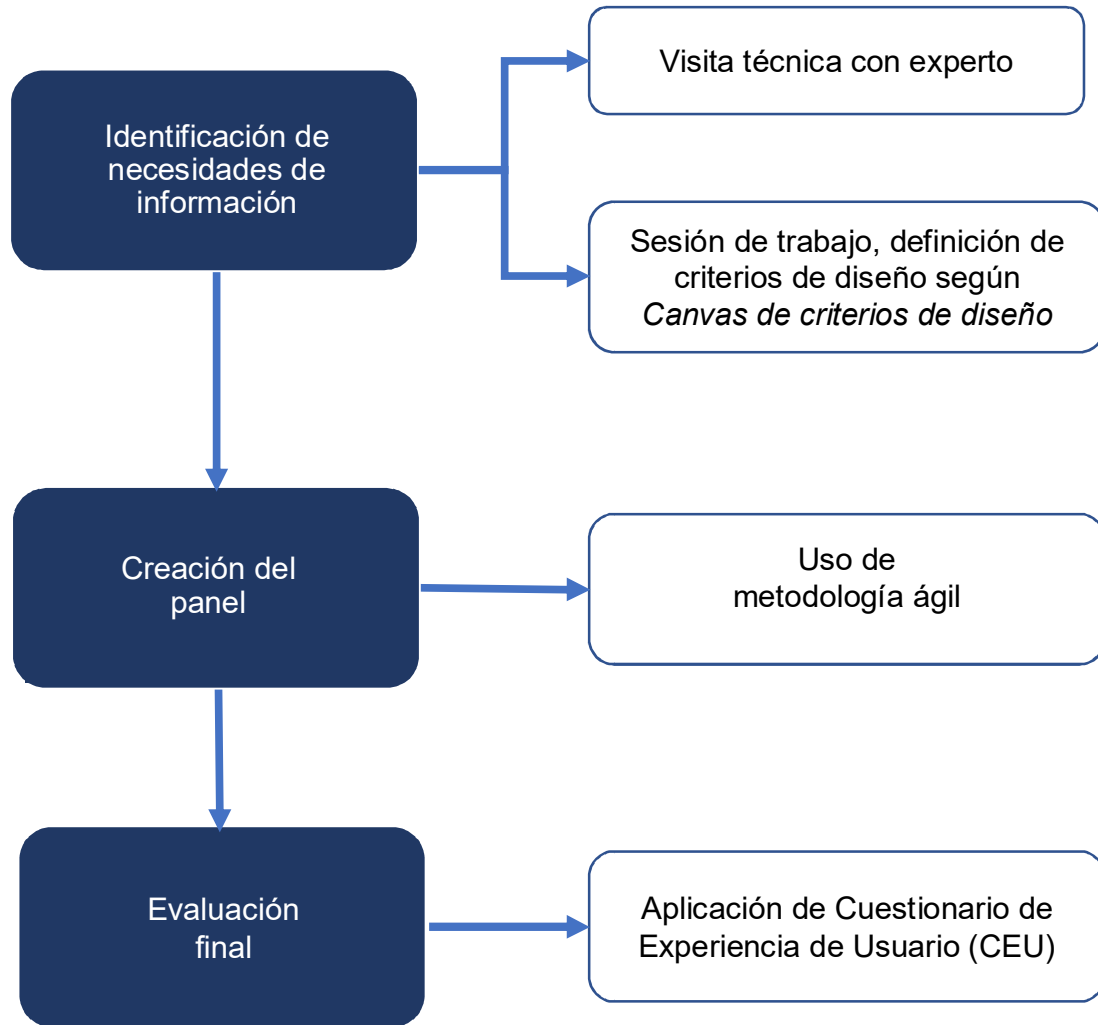


Figura 17. Etapas de la metodología propuesta elaboración propia

A continuación, se detalla cada una de las etapas de la metodología propuesta.

5.1.2 Identificación de necesidades

Visita técnica

Un ingeniero asesor, experto en sistemas de gestión energética bajo la norma ISO 50001 hace una visita a la instalación a la cual se le programará el panel, con el fin de detallar los principales elementos técnicos asociados al servicio eléctrico; por lo tanto, debe ser guiada por una persona de la empresa con amplio conocimiento al respecto y capaz de explicar ampliamente las conexiones y sus características; de preferencia, un técnico o un ingeniero.

Se debe hacer un recorrido desde la acometida principal, el medidor, la caja de interruptores, los principales circuitos y las máquinas o dispositivos que consumen electricidad. Se explicarán de manera detallada y práctica, los principales aspectos asociados al uso de la electricidad: tipos de máquinas, horarios, iluminación, circuitos. Deben detallarse todos los aspectos que permitan tener una visión integral al respecto [76]; de preferencia, se deben utilizar los planos eléctricos.

El asesor anotará los aspectos considerados más relevantes. Se recomienda al menos: voltaje de alimentación, tipo y modelo de medidor, tipo de tarifa.

La idea de esta visita inicial es que el asesor se familiarice y tenga claridad sobre la forma en que se utiliza la electricidad en la instalación y de esta manera, pueda realizar propuestas que aumenten el valor. De ser necesario, se firmará un contrato de confidencialidad para garantizar un ambiente estrictamente profesional.

Sesión de trabajo para definir los criterios de diseño

Sobre el consumo eléctrico de una empresa o instalación determinada, existen necesidades de información por parte de diferentes áreas (internas o externas) como: ambiente, calidad, costos, operación, mantenimiento, gestión de clientes, comunicación corporativa, responsabilidad social, gerencia, casa matriz (en el caso de transnacionales), entre otros. Por lo tanto, es necesario que, en la identificación

y definición de requerimientos sobre la gestión de información, se consideren todas las necesidades existentes.

En relación con lo indicado, y con miras a obtener un sistema de información de consumo eléctrico, luego de la visita técnica se debe realizar una sesión de trabajo en la empresa, que cumpla los siguientes requisitos:

- Participación de tres a cinco personas de diferentes áreas y formaciones profesionales, con interés genuino y manifiesto en el consumo eléctrico.
- Disposición de un lugar confortable; además, con pizarra, proyector, computadora (sesión física).
- Conexión a internet y computadoras con conexión de audio y video para todos los participantes (sesión virtual).
- Disponibilidad de tiempo exclusivamente para la actividad por seis horas.

La persona a cargo se presenta, explica la dinámica, junto con el manejo de tiempo y los objetivos a cumplir.

En la primera parte, cada participante dispone de hasta 15 minutos para expresar lo que le interesa sobre el consumo eléctrico y por qué es importante contar con información desde la gestión que realiza: cada cuánto requiere datos, cuáles, porqué, cómo los obtiene actualmente, cómo quisiera disponerlos, qué los hace, cuáles análisis realiza, qué producto requiere la organización de ella.

Luego, se debe realizar una dinámica en la cual se generan individualmente y por escrito los criterios de diseño para el sistema de información sobre consumo eléctrico, en función de lo que cada participante requiere.

- Debe incluirse: frecuencia de la necesidad, formato, contenido, principales características.
- El asesor técnico participa y da su criterio, a partir de la visita técnica que realizó.
- Variaciones, comportamiento en el tiempo, comparación entre períodos de tiempo, descripciones estadísticas, relacionar con otras variables propias de la

empresa (huéspedes, clientes, unidades producidas, otros), requerimiento de colores, combinaciones, logo, necesidades visuales, reactivas, todas las características necesarias.

- Soporte: laptops, teléfonos, otros dispositivos.

Una vez listos los criterios individuales, debe realizarse una sesión participativa grupal donde esos criterios se discutan, afinen, prioricen y clasifiquen en las partes del formato, utilizando como base el canvas de criterios de diseño (*Desing Criteria Canvas*, por su nombre en inglés) [77] de la Figura 18.

El canvas de criterios de diseño, es un formato propuesto para el registro integral, ordenado, resumido y coherente, de los aspectos más importantes que deben considerarse para cualquier diseño; por ejemplo, información del negocio, visión, contexto cultural y económico [77].

Canvas de criterios de diseño (<i>Desing Criteria Canvas</i>)	
DEBE TENER	Son consideraciones obligatorias, no negociables
DEBERÍA TENER	Son consideraciones que debería tener, junto con características importantes.
PODRÍA TENER	Aspectos opcionales
NO DEBE TENER	Son aspectos que definitivamente no deben estar presentes

Figura 18. Canvas de criterios de diseño (*Desing Criteria Canvas*) [77]

Concretamente, los resultados a obtener de la sesión serían:

- Elementos principales de información que deben ser cubiertos por el panel
- Frecuencia, tipo de análisis (comparaciones, serie de tiempo) según agregación.
- Designación de dueño de producto: representante por parte de la instalación con quien seguir en la etapa de creación del panel mediante la metodología ágil.
- Pila de producto.
- Tiempo para las iteraciones
- Resultado: pila de producto, orden de prioridad, criterios de diseño.
- Se debe designar un dueño de producto, una persona que logre comprender de manera adecuada todas las necesidades planteadas por los usuarios.

Metodológicamente, esta sesión podría clasificarse como un grupo focal, muy útil para la evaluación, desarrollo o complemento de un estudio, especialmente en su etapa inicial o exploratoria [62].

5.1.3 Programación del panel de gestión de consumo eléctrico

Con el fin de gestionar la creación del panel de gestión de consumo eléctrico, conforme a las necesidades de los usuarios, se utiliza la metodología ágil.

Se sugieren iteraciones de una semana; por lo que semanalmente, se debe coordinar con el dueño de producto.

Se utiliza como base, el código en R desarrollado previamente. Corresponde a un código con más de 1 000 líneas, que incluye lectura, limpieza, transformación, ajuste y visualización de los datos de consumo eléctrico de forma reactiva. Corresponde a un archivo de R, en el cual se encuentra programado el panel expuesto en esta investigación. El código contiene todas las funciones para:

- i) Adquisición de los datos desde la base de datos (incluye la conexión).

- ii) Limpieza, ajustes y transformación de los datos (creación de variables como: hora, día de la semana, día del año, mes, año, periodo de tarifa).
- iii) Agrupación según estampa de tiempo (a partir de los datos cada 15 minutos, se hacen las agregaciones necesarias según el análisis correspondiente).
- iv) Visualización reactiva (funcionamiento de las pestañas, menús y las diferentes opciones).

Para la gestión de esta etapa, se debe utilizar la metodología ágil Kanban; como se describe en el numeral 3.3.3.

5.1.4 Evaluación final

La evaluación consiste en cuantificar el grado de satisfacción que tienen los usuarios, respecto al uso de la herramienta. Para ello se utiliza la versión en español del Cuestionario de Experiencia de Usuario (CEU) propuesto por [58] (*User Experience Questionnaire*, por su nombre en inglés). El CEU, es un método de simple aplicación y multidimensional, para medir la experiencia del usuario en términos cuantitativos y que se muestra en el Cuadro 5.

El cuestionario, consta de 26 preguntas en las cuales hay dos columnas a izquierda y derecha con conceptos opuestos y en medio, columnas con los números del 1 al 7. Para cada pregunta, el usuario debe seleccionar un número entre 1 y 7, según le parezca que el concepto describa la herramienta.

Por ejemplo, para la pregunta 20, el concepto a la izquierda es “ineficiente”, por lo tanto, un 1 significaría que el usuario percibe el panel como ineficiente. Por el contrario, un 7 significaría que el panel es eficiente para el usuario, porque es el concepto más a la derecha. Los valores intermedios (2-6), permiten ponderar el sentimiento entre ambos conceptos.

Cuadro 5. Cuestionario de experiencia de usuario en español según [58].

No.	Izquierda	1	2	3	4	5	6	7	Derecha
1	desagradable								agradable
2	no entendible								entendible
3	creativo								sin imaginación
4	fácil de aprender								difícil de aprender
5	valioso								de poco valor
6	aburrido								emocionante
7	no interesante								interesante
8	impredecible								predecible
9	rápido								lento
10	original								convencional
11	obstructivo								impulsor de apoyo
12	bueno								malo
13	complicado								fácil
14	repeler								atraer
15	convencional								novedoso
16	incomodo								cómodo
17	seguro								inseguro
18	activante								adormecedor
19	cubre expectativas								no cubre expectativas
20	ineficiente								eficiente
21	claro								confuso
22	no pragmático								pragmático
23	ordenado								sobrecargado
24	atractivo								feo
25	simpático								antipático
26	conservador								innovador

Para la ejecución, se requiere hacer una sesión corta, en donde se explica el funcionamiento y la utilidad del cuestionario; se explica cómo se llena y finalmente, los usuarios llenan el formulario. Se utiliza una versión digital, con el fin de hacer la encuesta de manera remota y asincrónica.

Se reciben, procesan y analizan las respuestas de los usuarios. Definición de límites considerados aceptables.

5.2 Aplicación en Plantas Generación ICE

5.2.1 Identificación de necesidades

Los principales requerimientos de los usuarios para el consumo eléctrico de las plantas se resumen en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Requerimientos de los usuarios en el canvas de criterios de diseño

DEBE TENER
Datos de dos años de consumo eléctrico, cada 15 minutos de demanda y energía Comparación acumulada por año (pasado y presente) Comparación acumulada por mes Acumulado por mes, según el año seleccionado Consumo diario de energía Predicción de consumo para varias semanas Análisis integrado para planta hidroeléctrica o térmica, seleccionables mediante un menú
DEBERÍA TENER
Menús de selección en la parte izquierda del panel Pestañas para ubicar los análisis Colores sobrios, en tonos azul. Localización geográfica de la instalación en un mapa (coordenadas de longitud y latitud)
PODRÍA TENER
Paleta amigable para discapacidad visual de diferencia de colores Logo de la institución
NO DEBE TENER
Más de tres gráficos por pestaña No se debe mostrar consumo de otras instalaciones

A raíz de lo anterior, se vislumbra que corresponden a requerimientos generales, que deben ser afinados posteriormente en la etapa de creación del panel, por parte del dueño de producto definido en esta sesión inicial. El requerimiento específico de información y su solución, se resume en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Detalle de las necesidades de información y características de la solución entregada.

Requerimiento de información	Solución entregada	Modelo analítico	Modelo de conciencia
Comparación energía acumulada anual para dos años	Gráfico comparativo de barras (a) en pestaña Resumen	Análisis descriptivo	Percepción/Comprensión
Comparación energía acumulada mensual para dos años	Gráfico comparativo de barras (b) en Pestaña Resumen	Análisis descriptivo	Percepción/Comprensión
Comparación energía acumulada diaria por mes para dos años	Gráfico comparativo de línea (d) en Pestaña Resumen	Análisis descriptivo	Percepción/Comprensión
Comparación energía acumulada por mes para un año	Gráfico de barras (c) pestaña Resumen	Análisis descriptivo	Percepción/Comprensión
Energía diaria para cualquier período	Gráfico de línea, con filtro dinámico en pestaña Energía Diaria	Análisis descriptivo	Percepción/Comprensión
Identificación de componentes para energía diaria: estacional, tendencia y aleatorio	Gráfico de línea y descomposición de serie de tiempo, con filtro dinámico en pestaña Serie de tiempo	Análisis descriptivo	Percepción/Comprensión
Variación de energía horaria, para un mes determinado	Gráfico de boxplot por hora, con filtro dinámico en pestaña Variación horaria	Análisis descriptivo	Percepción/Comprensión
Comportamiento diario en energía y demanda, según periodos de tarifa	Gráfico de línea con definición de los periodos de tarifa y filtro dinámico en pestaña Tarifa	Análisis descriptivo	Percepción/Comprensión
Curva monótona de demanda para un período determinado	Gráfico de línea con filtro dinámico en pestaña Monótona	Análisis descriptivo	Percepción/Comprensión
Comparación cada 15 minutos por día de la semana para un mes determinado	Gráficos comparativos de línea en pestaña Día de la semana	Análisis descriptivo	Percepción/Comprensión

Cuadro 7. Continuación...

Requerimiento de información	Solución entregada	Modelo analítico	Modelo de conciencia
Mostrar el consumo de la instalación en su ubicación geográfica	Geolocalización del consumo en mapa de Costa Rica con filtro dinámico en pestaña Ubicación	Análisis descriptivo	Percepción/ Comprensión
Comparación diaria de energía, por día de la semana, semana del mes y mes para dos años	Gráfico comparativo de mapa de calor en pestaña homónima	Análisis descriptivo	Percepción/ Comprensión
Predicción sencilla a partir del consumo previo	Gráfico de línea con filtro dinámico en pestaña Predicción	Análisis predictivo	Proyección

5.2.2 Panel dinámico de información de consumo

Descripción general

El panel digital interactivo, tiene una estructura general de navegación del tipo Izquierda- Arriba- Arriba (LTT *Left – Top – Top* por sus siglas en inglés); esto quiere decir, que el menú principal se ubica a la izquierda de la página web, mientras que el menú secundario se encuentra en la parte superior. Esta combinación, ha demostrado beneficios prácticos en el diseño de páginas web, en términos de: mejorar los tiempos de navegación, facilitar los desplazamientos verticales y horizontales, así como una optimización en el espacio disponible en la pantalla para mostrar los resultados importantes [78]. La estructura se encuentra en la Figura 19.



Figura 19. Estructura de navegación general de las pestañas web

En la navegación primaria (pestañas), se ubican de forma independiente los análisis requeridos por los interesados. Dentro de cada uno, el usuario encontrará que, desde los filtros ubicados a la izquierda, es posible seleccionar la planta, el año, el mes, entre otros.

En cuanto al diseño, se trata de un estilo simple pero funcional, que centra la atención en los datos, más que en elementos estéticos o decorativos. Para ayudar en el contraste a personas con discapacidad visual, se utiliza en el panel una paleta de colores recomendada en [79].

Pestaña Resumen anual y mensual

Consiste en una vista resumen de energía anual y mensual, en unidades de kilowatt-hora (kWh), según los gráficos a, b, c y d de la Figura 20. Desde esta vista, en el panel izquierdo, se selecciona la planta que se desea seguir analizando en las siguientes pestañas. Se selecciona, además, el año para analizar en el gráfico c) de consumo mensual.

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 en utilizando un gráfico de barras.

En b, mediante un gráfico de líneas, se muestra el acumulado mensual para cada año y permite comparar la evolución paulatina del consumo entre ambos años.

El consumo acumulado de cada mes, según el año seleccionado se encuentra en el gráfico c, también mediante un gráfico de barras.

Mediante un gráfico de líneas, se compara el consumo acumulado diario por mes, para los dos años disponibles, mostrado en d).



Figura 20. Vista de la pestaña: Resumen

Pestaña 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 21.

En esta opción, el usuario puede visualizar todo el período disponible mediante un gráfico de área y así, 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.

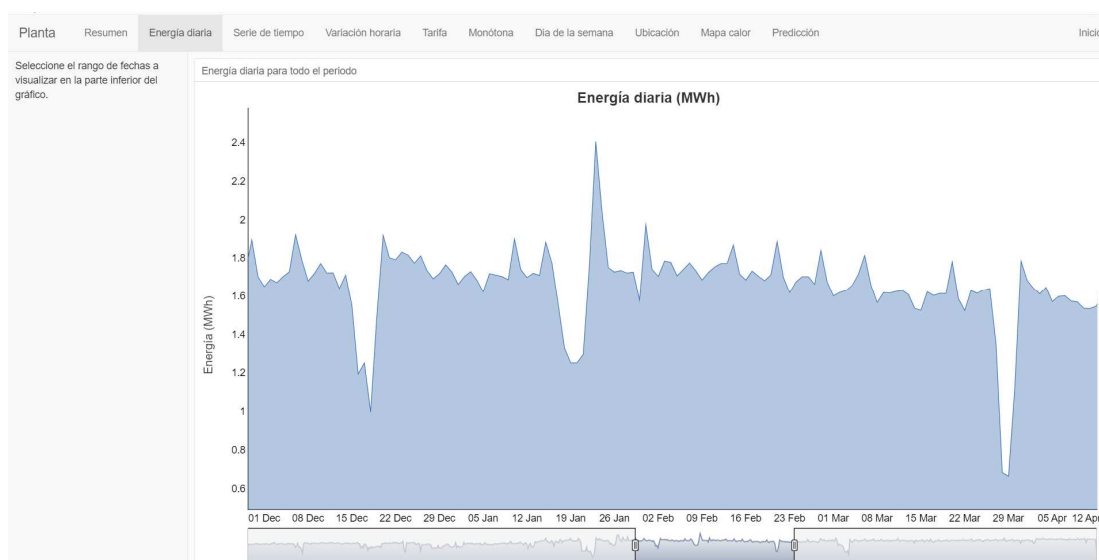


Figura 21. Vista de la pestaña: Energía Diaria

Pestaña 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 22.

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.

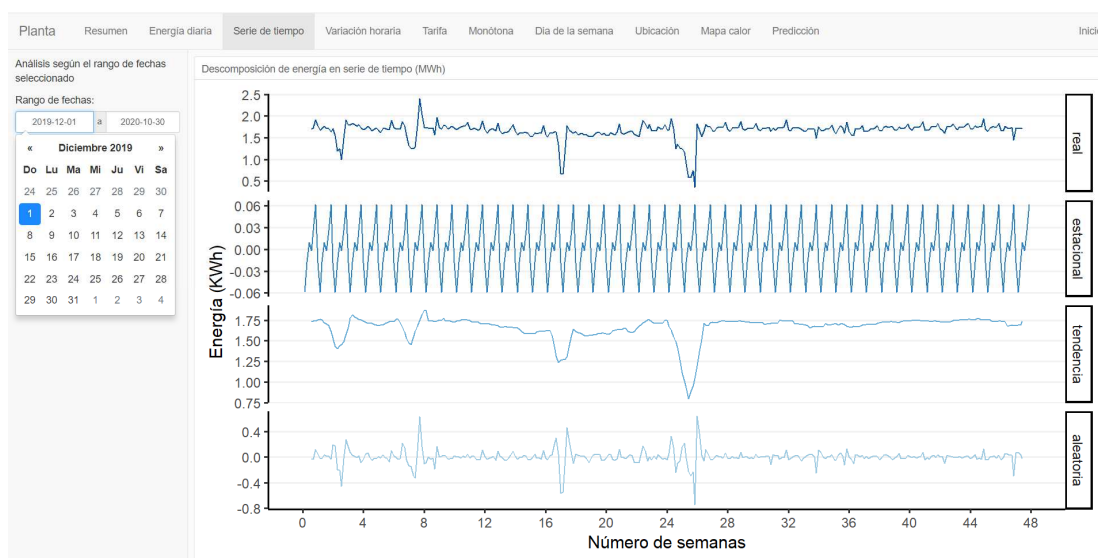


Figura 22. Vista de la pestaña: Serie de tiempo

Pestaña variación horaria

En esta pestaña, cuya vista se muestra en la Figura 23, 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.

En el panel izquierdo, se selecciona el año, el mes, junto con los valores máximos y mínimos de demanda, lo cual permite filtrar o eliminar de la vista, posibles valores atípicos (*outliers*).

La librería empleada, permite mostrar los valores de diferentes percentiles en los boxplot, al posicionar el cursor sobre cualquier gráfico.

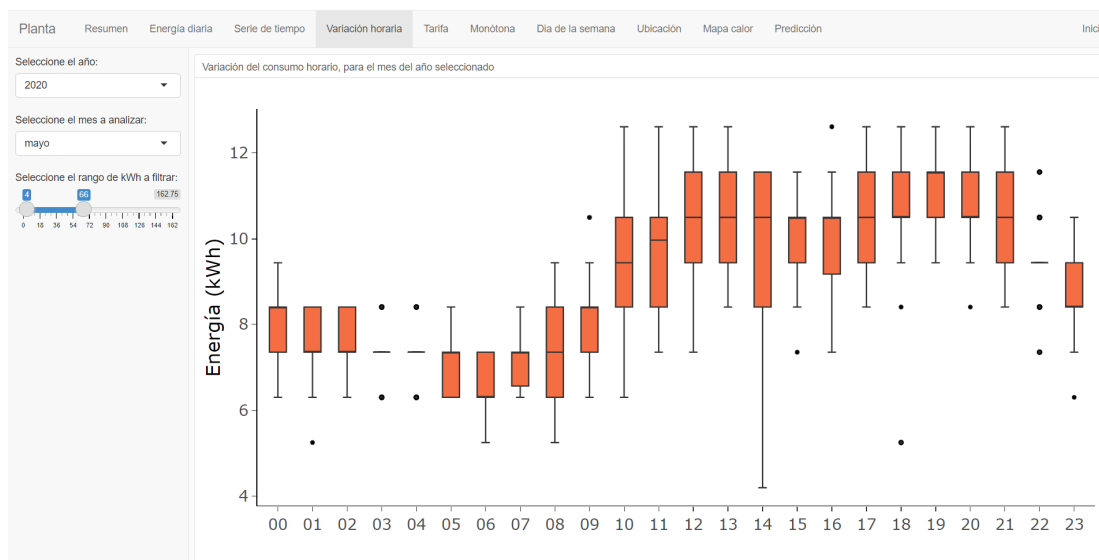


Figura 23. Vista de pestaña Variación horaria

Pestaña periodos 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 periodos de tarifa establecidos en la regulación nacional, tal como se detalla en la Figura 24.

Adicionalmente, la pestaña presenta el resumen de demanda máxima y la energía, por cada periodo, donde fácilmente se podría incorporarse la información de costos y así obtener un resultado más completo, para realizar análisis y comparaciones.

En el panel izquierdo, simplemente se debe seleccionar la fecha a analizar. El resultado, se muestra mediante un gráfico de línea.

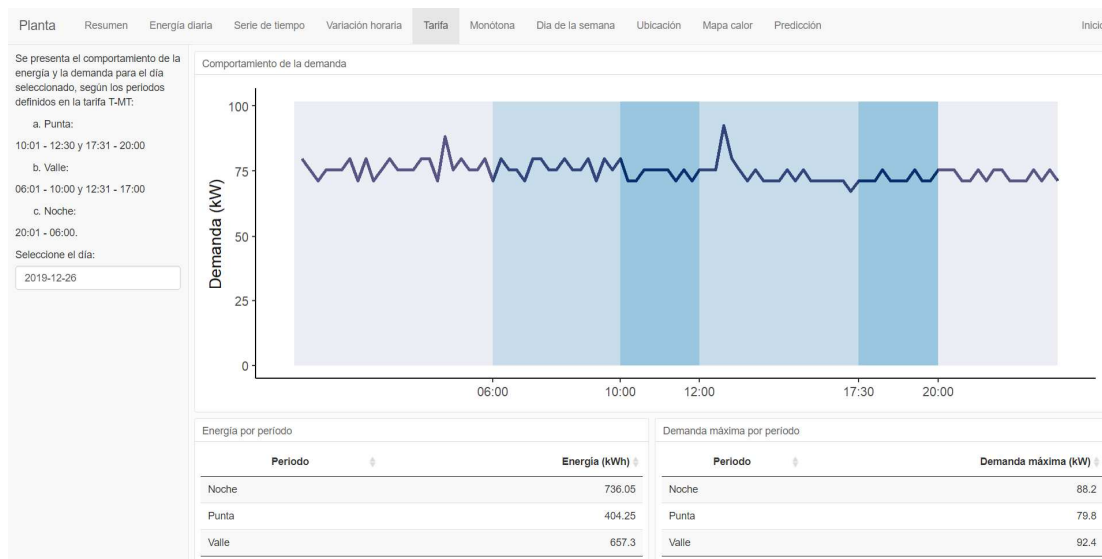


Figura 24. Vista de pestaña: Períodos de tarifa

Pestaña curva monótona de demanda

Los datos de demanda cada 15 minutos, según el rango de días seleccionado en el panel izquierdo, 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.

Se obtiene un gráfico de línea, que se encuentra en la Figura 25.

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.

Resulta sumamente útil, para comparar el comportamiento real, respecto a los estándares de consumo que se hayan definido para un determinado período. Además, junto con la herramienta de períodos de tarifa y la información de la tarifa, es posible traducir este comportamiento a costos.

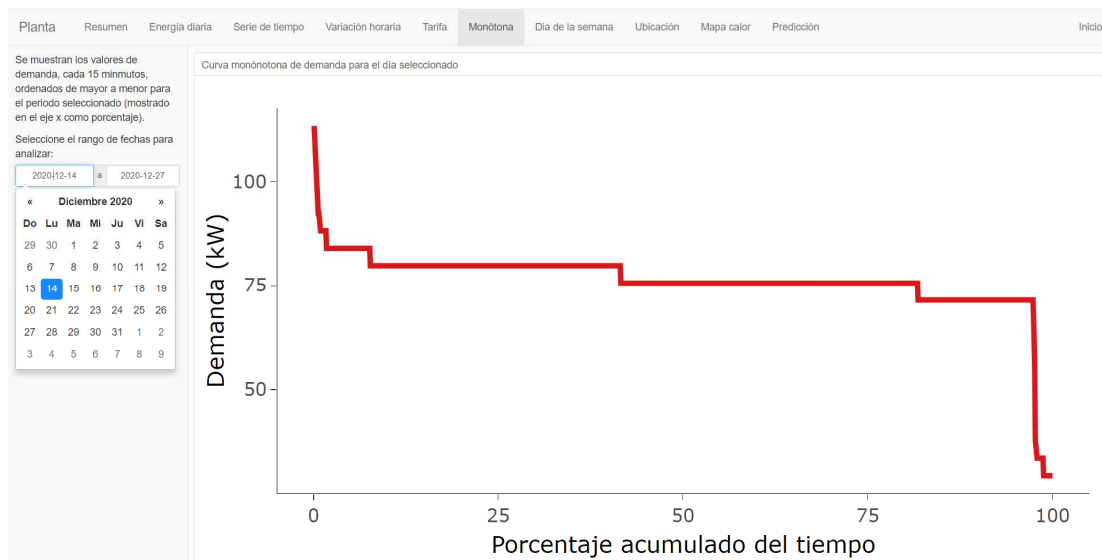


Figura 25. Vista de pestaña: Monótona

Pestaña 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 en cada caso en un color diferente y punteada. El resultado se encuentra en la Figura 26.

A partir de esta vista, pueden determinarse patrones de consumo asociados a hora del día, según día de la semana. Además, permite identificar fácilmente patrones de consumo irregulares o fuera de lo normal, lo cual es particularmente útil en entornos donde la producción presenta un alto comportamiento periódico en los días de la semana.

El usuario solamente debe seleccionar a la izquierda el año, el mes y la variable a visualizar (energía o demanda).



Figura 26. Vista de pestaña: Día de la semana

Pestaña ubicación geográfica

En esta opción de la plataforma, 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 27.

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.

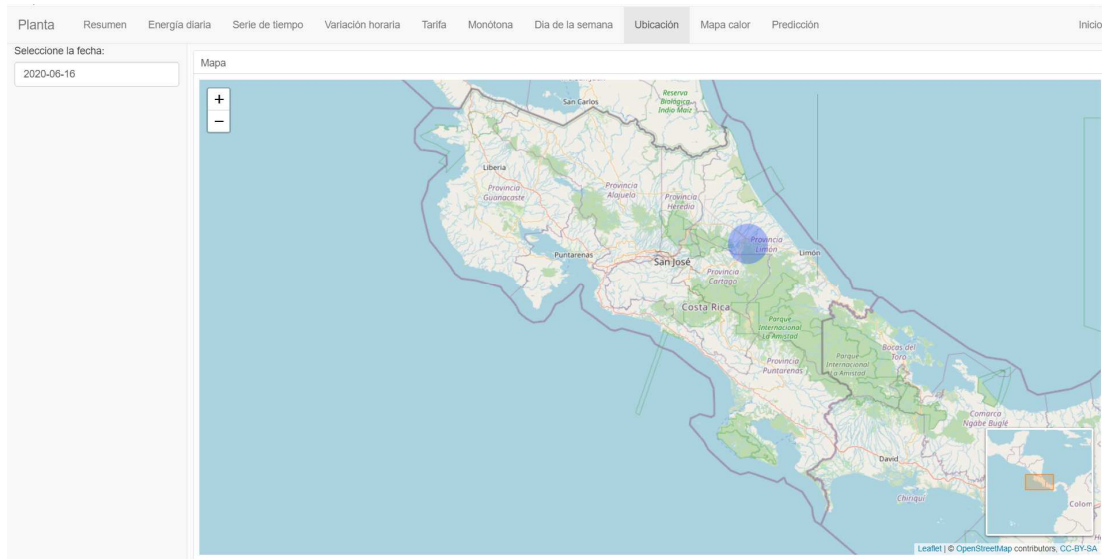


Figura 27. Vista de la pestaña: Ubicación geográfica

Pestaña mapa de calor

Según se evidencia en la Figura 28, 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 combinada 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.

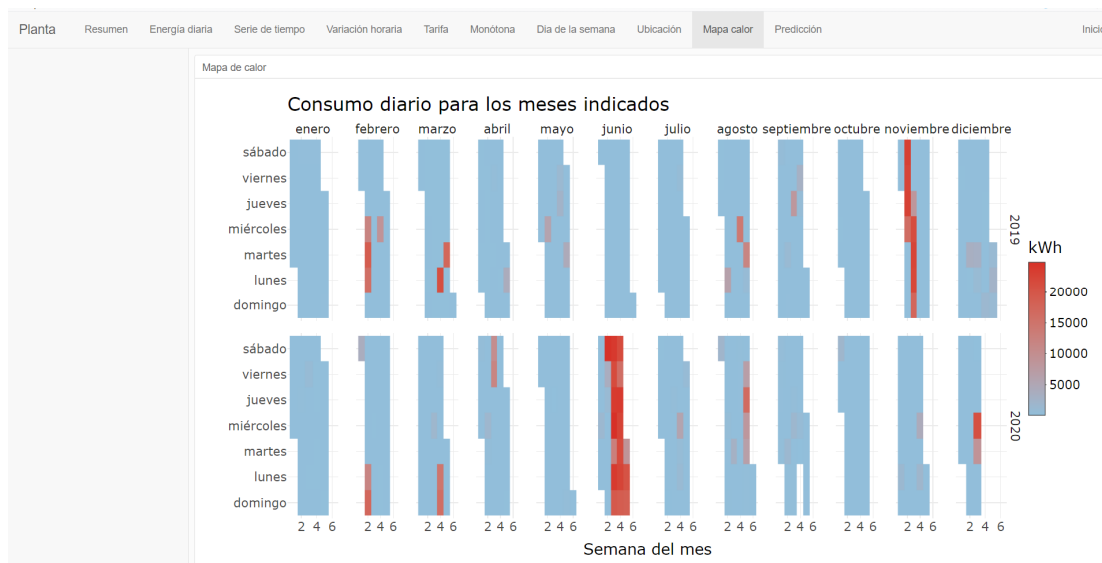


Figura 28. Vista de la pestaña: Mapa de calor

Pestaña 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 diario, para la cantidad seleccionada de semanas. El usuario puede seleccionar el rango de fechas previas a utilizar con entrada para predecir.

Como parámetros de entrada, se utilizan la cantidad seleccionada de días (diferencia entre fechas), con una frecuencia de 7 días y se proyecta la cantidad deseada de semanas hacia el futuro. A partir de los parámetros definidos, se obtienen veinte diferentes predicciones.

En el gráfico de la Figura 29, se muestra el resultado de los posibles escenarios de consumo como resultado de la aplicación de la red neuronal.

Como complemento a los análisis descriptivos de las pestañas previas, se presenta en este caso un análisis predictivo, que permita a los usuarios, estimar el consumo eléctrico futuro a partir del consumo previo y de una forma muy simple. Las estimaciones, podría compararse con el resultado real y analizar las posibles variaciones, junto con su explicación.

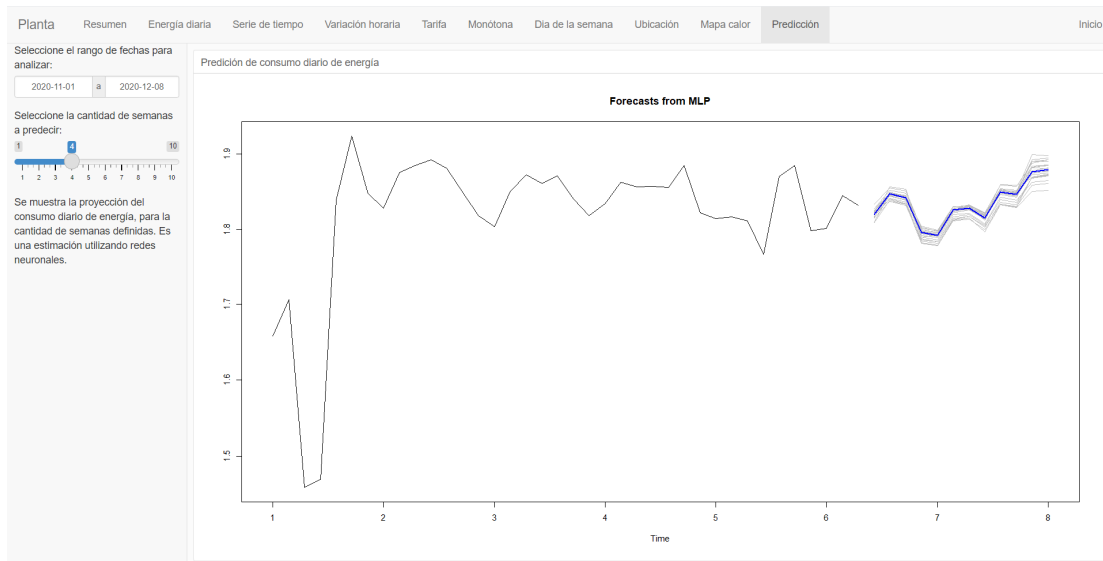


Figura 29. Vista de la pestaña: predicción

5.2.3 Resultados de la evaluación de la experiencia de usuario

Una vez desarrollado el panel, se aplicó la versión en español del CEU a 15 personas usuarias, lo cual permitió obtener los resultados mostrados en el Cuadro 8 y la Figura 30.

Cuadro 8. Evaluación por escala a partir de la aplicación del CEU.

Escala	Media	Desviación estándar	Individuos	Confianza	Intervalo de confianza	
Atracción	1,733	0,971	15	0,492	1,242	2,225
Transparencia	1,717	0,981	15	0,497	1,220	2,213
Eficiencia	1,833	0,800	15	0,405	1,429	2,238
Controlabilidad	1,600	0,712	15	0,360	1,240	1,960
Estimulación	1,767	0,594	15	0,300	1,466	2,067
Novedad	1,933	0,458	15	0,232	1,702	2,165

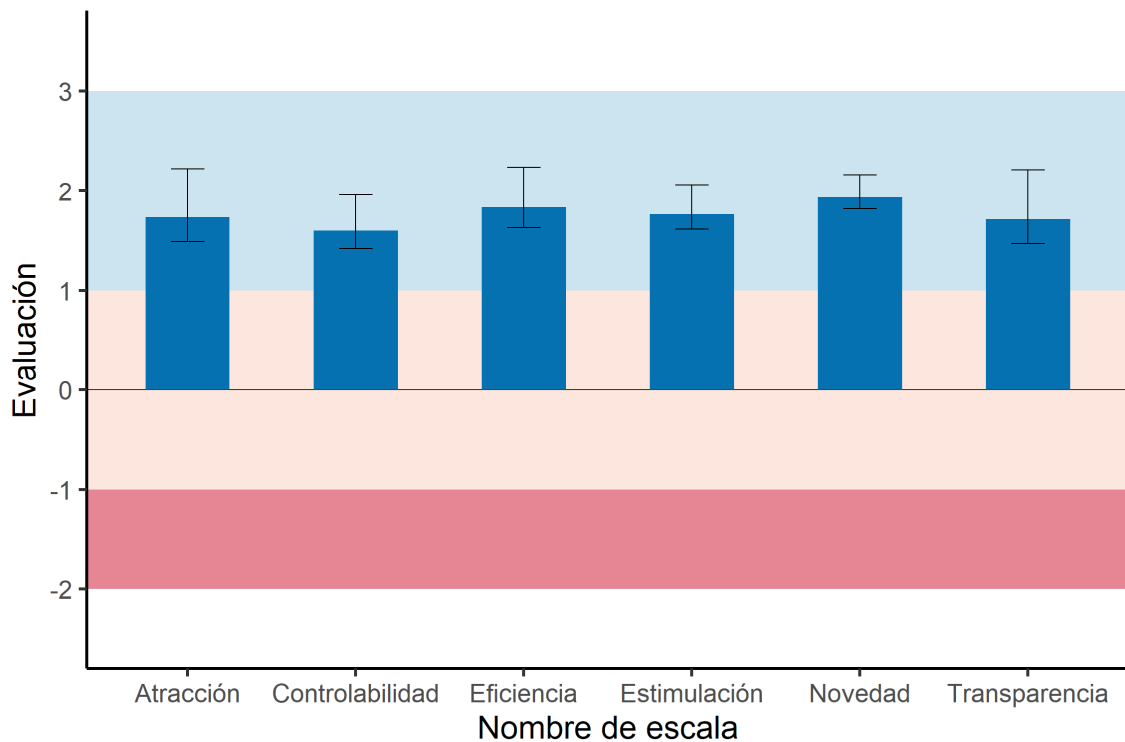


Figura 30. Resultados de la evaluación del Cuestionario de Experiencia de Usuario por escala y con intervalo de confianza al 95%

Las respuestas por individuo se encuentran en el Anexo 3 y el detalle de la memoria de cálculo se encuentra en el Anexo 4.

En la metodología de evaluación de experiencia de usuario, resultados superiores a 1 en la evaluación implican una impresión positiva por parte de los usuarios con respecto a los factores evaluados en el CEU.

A partir del Cuadro 6, las escalas de novedad y eficiencia son las escalas mejor evaluadas (con 1,93 y 1,83 respectivamente), lo cual indica que el panel es reconocido como algo nuevo y que, además, funciona muy bien para su propósito.

La estimulación, por su parte, es la siguiente escala mejor evaluada con un 1,77; esto quiere decir el panel no es percibido como aburrido.

Atracción y transparencia (claridad) tienen una calificación muy similar (1,7 y 1,73). A pesar de ser calificaciones menores que las anteriores, siguen siendo positivas.

El panel, genera interés al utilizarlo, es posible confiar en sus resultados y uso es claro.

Finalmente, la controlabilidad es la escala de menor calificación con 1,6. Es una característica muy importante, porque verifica que las condiciones de reactividad y facilidad de uso resultan útiles para los usuarios. A pesar de tener una evaluación positiva, es un aspecto que podría mejorarse para futuras versiones, mediante la incorporación de herramientas en html adicionales a las que tiene R.

Ante posibles cambios o mejoras en la versión del panel, es preciso volver a aplicar el cuestionario, para poder medir así, el cambio o el impacto generado en los usuarios.

El CEU también propone agrupar las escalas en calidades, de manera que se puede tener una visión más global. La calidad hedónica considera las escalas de estimulación y novedad. Por su parte, la calidad pragmática, está compuesta por las escalas controlabilidad, eficiencia y transparencia. La cualidad de atracción es la calificación directa de la escala correspondiente.

Los resultados de la evaluación por calidades se muestran en el Cuadro 9 y la Figura 31.

Cuadro 9. Resultados de la evaluación por calidades.

Calidad	Evaluación
Atracción	1,73
Pragmática	1,72
Hedónico	1,85

La calificación agrupada por calidad muestra una percepción positiva en todos los casos; siendo la calidad hedónica la mejor calificada.

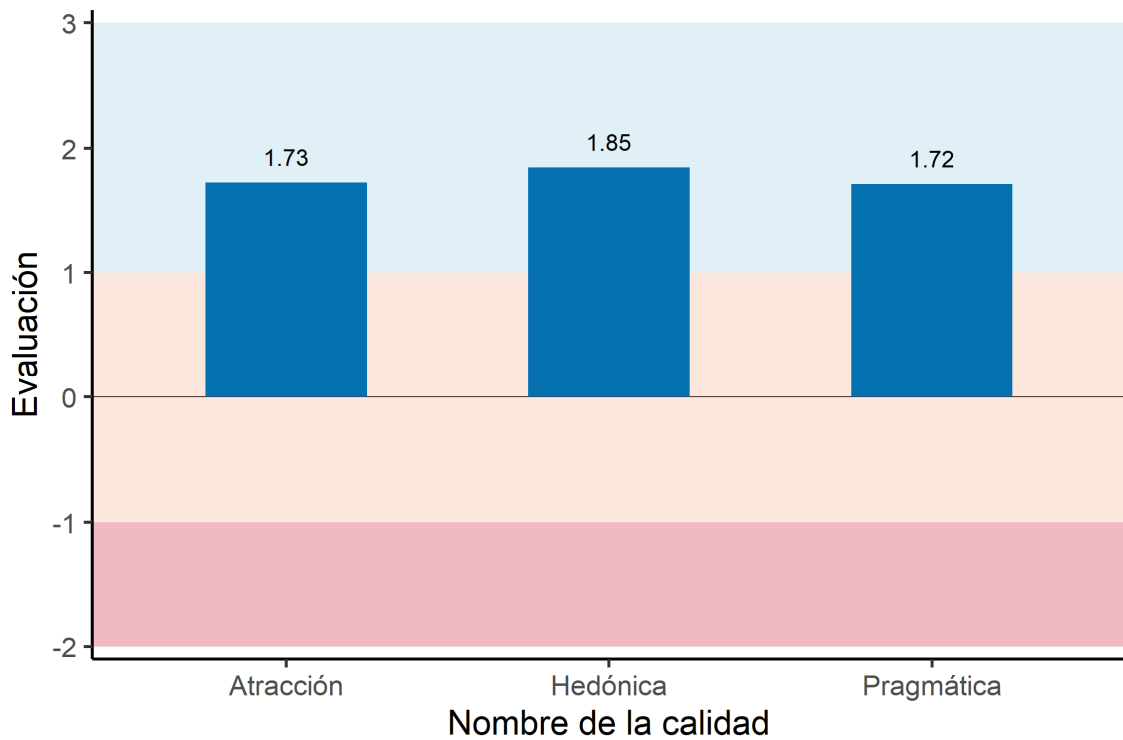


Figura 31. Resultado de la evaluación por calidad

De esta calificación, es posible afirmar que el panel resulta atractivo y placentero en términos de su uso; además, cumple su función de entregar información técnica de forma confiable y práctica.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

El objetivo principal de esta investigación era desarrollar una metodología para la gestión de consumo eléctrico, basada en la ciencia de datos, a partir de medidores inteligentes, como un primer prototipo clave para la generación conocimiento y experiencia en el uso de esta información y aportar una solución funcional que genere valor a los usuarios.

Por lo tanto, el principal aporte de este trabajo es la generación de un marco teórico-metodológico, a partir de la síntesis de las mejores prácticas reportadas en la literatura junto con el criterio de experto, centrado en el usuario y que prioriza sus necesidades de información en las etapas de diseño, desarrollo y evaluación final, de forma ordenada y sistemática. Su aplicación, permite crear una plataforma web interactiva para gestión del consumo eléctrico en dos plantas de generación, la cual, al ser genérica, puede ser aplicada en otras plantas o instalaciones.

De la metodología desarrollada, se concluye:

- La identificación de los requerimientos de información de los usuarios es una actividad participativa, en la que se cuenta con la asesoría de expertos en el tema. Es una etapa fundamental, porque genera el involucramiento y el interés desde el inicio, lo cual favorecerá el uso y el análisis posterior de la información generada.
- Define el uso de los principios del manifiesto ágil para que se priorice la generación de valor para los interesados en todo momento, durante la etapa de programación.
- Utiliza el Cuestionario de Evaluación de Experiencia de Usuario, para evaluar de forma holística, el resultado final de la plataforma desarrollada y reflejarlo de forma cuantitativa en diferentes categorías.
- Garantiza un proceso iterativo de captura y solución de las necesidades de información de los usuarios en todas las etapas.
- La contribución mayor, es que se convierte en una guía integral, ordenada, concreta y genérica, que aporta un mayor conocimiento y comprensión sobre la gestión del consumo eléctrico a partir de los medidores inteligentes.

Con respecto a los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología en dos plantas de generación, se concluye:

- Los requerimientos respecto al consumo eléctrico por parte de los usuarios fueron identificados y solucionados mediante la creación de una plataforma web interactiva, compuesta de diferentes pestañas cada una con un análisis particular, desde donde es posible aplicar diferentes filtros que permiten profundizar los análisis de forma dinámica.
- Las necesidades de información fueron capturadas y plasmadas en el canvas de criterios de diseño; la programación de la plataforma se ejecutó en R mediante la metodología Kanban y la evaluación final, se obtuvo mediante el Cuestionario de Experiencia de Usuario
- Se utilizan diferentes tipos de gráficos interactivos y filtros, de manera que se facilite la interpretación y el análisis.
- La plataforma es capaz de gestionar satisfactoriamente, en términos de tiempo y desempeño, dos años de datos de energía y demanda cada 15 minutos para dos plantas de generación.
- El uso de R como lenguaje de programación, permite una adecuada gestión de datos masivos provenientes de medidores inteligentes, así como obtener todas las ventajas en términos de visualización, resultados reproducibles y, para el futuro, efectuar análisis más avanzados.
- A partir de los resultados del Cuestionario de Experiencia de Usuario, la plataforma tiene una calificación general positiva y resulta atractiva, práctica y novedosa.
- El principal agente generador del país, responsable del 68,34% de la potencia instalada en alta tensión, cuenta ahora con propiedad intelectual sobre el desarrollo obtenido, con la posibilidad de aplicarlo internamente o bien, de forma comercial.

CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones se clasifican según los diferentes interesados.

Para futuros estudios académicos:

- La predicción del consumo eléctrico es un tema de desarrollo en sí mismo; por lo cual, esta investigación recomienda estudiar diferentes métodos, predictivos y prescriptivos.
- Debido a su amplio uso en aplicaciones en Machine Learning, se recomienda valorar el uso de funciones de Python; puesto que, además, tiene una completa compatibilidad con R.

Para la instalación/industria a desarrollar el panel:

- Con el fin de generar mayores posibilidades de análisis, se recomienda valorar la incorporación de otros datos propios de la actividad del usuario a los análisis de consumo eléctrico obtenidos a partir del medidor. De esta manera, se pueden estudiar las correlaciones entre los eventos y el consumo eléctrico. Por ejemplo, para las plantas de generación se podría considerar la inclusión de otras variables como: energía generada, indisponibilidades forzadas, indisponibilidades programadas; cantidad de arranques.
- Deben determinarse los requerimientos para un posible informe periódico de envío automático, que incluya detalles como: formato, contenido; ya sea de envío periódico o ante ciertas circunstancias. Esto se puede hacer fácilmente al programar una función periódica que se ejecute en el servidor automáticamente.
- Al transformar los datos, se pueden hacer análisis mucho más específicos que los identificados por los usuarios en esta investigación; por ejemplo: demanda a las 01 horas de los días domingo para dos años; comparaciones entre diferentes horas, entre otros. En los Anexos 5 al 9, se encuentran una serie de gráficos alternativos para consideraciones en el desarrollo de nuevos paneles.
- Debido al tipo de usuario de la información, se recomienda crear una aplicación para diferentes sistemas operativos que permitan tener acceso a

la información de consumo incluso utilizando cualquier dispositivo móvil inteligente.

- Con el fin de lograr un aprovechamiento máximo de la plataforma, es necesario que la industria o instalación demuestre interés y compromiso con el consumo eléctrico; por ello, se recomienda definir como requisito de implementación el contar con un sistema de gestión ambiental o de calidad, y de preferencia, sobre sistemas de gestión energética.

Con respecto a los desarrolladores de la plataforma, se recomienda lo siguiente.

- Es preciso realizar un análisis más detallado acerca del requerimiento de ancho de banda, memoria, comportamiento y tiempos para la ejecución de análisis a diferentes instalaciones por parte de múltiples usuarios, en caso de generar paneles para otras instalaciones.
- Se recomienda valorar plataformas de visualización de prueba en Tableau o Power BI, para evaluar su comportamiento y para ampliar la gama de posibilidades de acceso por parte de los usuarios. Por la solvencia demostrada, el motor de cálculo seguiría siendo R.
- Se recomienda la exploración de opciones de mejora orientada a la programación de páginas web en html, css, JAVA, entre otros; esto, podría generar alternativas mucho más atractivas en cuanto al entorno para la ubicación de los análisis.
- Debido a que el panel está desarrollado en R, se recomienda contar con personal competente en este lenguaje de programación. Con ello, será posible atender satisfactoriamente los requerimientos e implementar las oportunidades de mejora que surjan.

CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Centro Nacional de Control de Energía, «Generación y Demanda 2019. Boletín anual.,» 15 Abril 2019. [En línea]. Disponible en: <https://apps.grupoice.com/CenceWeb/CenceDescargaArchivos.jsf?init=true&categoria=3&codigoTipoArchivo=3008>. [Último acceso: 30 Junio 2020].
- [2] Dirección de Energía, «Estadísticas de generación distribuida,» 2019. [En línea]. Disponible en: <https://web.energia.go.cr/tramites/generacion-distribuida/estadisticas-de-generacion-distribuida/>. [Último acceso: 17 Abril 2020].
- [3] R. Portilla, «El plan de promoción y desarrollo de fuentes renovables no convencionales de Costa Rica: sembrando para el futuro,» 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/0eff525e-1cdd-477e-9f51-81ff3864e61f/PRESENTACION+FORO+FRNC+%28Rolando+Portilla%29.pdf?MOD=AJPERES&CVID=l1eiuMM>. [Último acceso: 23 Marzo 2019].
- [4] Organización de las Naciones Unidas, «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» ONU, [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>. [Último acceso: 23 Junio 2020].
- [5] S. Camargo, «Em novo recorde, Costa Rica completa 300 dias usando somentes energias renováveis,» Conexao planeta, 04 Diciembre 2017. [En línea]. Disponible en: <https://conexaoplaneta.com.br/blog/em-novo-recorde-costa-rica-completa-300-dias-usando-somentes-energias-renovaveis/#fechar>. [Último acceso: 25 Julio 2020].
- [6] R. Bracket, «For 300 days, Costa Rica generated electricity from renewable sources alone,» The Weather Channel, 21 Diciembre 2018. [En línea]. Disponible en: <https://weather.com/news/news/2018-12-21-costa-rica-300-days-energy-renewable-sources>. [Último acceso: 01 Julio 2020].
- [7] 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]. Disponible en: <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].
- [8] Planificación y Desarrollo Eléctrico, «Plan de expansión de la generación eléctrica 2018-2034,» 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/d91d6f4f-6619-4a2f-834f-6f5890eebb64/PLAN+DE+EXPANSION+DE+LA+GENERACION+2018-2034.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mleNZKV>. [Último acceso: 15 Abril 2020].
- [9] Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), «VII Plan Nacional de Energía 2015-2030,» 2015. [En línea]. Disponible en: <https://minae.go.cr/recursos/2015/pdf/VII-PNE.pdf>. [Último acceso: 17 Abril 2020].

- [10] Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), «VII Plan Nacional de Energía 2015-2030, Actualización del plan período 2019-2030.,» Marzo 2019. [En línea]. Disponible en: [https://sepse.go.cr/documentos/PLAN%20NACIONAL%20DE%20ENERGIA%20\(marzo\).pdf](https://sepse.go.cr/documentos/PLAN%20NACIONAL%20DE%20ENERGIA%20(marzo).pdf). [Último acceso: 17 Abril 2020].
- [11] Dirección de Cambio Climático, «Plan Nacional de Descarbonización,» 2019. [En línea]. Disponible en: <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/02/PLAN.pdf>. [Último acceso: 17 Abril 2020].
- [12] Ministerio de Planificación y Política Económica (MIDEPLAN), «Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública del Bicentenario 2019 - 2022 de Costa Rica,» 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.mideplan.go.cr/plan-nacional-desarrollo>. [Último acceso: 03 Marzo 2020].
- [13] Grupo ICE, «Estrategia 4.0. 2019-2023,» 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/79d84663-b949-460d-b051-ca65d63c0156/Estrategia+4.0+QR+peq.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mKLaQ6C>. [Último acceso: 17 Abril 2020].
- [14] P. G. ICE, «ICE suma una década con plantas eléctricas certificadas,» ICE, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE/acercadelgrupoice/sala-de-prensa/noticias-anteriores/dd29c845-a914-4c43-bf6a-5025d7a1d822>. [Último acceso: 19 Marzo 2019].
- [15] M. Calderón-Bonilla, «Sistema de lectura remota para el consumo de energía en clientes residenciales,» 2012. [En línea]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3132>.
- [16] J. Castro, «ICE compró 285 mil medidores inteligentes más,» La República, 05 Marzo 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.larepublica.net/noticia/ice-compro-285-mil-medidores-inteligentes-mas>. [Último acceso: 01 Abril 2020].
- [17] 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]. Disponible en: <https://revistasumma.com/costa-rica-nuevo-proyecto-dara-el-salto-tecnologico-de-medidores-convencionales-a-inteligentes-en-los-hogares/>. [Último acceso: 01 Abril 2020].
- [18] elpais.cr, «100% de abonados de Grupo ICE tendrán medidores eléctricos inteligentes,» Elpais.cr, 04 Agosto 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.elpais.cr/2018/07/04/100-de-abonados-de-grupo-ice-tendran-medidores-electricos-inteligentes/>. [Último acceso: 04 Abril 2020].
- [19] Jha, I. S. et al., «Advanced metering infrastructure analytics - A Case Study,» de *Eighteenth National Power Systems Conference (NPSC)*, 2014.

- [20] Y. Tang, C.-W. Ten, C. Wang y G. Parker, «Extraction of Energy Information From Analog Meters Using Image Processing,» *IEEE PES Transactions on Smart Grid*, vol. 6, pp. 2032-2040, 29 Enero 2015.
- [21] N. Yu, et al, «Big data analytics in power distribution systems,» de *IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, Washington, 2015.
- [22] J. Valencia, «Aplicaciones de grandes datos en los medidores inteligentes del consumidor residencial colombiano. (Tesis de Maestría),» 2014. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/77276652.pdf>. [Último acceso: 23 Abril 2019].
- [23] M. Agüero, «Clientes pagan recibos de servicios públicos a ciegas,» 23 Abril 2019. [En línea]. Disponible en: <https://semanariouniversidad.com/pais/clientes-pagan-recibos-de-servicios-publicos-a-ciegas/>. [Último acceso: 23 Mayo 2019].
- [24] J. Monge, «Conceptualización de la derivada a través de la visualización del conocimiento,» de *VII Congreso Iberoamericano de educación matemática*, Montevideo, 2013.
- [25] J. Fulton y M. Hendrix, «Más allá del 'designthinking': desarrollar las sensibilidades de diseño,» *Harvard Deusto*, nº 177, 2019.
- [26] J. Stadler, K. Donlon, J. Siewert, T. Franken y N. Lewis, «Improving the efficiency and ease of healthcare analysis through use of data visualization dashboards,» vol. 4(2), pp. 126-135, 2016.
- [27] K. Park, M. C. Nguyen y H. Won, «Web-based collaborative big data Analytics on big data as a service platform,» 2015.
- [28] P. Caputo, C. Gaia y V. Zanotto, «A methodology for defining electricity demand in energy simulations referred to the Italian context,» *Energies*, 2013.
- [29] A. Kavousian, R. Rajagopal y M. Fischer, «A method to analyze large data sets of residential electricity consumption to inform data-driven energy efficiency,» 2012. [En línea]. Disponible en: <https://cife.stanford.edu/method-analyze-large-data-sets-residential-electricity-consumption-inform-data-driven-energy>. [Último acceso: 23 Mayo 2019].
- [30] R. Pérez-Chacón, et al, «Big Data Analytics for Discovering Electricity Consumption Patterns in Smart Cities Energies.,» 23 Abril 2018. [En línea]. [Último acceso: 2019].
- [31] Rosin, A. et al, «Residential electricity consumption and loads pattern analysis.,» 2010. [En línea]. [Último acceso: 23 Abril 2020].
- [32] U. Ali, C. Bucella y C. Cecati, «Households electricity consumption analysis with data mining techniques,» de *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Florence*, 2016.

- [33] S. Singh y A. Yassine, «Big Data Mining of Energy Time Series for Behavioral Analytics and Energy Consumption Forecasting,» *Energies*, vol. 11, nº 2, p. 452, Febrero 2018.
- [34] B. Zayas-Perez, A. Espinosa-Resa, V. Sanchez y J. Perez-Garza, «Getting ready for data analytics of electric power distribution systems,» *International Journal of Computers*, vol. 2, pp. 179-186, 2017.
- [35] R. Dollah, «A big data analytics model for household electricity consumption tracking and monitoring,» *IEEE Conference on Big Data and Analytics (ICBDA)*, pp. 44-49, 2018.
- [36] S. Darby, «Smart metering: what potential for householder engagement?,» *Building Research & Information*, vol. 38(2), pp. 442-457, 2010.
- [37] B. Sto y M. Vukasovic, «A new SCADA System design in the power system of Montenegro – ICCP / TASE . 2 and Web-based real-time electricity demand metering extensions,» de *2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*, Atlanta, Georgia, 2006.
- [38] L. Mancinelli, D. Vega, N. Batchelder y P. Shingleton, «Monitoring and presenting energy consumption to increase WPI,» Worcester, Massachusetts, 2019.
- [39] Zainol, Husna et al., «Energy consumption monitoring and alert system via IoT,» de *2019 7th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, 2019.
- [40] S. Henning, W. Hasselbring y A. Möbius, «A scalable architecture for power consumption monitoring in industrial production environments,» de *IEEE International Conference on Fog Computing (ICFC)*, Praga, República Checa, 2019.
- [41] A. Aboulian et al., «NILM Dashboard : a power system monitor for electromechanical equipment diagnostics,» *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, nº 3, pp. 1405-1414, 2018.
- [42] 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.
- [43] A. Quiroz, «Arquitectura y Gestión de Datos de Medición Inteligente de Energía Eléctrica Aplicado en Smart Grid,» Quito, Ecuador, 2015.
- [44] J. Petersen, D. Daneri y C. Frantz, «Environmental dashboards : fostering and pro-community thought and action through feedback,» de *Handbook of Theory and Practice of Sustainable Development in Higher Education. World Sustainability Series.* , 3, 2016.
- [45] D. Chatzos, «Project for the development of a Higher Education Management,» Cataluña, 2018.

- [46] S. Lacey, «Why Your Energy Dashboard May Be Doomed to Fail,» Green Tech Media, 08 Mayo 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/Why-Your-Energy-Dashboard-Maybe-Doomed-to-Fail>. [Último acceso: 2021 Marzo 08].
- [47] C. Baedeker, J. Piwowar, P. Themann y V. Grinewitschus, «Interactive design to encourage energy efficiency in offices: developing and testing a User-Centered Building Management System based on a living lab approach,» *Sustainability*, vol. 12, n° 17, p. 6956, 2020.
- [48] D. Maheshwari y M. Janssen, «Dashboards for supporting organizational development,» de *ACM International Conference Proceeding Series*, 2014.
- [49] M. Miskuf y E. Kajati, «Smart metering IoT solution based on NodeMCU for more accurate energy consumption analysis,» *International Journal of Internet of Things and Web Services*, vol. 2, pp. 115-121, 2017.
- [50] A. Cahyadi, «Beyond functionality and a user interface: a desing thinking perspective on the desing of dashboards,» Swinburne University of Technology, Melbourne, 2016.
- [51] 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.
- [52] R. Dixit et al., «Case Report Rapid development of visualization dashboards to enhance situation awareness of COVID-19 telehealth initiatives at a multihospital healthcare system,» *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 27, n° 9, pp. 1456-1461, 2020.
- [53] D. Kelley, «Why R, and Why Now?,» de *Oceanographic Analysis with R*, New York, Springer, Springer.
- [54] H. Sihaloho, «R and Its Applications on the Ecological Research Activities,» *Marine Research in Indonesia*, vol. 40, p. 33, 2015.
- [55] E. Pebesma, D. Nüst y R. Bivand, «The R software environment in reproducible geoscientific research,» *EOS Transactions*, vol. 93, n° 16, p. 163, 2012.
- [56] B. Leilani et al, «Evaluating Visual Data Analysis Systems: A Discussion Report,» de *HILDA'18: Workshop on Human-In-the-Loop*, Houston Texas, 2018.
- [57] S. Hicks y R. Peng, «Evaluating the Success of a Data Analysis,» 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/332726345_Evaluating_the_Success_of_a_Data_Analysis. [Último acceso: 30 Setiembre 2020].
- [58] M. Rauschenberger, M. Schrepp, M. Cota, S. Olschner y J. Thomaschewski, «Efficient Measurement of the User Experience of Interactive Products. How to use

the User Experience Questionnaire (UEQ). Example: Spanish Language Version,» *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 2, pp. 39-45, 2013.

- [59] M. Obrist, V. Roto y K. Väänänen, «User experience evaluation: do you know which method to use,» 209.
- [60] F. García-Moreno, «La relación Ciencia y Tecnología en la sociedad actual: análisis de algunos criterios y valores epistemológicos y tecnológicos y su influencia dentro del marco social,» *Argumentos de razón técnica. Revista española de ciencia, tecnología y sociedad, y filosofía de la tecnología.*, n° 7, pp. 105-148, 2004.
- [61] C. Muñoz-Razo, *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*, Segunda Edición ed., México: Pearson Educación, 2011, p. 320.
- [62] R. Hernández, C. Fernández y M. Baptista, *Metodología de la investigación*, Sexta Edición ed., Ciudad de México: McGraw Hill Education, 2014.
- [63] 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.
- [64] R Core Team, *R: A language and environment for statistical*, Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020.
- [65] H. Wickham y G. Grolemund, *R for Data Science: Import, Tidy, Transform, Visualize, and Model Data*, O'Reilly Media, Inc, 2017.
- [66] R. Avello-Martínez y A. Seisdedo-Losa, «El procesamiento estadístico con R en la investigación científica,» 17 Enero 2018. [En línea]. Disponible en: <http://medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/3662>. [Último acceso: 01 10 2020].
- [67] The jamovi project, «jamovi (Version 1.2) [Computer Software],» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.jamovi.org>.
- [68] J. Di Rienzo, M. Balzarini, L. González, F. Casanoves, M. Tablada y C. Robledo, «InfoStat, software estadístico,» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=34>.
- [69] K. Beck et al, «Manifesto for Agile Software Development,» 2001. [En línea]. Disponible en: <http://agilemanifesto.org/>.
- [70] J. Saltz y R. Heckman, «Exploring which agile principles students internalize when using a Kanban process methodology,» *Journal of Information Systems Education*, vol. 31, n° 1, pp. 51-60, 2020.

- [71] C. Hofmann, S. Lauber, B. Haefner y G. Lanza, «Development of an agile development method based on Kanban for distributed part-time teams and an introduction framework,» *Procedia Manufacturing*, pp. 45-50, 2018.
- [72] H. Alaidaros, M. Omar y R. Roml, «A Theoretical Framework for Improving Software Project Monitoring Task of Agile Kanban Method,» *Recent Trends in Data Science and Soft Computing. IRICT 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 09 Setiembre 2018.
- [73] C. Raney y R. Jacoby, «El 'design thinking' o cómo abordar los problemas por medio del diseño,» *Harvard Deusto Management & Innovation*, nº 14, pp. 14-23, Abril 2019.
- [74] 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.
- [75] Instituto Costarricense de Electricidad, *Política de propiedad intelectual e industrial del Grupo ICE. Código: 35.00.001.2010. Versión 2.*, San José, Costa Rica, 2017.
- [76] J. Alvarado, *Gestión de consumo eléctrico ICE*, Entrevista, 2020.
- [77] designabetterbusiness.tools, «Desing Criteria Canvas,» 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.designabetterbusiness.tools/tools/design-criteria-canvas>. [Último acceso: 01 Setiembre 2020].
- [78] J. Kingsburg y A. Andre, «A Comparison of Three-Level Web Menu Navigation Structures,» *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 48, pp. 1513-1517, Setiembre 2004.
- [79] C. Brewer y M. Harrower, «Color Brewer 2.0: Color advice for cartography,» The Pennsylvania State University, [En línea]. Disponible en: <https://colorbrewer2.org/#type=sequential&scheme=BuGn&n=3>. [Último acceso: 13 Agosto 2020].
- [80] A. Kharbouch et al, «Towards an IoT and big data analytics platform for the definition of diabetes telecare services,» *Smart Application and Data Analysis for Smart Cities (SADASC'18)*, 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Lista de librerías de R utilizadas

Paquete	Referencia
'dplyr'	Hadley Wickham, Romain François, Lionel Henry and Kirill Müller (2020). dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.0.2. https://CRAN.R-project.org/package=dplyr
'DT'	Yihui Xie, Joe Cheng and Xianying Tan (2020). DT: A Wrapper of the JavaScript Library 'DataTables'. R package version 0.16. https://CRAN.R-project.org/package=DT
'dygraphs'	Dan Vanderkam, JJ Allaire, Jonathan Owen, Daniel Gromer and Benoit Thieurmél (2018). dygraphs: Interface to 'Dygraphs' Interactive Time Series Charting Library. R package version 1.1.1.6. https://CRAN.R-project.org/package=dygraphs
'flexdashboard'	Richard Iannone, JJ Allaire and Barbara Borges (2020). flexdashboard: R Markdown Format for Flexible Dashboards. R package version 0.5.2. https://CRAN.R-project.org/package=flexdashboard
'ggrepel'	Kamil Slowikowski (2020). ggrepel: Automatically Position Non-Overlapping Text Labels with 'ggplot2'. R package version 0.8.2. https://CRAN.R-project.org/package=ggrepel
'ggridges'	Claus O. Wilke (2020). ggridges: Ridgeline Plots in 'ggplot2'. R package version 0.5.2. https://CRAN.R-project.org/package=ggridges
'leaflet'	Joe Cheng, Bhaskar Karambelkar and Yihui Xie (2019). leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript 'Leaflet' Library. R package version 2.0.3. https://CRAN.R-project.org/package=leaflet
'mapview'	Tim Appelhans, Florian Detsch, Christoph Reudenbach and Stefan Woellauer (2020). mapview: Interactive Viewing of Spatial Data in R. R package version 2.9.0. https://CRAN.R-project.org/package=mapview
'nnfor'	Nikolaos Kourentzes (2019). nnfor: Time Series Forecasting with Neural Networks. R package version 0.9.6. https://CRAN.R-project.org/package=nnfor

'RMySQL'	Jeroen Ooms, David James, Saikat DebRoy, Hadley Wickham and Jeffrey Horner (2020). RMySQL: Database Interface and 'MySQL' Driver for R. R package version 0.10.20. https://CRAN.R-project.org/package=RMySQL
'RMySQL'	Jeroen Ooms, David James, Saikat DebRoy, Hadley Wickham and Jeffrey Horner (2020). RMySQL: Database Interface and 'MySQL' Driver for R. R package version 0.10.21. https://CRAN.R-project.org/package=RMySQL
'ROracle'	Denis Mukhin, David A. James and Jake Luciani (2016). ROracle: OCI Based Oracle Database Interface for R. R package version 1.3-1. https://CRAN.R-project.org/package=ROracle
'shiny'	Winston Chang, Joe Cheng, JJ Allaire, Yihui Xie and Jonathan McPherson (2020). shiny: Web Application Framework for R. R package version 1.5.0. https://CRAN.R-project.org/package=shiny
'tidyr'	Hadley Wickham (2020). tidyr: Tidy Messy Data. R package version 1.1.2. https://CRAN.R-project.org/package=tidyr
'tidyr'	Hadley Wickham (2020). tidyr: Tidy Messy Data. R package version 1.1.2. https://CRAN.R-project.org/package=tidyr
'xts'	Jeffrey A. Ryan and Joshua M. Ulrich (2020). xts: eXtensible Time Series. R package version 0.12.1. https://CRAN.R-project.org/package=xts
ggmap	D. Kahle and H. Wickham. ggmap: Spatial Visualization with ggplot2. The R Journal, 5(1), 144-161. URL http://journal.r-project.org/archive/2013-1/kahle-wickham.pdf
ggplot2	H. Wickham. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.
imputeTS	Moritz S, Bartz-Beielstein T (2017). "imputeTS: Time Series Missing Value Imputation in R." <i>The R Journal</i> , 9(1), 207-218. doi: 10.32614/RJ-2017-009 (URL: https://doi.org/10.32614/RJ-2017-009).
lubridate	Garrett Golemund, Hadley Wickham (2011). Dates and Times Made Easy with lubridate. <i>Journal of Statistical Software</i> , 40(3), 1-25. URL https://www.jstatsoft.org/v40/i03/ .
plotly	C. Sievert. Interactive Web-Based Data Visualization with R, plotly, and shiny. Chapman and Hall/CRC Florida, 2020.

plyr	Hadley Wickham (2011). The Split-Apply-Combine Strategy for Data Analysis. Journal of Statistical Software, 40(1), 1-29. URL http://www.jstatsoft.org/v40/i01/ .
sf	Pebesma, E., 2018. Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. The R Journal 10 (1), 439-446, https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009
zoo	Achim Zeileis and Gabor Grothendieck (2005). zoo: S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series. Journal of Statistical Software, 14(6), 1-27. doi:10.18637/jss.v014.i06

Anexo 2. Nota de entrega del código

24 de marzo 2021

Señores
Melvin Monge Sandi
Alejandro Rojas Porras
Negocio Generación

Estimados señores:

Por medio de la presente y con profunda satisfacción, yo David Eladio Barquero Álvarez, con domicilio en San Isidro de Alajuela, Costa Rica, cédula de identidad 205650287, hago entrega oficial al Negocio Generación del Instituto Costarricense de Electricidad, del código para generar la plataforma de gestión de consumo eléctrico para dos plantas de generación, correspondiente a mi trabajo de tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología para la Sostenibilidad.

Adjunto el código fuente en soporte informático, para proceder según se indica en la Política de propiedad intelectual e industrial del Grupo ICE, Código: 35.00.001.2010, versión 2.

Atentamente,


David Eladio Barquero Álvarez

CC: Victor Martínez Angulo, GAP

Anexo 3. Respuestas a cuestionario

Se incluyen las respuestas de los 15 usuarios que llenaron el cuestionario de experiencia de usuarios.

Pregunta	Número de usuario														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	6	7	7	6	6	3	7	5	7	6	5	6	5	6	7
2	7	7	7	6	3	6	5	6	7	7	5	6	4	6	7
3	2	1	3	1	3	2	1	2	3	2	3	2	1	1	1
4	1	1	1	2	5	7	5	3	1	6	6	2	2	2	1
5	2	1	1	3	2	4	1	1	1	5	2	2	3	1	1
6	6	7	5	4	6	7	4	6	7	5	4	5	6	6	5
7	6	7	6	7	5	6	5	4	6	5	5	5	6	6	7
8	6	7	2	6	5	6	4	6	4	3	3	5	5	6	5
9	2	1	2	2	2	2	3	3	1	5	4	4	2	2	1
10	1	2	3	2	3	1	3	2	1	2	1	3	3	2	2
11	6	7	5	5	5	4	6	4	4	6	5	4	5	6	7
12	2	1	1	1	2	4	1	3	1	1	3	2	2	2	1
13	5	7	5	7	5	4	6	6	7	7	5	5	5	6	7
14	6	7	6	5	5	3	7	4	7	6	5	4	5	6	7
15	5	7	6	6	5	4	7	6	7	5	5	4	6	6	7
16	5	7	6	6	5	3	7	5	7	6	5	5	6	6	7
17	2	1	2	1	2	5	1	1	2	2	1	3	2	2	1
18	2	1	3	2	3	2	1	2	1	2	4	1	3	3	3
19	2	1	2	1	2	4	1	2	1	2	2	2	3	2	1
20	6	7	6	7	6	4	7	5	7	6	5	5	6	6	7
21	2	1	3	1	3	2	2	1	2	1	3	2	2	2	1
22	6	7	6	6	6	6	6	7	7	7	5	4	6	6	7
23	2	1	2	2	2	2	2	3	3	1	6	3	4	2	1
24	2	1	3	4	3	4	4	4	1	2	2	3	6	2	1
25	2	1	3	3	3	3	1	4	1	1	2	3	3	2	1
26	7	7	6	5	5	6	6	5	5	7	6	7	5	5	7

Anexo 4. Memoria de cálculo respuestas CEU

Número de pregunta del QEU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Respuestas individuo 1	6	7	2	1	2	6	6	6	2	1	6	2	5	6	5	5	2	2	2	6	2	6	2	2	2	7
Repuestas Individuo 1 transformadas	2	3	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
Regla de transformación	a	a	b	b	b	a	a	A	b	b	a	b	a	a	a	a	b	b	b	a	b	a	b	b	b	a
Atracción	X											X		X		X									X	X
Transparencia		X		X									X								X					
Eficiencia									X											X		X	X			
Controlabilidad								X			X						X		X							
Estimulación					X	X	X											X								
Novedad			X							X					X											X

Regla de transformación a	(Repuesta - 4)	Las reglas deben aplicarse para transformar las respuestas y obtener calificaciones que oscilen entre +3 como máximo valor y -3 como mínimo valor posible.
Regla de transformación b	(4 - Respuesta)	

Para cada escala, se debe calcular el promedio de las respuestas según corresponda.

Por ejemplo, para las respuestas del individuo 1, se tiene:

Escala	Número de la respuesta correspondiente	Promedio
Atracción	1, 12, 14, 16, 24, 25	$\left(\frac{2 + 2 + 2 + 1 + 2 + 2}{6}\right) = 1,83$
Transparencia	2, 4, 13, 21	$\left(\frac{3 + 3 + 1 + 2}{4}\right) = 2,25$
Eficiencia	9, 20, 22, 23	$\left(\frac{2 + 2 + 2 + 2}{4}\right) = 2$
Controlabilidad	8, 11, 17, 19	$\left(\frac{2 + 2 + 2 + 2}{4}\right) = 2$
Estimulación	5, 6, 7, 18	$\left(\frac{2 + 2 + 2 + 2}{4}\right) = 2$
Novedad	3, 10, 15, 26	$\left(\frac{2 + 3 + 1 + 3}{4}\right) = 2,25$

Estos cálculos se repiten para obtener las escalas para cada individuo; posteriormente, se debe calcular el promedio, la desviación estándar, la confianza (a partir del número de individuos) y finalmente, se obtiene el intervalo de confianza.

El proceso indicado se muestra a continuación:

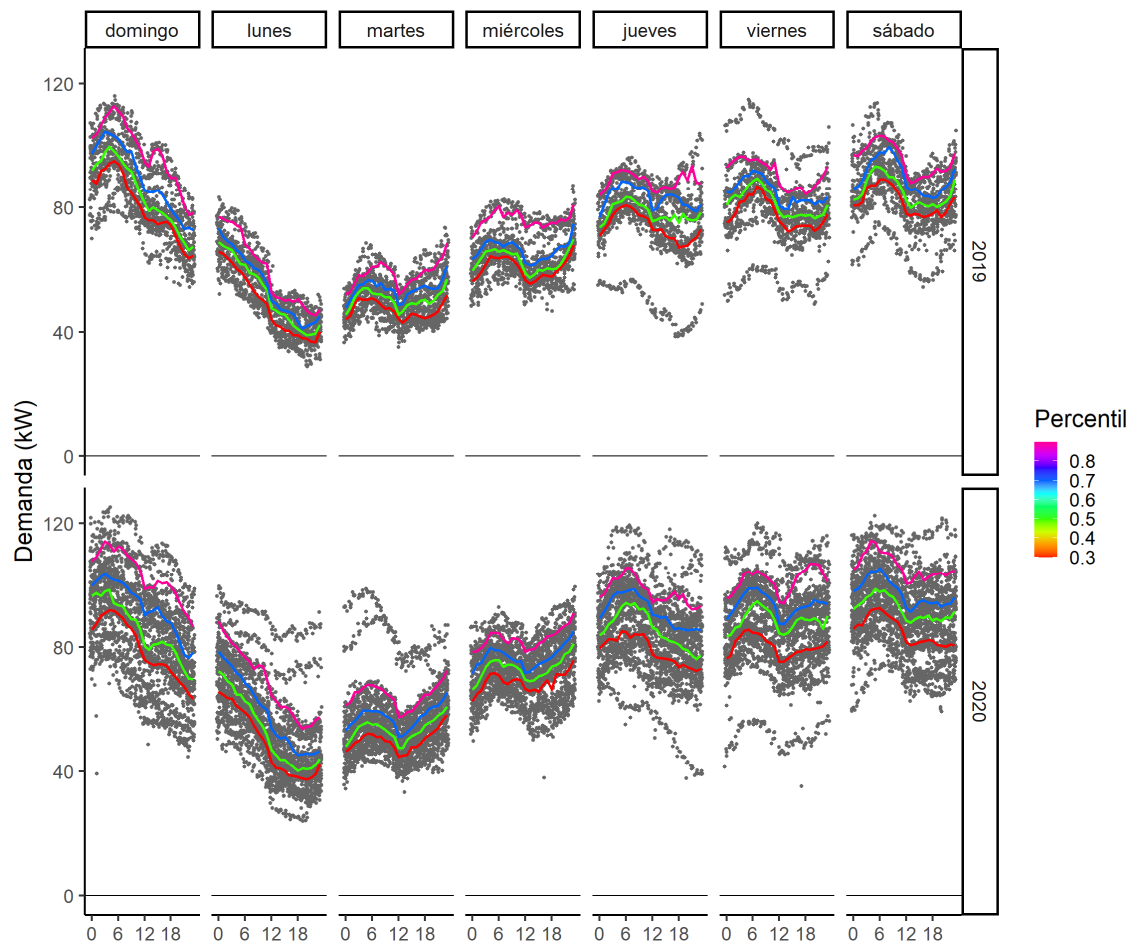
Individuo	Atracción	Transparencia	Eficiencia	Controlabilidad	Estimulación	Novedad
1	1,83	2,25	2,00	2,00	2,00	2,25
2	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,75
3	2,00	2,00	2,00	0,75	1,75	1,50
4	1,50	2,50	2,25	2,25	1,50	2,00
5	1,33	0,00	2,00	1,50	1,50	1,00
6	-0,33	0,25	1,50	0,25	1,75	1,75
7	2,50	1,00	2,00	2,00	1,75	2,25
8	0,50	2,00	1,50	1,75	1,75	1,75
9	3,00	2,75	2,50	1,25	2,75	2,00
10	2,33	1,75	1,75	1,25	0,75	2,00
11	1,33	0,25	0,00	1,25	0,75	1,75
12	1,17	1,75	0,50	1,00	1,75	1,50
13	0,83	1,25	1,50	1,25	1,50	1,75
14	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
15	3,00	3,00	3,00	2,50	2,00	2,75
Promedio por escala	1,733	1,717	1,833	1,6	1,767	1,933
Desviación estándar	0,971	0,981	0,800	0,712	0,594	0,458
N	15	15	15	15	15	15
Confianza (p = 0,05)	0,492	0,497	0,405	0,360	0,300	0,232
Intervalo de confianza	1,242	1,220	1,429	1,240	1,466	1,702
	2,225	2,213	2,238	1,960	2,067	2,165

El CUE agrupa las escalas en tres cualidades, por lo que se saca el promedio en cada caso.

Calidad	Escalas	Resultado
Hedónica	Estimulación, novedad	$\left(\frac{1,767 + 1,933}{2}\right) = 1,85$
Pragmática	Controlabilidad, eficiencia y transparencia (claridad)	$\left(\frac{1,6 + 1,833 + 1,717}{3}\right) = 1,72$
Atracción	Atracción	1,73

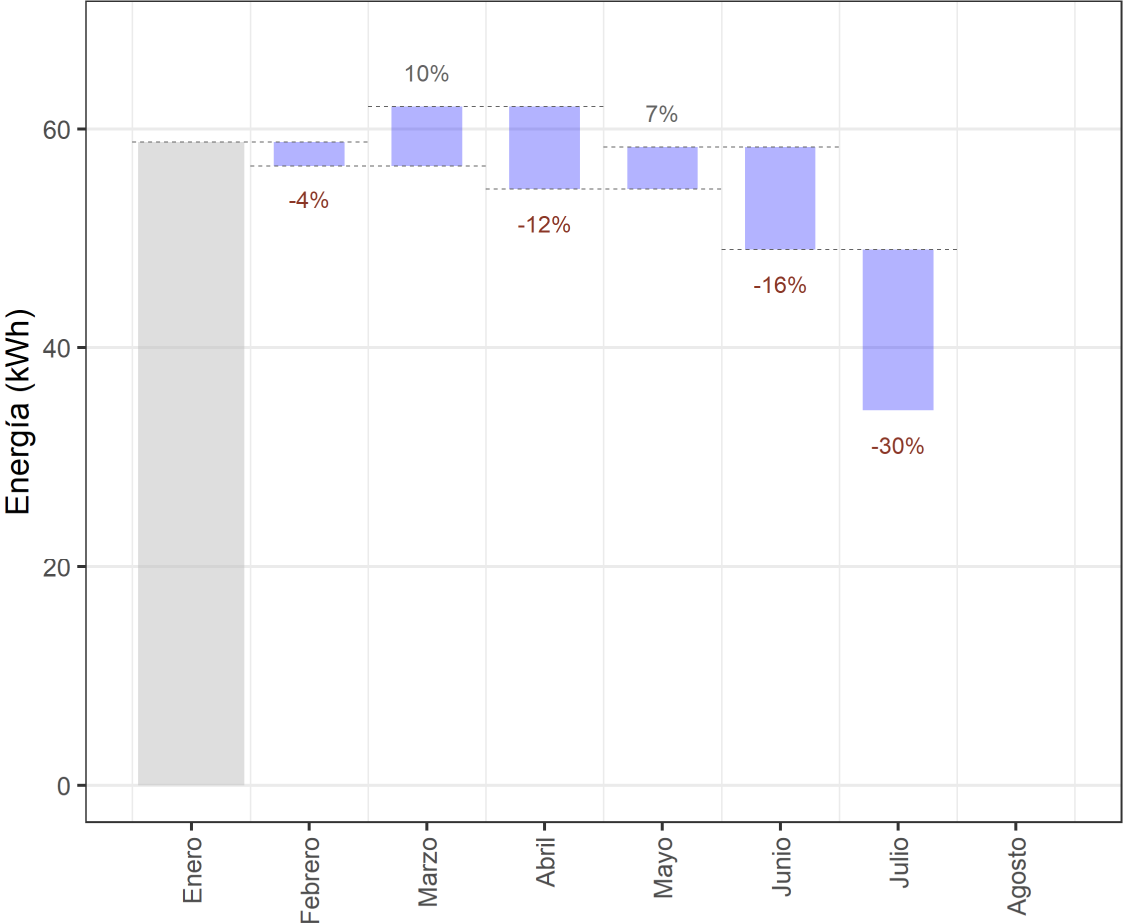
Anexo 5. Percentiles horarios por día de la semana

Ejemplo de gráfico de visualización por percentiles horarios por día de la semana para dos años.



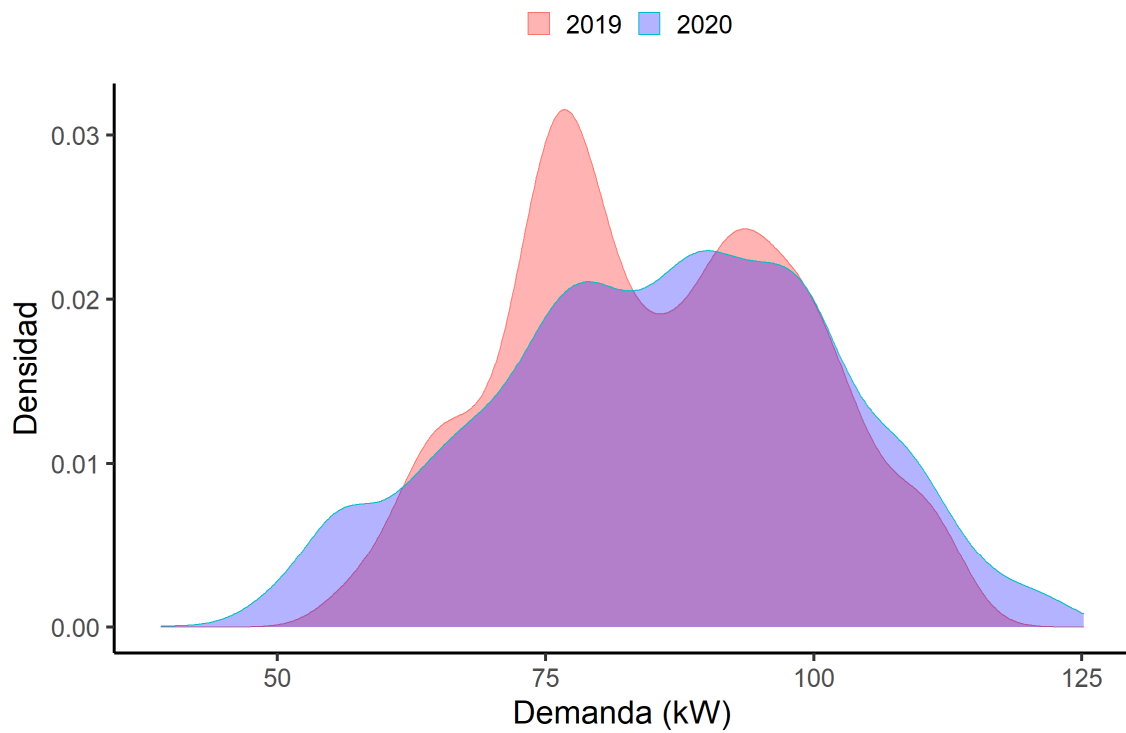
Anexo 6. Gráfico comparativo por mes

Ejemplo de gráfico comparativo porcentual por mes.



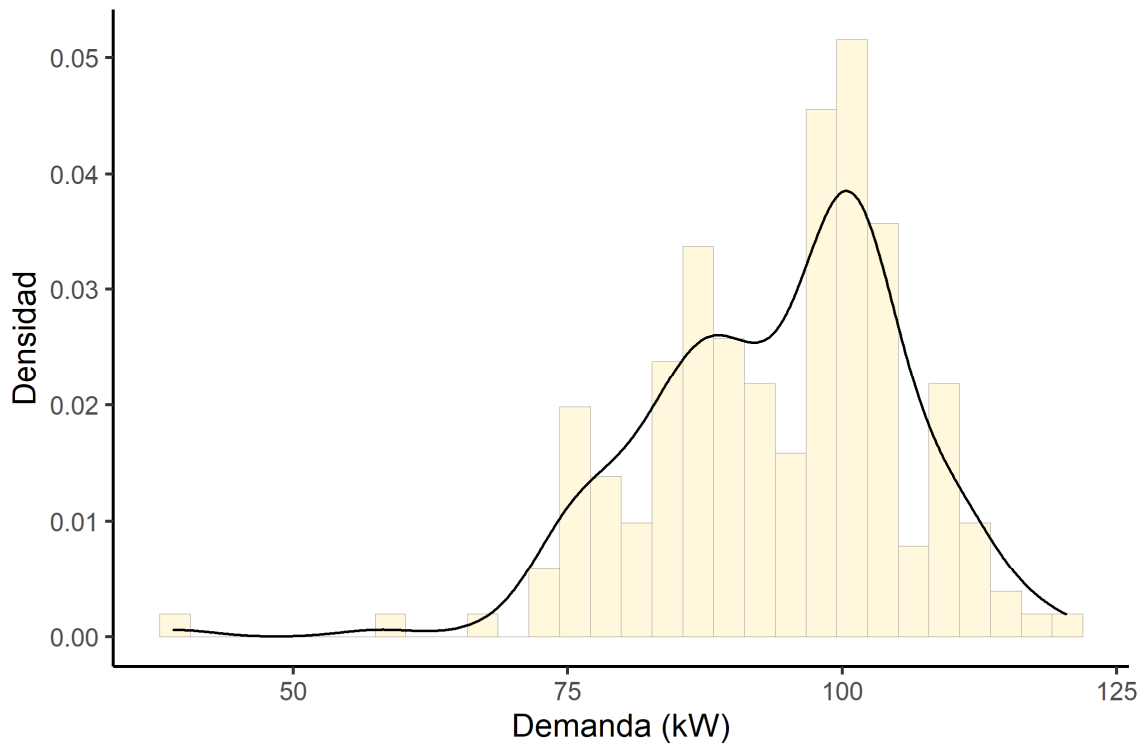
Anexo 7. Comparación de gráficos de distribución

Ejemplo comparación de gráficos de distribución de demanda únicamente para los días domingo, para dos años.



Anexo 8. Distribución de demanda con filtro

Ejemplo de distribución de demanda para las 01 horas de los días domingo



Anexo 9. Comparación distribuciones

Ejemplo de comparación de distribuciones para consumos diarios de dos años

