



COMITÉ EDITORIAL

Alfonso Blanco

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.

Pablo Garcés

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.

Marcelo Vega

Asociación de Universidades Grupo Montevideo (AUGM). Uruguay.

COMITÉ AD-HONOREM

Andrés Romero C.

Pontificia Universidad Católica de Chile.

Leonardo Beltrán.

Institute of the Americas. México.

Manlio Coviello.

Pontificia Universidad Católica de Chile.

Mauricio Medinaceli.

Investigador independiente. Bolivia.

Ubiratan Francisco Castellano.

Investigador independiente. Brasil.

COORDINADORES DE LA EDICIÓN

DIRECTOR GENERAL

Alfonso Blanco

DIRECTORES EJECUTIVOS

Pablo Garcés

Marcelo Vega

COORDINADORA DE PRODUCCIÓN

Mishell Real Morales.

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

REVISORES

Luis Daniel García Zúñiga.
Investigador independiente. Costa Rica.

Carlos Ramiro Rodríguez.
Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

Marlei Roling Scariot.
Universidad Federal de Integración Latinoamericana. Brasil.

Fernando Salinas Herrera.
Agencia de Regulación y Control de la Electricidad (ARCONEL). Ecuador.

Marco Massacesi.
Universidad Nacional del Rosario. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Argentina.

Leticia del Carmen Mogollón.
Universidad Politécnica Territorial de Mérida Kléber Ramirez, Venezuela.

Rubén D Piacentini.
Universidad Nacional del Rosario (UNR). Argentina.

Daniel Eduardo Fertoni.
Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ingeniería Química. Argentina.

María del Sol Muñoz Mortera.
Investigadora independiente. Chile y México.

Lázaro Flores Díaz.
Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Secretaría de Energía. México.

Felipe Eduardo Ulloa Orellana.
University of California. Estados Unidos.

José Cataldo.
Universidad de la República (UDELAR). Uruguay.

María Cecilia Montero.
Universidad Tecnológica Nacional (UTN FRBB). Argentina.

Alfredo José Caguao Yagua.
Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM). Venezuela.

COLABORADORES

Raquel Atiaja.
Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

Ana María Arroyo. *Diseño y diagramación.*
Consultora independiente.

© Copyright Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) 2021. Todos los derechos reservados.

ISSN: 2602-8042 (Impresa)
ISSN: 2631-2522 (Electrónica)

Dirección: Av. Mariscal Antonio José de Sucre N58-63 y
Fernández Salvador.
Quito - Ecuador

Página web Revista ENERLAC: <http://enerlac.olade.org>
Página web OLADE: www.olade.org
Mail ENERLAC: enerlac@olade.org

Teléfonos: (+593 2) 2598-122 / 2598-280 / 2597-995


Fotografía de la portada y de la contraportada Galen Crout y Appolinary Kalashnikova en Unsplash.

Diseño de la portada y contraportada Ana María Arroyo.

NOTA DE RESPONSABILIDAD DE CONTENIDO

Las ideas expresadas en este documento son responsabilidad de los autores y no comprometen a las organizaciones mencionadas.





**La seguridad
de abastecimiento
versus las transiciones
energéticas**

EDITORIAL

En medio de la coyuntura energética provocada por la guerra Ucrania – Rusia y sus implicaciones en el corte de suministro de gas natural ruso a Europa (40% de la demanda de la Unión Europea) debido a las sanciones a ese país, la parada de la construcción del gasoducto NordStream 2 y la destrucción de NordStream 1, plantean el dilema de reemplazar a cortísimo plazo el gran volumen de gas ruso para suplir las necesidades energéticas de los países europeos.

Desde el inicio de la guerra, Europa imagina medidas para suplir el vacío que el corte de suministro provoca. Medidas como el mantenimiento de suficiente stock para afrontar los primeros compases de la escasez, a base de racionar el consumo. Estas reservas “serían” suficientes mientras sus miembros buscan proveedores que aumenten el suministro de gas y LNG, principalmente USA, Noruega y abrir otras opciones como: Qatar, Emiratos Árabes y varios países africanos (Argelia, Nigeria, Tanzania).

Otras de las opciones sobre la mesa es el carbón, al que, por ejemplo, Alemania apuesta para aliviar la generación eléctrica en riesgo, u, otras opciones como mantener la base de generación nuclear tan criticada en Europa.

Ante estas realidades, ¿Dónde quedan los objetivos climáticos?, ¿Cómo afecta al proceso de transición energética a nivel global? No hay duda de que la dependencia de un gas que deja de fluir de pronto, plantea desafíos que enfrentan la seguridad energética con los compromisos climáticos, y por ende, con los procesos de transición energética hacia el uso de fuentes renovables.

América Latina y El Caribe, la región con la matriz energética más verde del planeta, alejada del escenario de esta crisis, sufre ciertos coletazos, principalmente relacionados con la inestabilidad del mercado a corto y mediano plazo del gas natural. Además, vuelve a la mesa el viejo dilema de seguridad energética vs integración, y ahora, sumado a la velocidad de las transiciones energéticas que emprende en su transformación hacia economías bajas en carbono.

La apuesta siempre debería ser el aprovechamiento de los vastos recursos renovables que posee la región; recursos que contribuyen a la seguridad energética inter – regional y que mitigan las emisiones de gases de efecto invernadero. Aunado a esto, aprovechar la complementariedad, reforzando los esfuerzos de integración subregionales y creando mercados ampliados con precios asequibles y garantía de suministro.

Los procesos de transición en América Latina y El Caribe avanzan a pasos agigantados. Son ya 12 países de la región con matrices eléctricas que superan el 70% de renovabilidad. Recursos propios aprovechados para el beneficio de nuestra gente. Muestra de este proceso es el índice de renovabilidad de la matriz energética regional que se acerca al 30% en comparación con el promedio mundial de alrededor del 13%.

Queda mucho por hacer, pero el camino es el correcto.

Pablo Garcés
Editor
ENERLAC

ÍNDICE

INDEX

p. 8 CONFORT TÉRMICO Y EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE VIVIENDAS MULTI-FAMILIARES

THERMAL COMFORT AND THE ARCHITECTURAL DESIGN OF MULTI-FAMILY HOMES

Carlos Guillermo Vargas Febres, Jannette Delgado Ovando

p. 28 UNA PROPUESTA DE FOCALIZACIÓN EN TARIFAS ENERGÉTICAS: EL PROGRAMA ENERGIZAR

AN ENERGY TARIFF TARGETING PROPOSAL: THE ENERGIZAR PROGRAM

Javier Papa

p. 54 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ÍNDICE DE SATISFACCIÓN Y CALIDAD PERCIBIDA EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA EN EL MERCADO BRASILEÑO: CASO DE ESTUDIO CON LOS MÉTODOS IASC Y PHD

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SATISFACTION INDEX AND PERCEIVED QUALITY IN ENERGY DISTRIBUTION IN THE BRAZILIAN MARKET: CASE STUDY WITH THE IASC AND PHD METHODS

Eduardo Adrián Ortigoza Moreno, Fernando César Ferreira,
Juan Carlos Cabral Figueredo, Victorio Enrique Oxilia Dávalos

p. 72 LA ENERGÍA, EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL LENGUAJE DEL COSMOS: UNA APROXIMACIÓN AL DISEÑO DE MECANISMOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DESDE UNA PERSPECTIVA EINSTENIANA

ENERGY, CLIMATE CHANGE AND THE LANGUAGE OF THE COSMOS: AN APPROACH TO THE DESIGN OF ENERGY EFFICIENCY MECHANISMS FROM AN EINSTENIAN PERSPECTIVE

Maximiliano Franco Camarda

p. 94

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ETIQUETADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LOS CONSUMIDORES DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES (ARGENTINA) COMO HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ENERGY EFFICIENCY LABELING ON CONSUMERS' BEHAVIOR IN THE CITY OF BUENOS AIRES (ARGENTINA) AS AN TOOL FOR THE MITIGATION OF CLIMATE CHANGE

Claudio Iglesias Darriba

p. 110

POTENCIAL DE GENERACIÓN DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA FLOTANTE EN MÉXICO

GENERATION POTENTIAL OF FLOATING PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY IN MEXICO

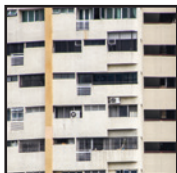
Ojilve Ramón Medrano Pérez, Alejandra Carrera Cadena, Laura Patricia Méndez López

p. 130

ALGORITMO PARA LA CARGA INTELIGENTE DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS PARA UN SISTEMA ELÉCTRICO CON ALTA PENETRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

ALGORITHM FOR SMART CHARGING OF ELECTRIC VEHICLES FOR AN ELECTRICITY SYSTEM WITH HIGH PENETRATION OF RENEWABLE ENERGIES

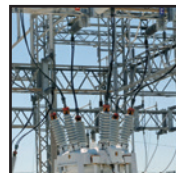
Diego Castro, Alejandro Gutiérrez, Andrés Cardozo



p. 8



p. 28



p. 54



p. 72



p. 94



p. 110



p. 130

CONFORT TÉRMICO Y EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES

THERMAL COMFORT AND THE ARCHITECTURAL DESIGN OF MULTI-FAMILY HOMES

Carlos Guillermo Vargas Febres ¹, Jannette Delgado Ovando

Recibido: 29/08/2022 y Aceptado: 19/01/2023
ENERLAC. Volumen VI. Número 2. Diciembre, 2022 (8 - 27)
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de T.H. Chia de Unsplash.

1 Universidad Andina de Cusco. Perú
cvargasfebres@hotmail.com
<http://orcid.org/0000-0001-7532-2993>

RESUMEN

Se buscó establecer la relación entre el bajo confort térmico y el diseño arquitectónico de viviendas multifamiliares en la provincia de Cusco, se aplicó en una primera etapa la estadística descriptiva aplicando los métodos de confort de Fanger y el adaptativo. En la segunda etapa, se analizaron los datos a través de la *t* de *student*. La población de estudio estuvo determinada por las viviendas multifamiliares tipo flat, del muestreo no probabilístico accidental, se evaluó a 64 viviendas en un rango de 65m² a 120m², a través de fichas de registro y encuestas aplicadas a los habitantes de las viviendas durante los meses de junio a diciembre.

La temperatura promedio del aire es de 13.81°C muy por debajo del rango admisible, así como la velocidad relativa del aire con 0.81 m/s; finalmente el índice PMV llegó a - 1.70 y PPD de 62% traducido como un bajo confort térmico al interior de la vivienda. Por otro lado, la correlación entre las dimensiones de las variables, arrojó un “*p*” valor de 0.95, Con lo cual concluimos que el diseño arquitectónico de las viviendas se relaciona directamente con el bajo confort térmico de las mismas.

Palabras clave: Balance térmico, Diseño arquitectónico, Vivienda

ABSTRACT

The aim was to establish the relationship between low thermal comfort and the architectural design of multifamily homes in the province of Cusco. Descriptive statistics were applied in a first stage, applying Fanger's comfort and adaptive methods. In the second stage, the data was analyzed using the student's t. The study population was determined by the flat-type multifamily dwellings, from the accidental non-



probability sampling, 64 dwellings in a range of 65m² to 120m² were evaluated, through registration cards and surveys applied to the inhabitants of the dwellings during the months from June to December. The average air temperature is 13.81°C well below the admissible range, as well as the relative air speed with 0.81 m/s; finally, the PMV index reached - 1.70 and PPD of 62% translated as low thermal comfort inside the home. On the other hand, the correlation between the dimensions of the variables yielded a "p" value of 0.95, with which we conclude that the architectural design of the houses is directly related to their low thermal comfort.

Keywords: *Thermal balance, Architectural design, Housing.*

INTRODUCCIÓN

Vigo (2017) infiere que el desarrollo individual y social se relaciona significativamente con el nivel de confort que brinda una edificación donde se reside. El hábitat es el espacio que brinda condiciones adecuadas para que viva un individuo y su sociedad. Muchas investigaciones muestran la ventaja en la evolución de los individuos, debida a la fuerte vinculación con su espacio de residencia, también denominado hábitat.

Para el autor, la vivienda, el uso del suelo, la infraestructura y el equipamiento, conforman una estructura indivisible, por lo tanto, define al confort como el estado de bienestar físico, mental y social, variando dependiendo de su edad, sexo, estado físico, aspectos culturales, modos de vida, prácticas cotidianas, etc. Por tanto, una de las necesidades fisiológicas más

preponderantes en los usuarios, es lograr el balance entre el calor producido o ganado y el expulsado por el cuerpo humano que se encuentra en el rango de 36.5 y 37°C de temperatura.

Para (Barrionuevo & Espinoza, 2005) plantea que las principales ciudades del Perú son poblaciones costeras, en tal sentido no poseen climas extremos, razón por la cual no observan al confort térmico como una necesidad para las viviendas proyectadas en la actualidad, sin embargo existen ciudades peruanas como el Cusco que se han hecho más visible los efectos de los cambios climáticos como el friaje extremo en comunidades alto andinas.

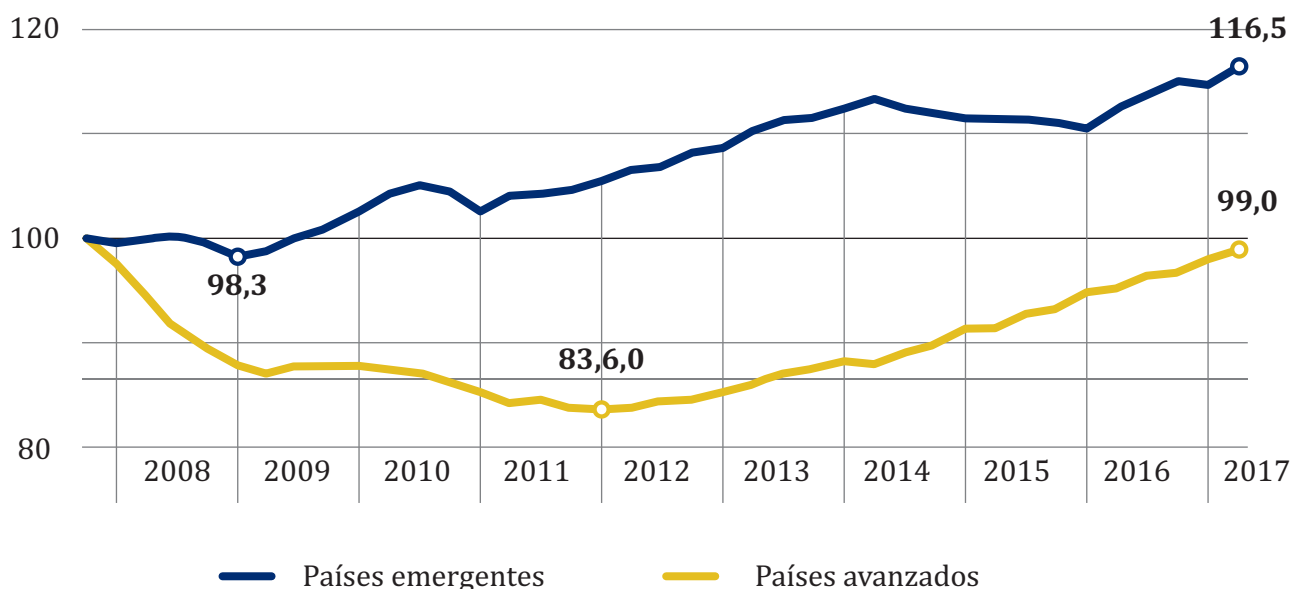
La carencia de estudios adecuados sobre el confort en las viviendas, determina la falta de conocimiento de los problemas que genera vivir en climas extremadamente fríos como el del Cusco, estos problemas producen mortandad por enfermedades respiratorias, restricción de actividades nocturnas, depresión, etc.

Descripción del problema

La habitabilidad de la vivienda, posee una relación proporcional con la calidad de la misma; ésta deberá de poseer un conjunto de condiciones físicas y no físicas velen por la vida humana en condiciones de dignidad dentro de las edificaciones proyectadas. Por ende, la búsqueda del confort térmico en las viviendas debe ser un objetivo importante al momento de diseñar viviendas multifamiliares en ciudades de climas extremos como la del Cusco.

La década del 2002 al 2012 a nivel internacional el sector construcción desarrollo el llamado "Bum de la construcción" sustentado por el bum inmobiliario que en países desarrollados se vio menguado por la crisis internacional; sin embargo, los precios de las viviendas vienen recuperando como se observa en la figura 1. Los precios de las viviendas en las economías desarrolladas alcanzaban apenas el 1% por debajo de su valor real a finales del 2007.

Figura 1. El precio de la vivienda el mundo



Fuente: Banco de pagos internacionales 2017

Para (Blazquez, 2018), expone que los expertos del sector construcción establecen que la compraventa de viviendas subió en abril al 29.7% respecto al mismo mes de 2017, considerando 42014 compraventas. El diario a través de Ismael Clemente establece que los activos inmobiliarios españoles son altos para atraer la inversión internacional y que aún se pronostica beneficios para los años 2019 y 2020.

Sin embargo, después de la crisis económica europea, países como España muestran cifras positivas de recuperación, la evidencia es el incremento de la inversión pública y privada en el sector vivienda, en la que programas de viviendas sociales, así como el mercado inmobiliario presentan movientes en cifras azules.

Para el (Diario Gestión, 2015), el bum inmobiliario en el Perú se desarrolló desde el año 2000 impulsado por el Fondo Mi Vivienda, quien puso al alcance de la clase media peruana créditos hipotecarios para la compra de viviendas tipo departamentos. Este sistema se sustenta mediante el subsidio del estado que desembolsa a los bancos con una menor tasa que se viera

reflejada directamente en una menor tasa a los beneficiarios.

Zubiarte (2015) menciona que hasta el 2002, la venta de viviendas en Lima y Callao solo alcanzó a las 3000 viviendas al año y que para el 2012 crecieron hasta 22000 anualmente. Deduciendo un crecimiento acumulado promedio de 19% durante 10 años. Para el año 2008 y 2009 se presenta la crisis financiera internacional por lo cual se comienza hablar de la creciente burbuja inmobiliaria ocurridas sobre todo en España y Estados Unidos.

Este término se encuentra ligado al crecimiento de las ventas y sobre todo los precios de las viviendas en corto tiempo, en tal sentido llega un momento en que dichos precios caen abruptamente. Sin embargo, el autor menciona que dicha burbuja inmobiliaria no es del todo cierta en el Perú ya que los precios de las viviendas vienen creciendo después de décadas de depreciación del suelo e inmuebles, según se aprecia en la figura 3. Es decir que, pese a la desaceleración en las ventas de departamentos, los precios no han bajado

sustancialmente, debido a la alta demanda insatisfecha que responde al déficit cercano a los dos millones de viviendas, y que por año solo son construidas 50.000 de éstas.

Del mismo modo (Lozano, 2018), analiza el mercado inmobiliario encontrando que para enero de este año los créditos hipotecarios llegaron a los S/. 41.342 millones marcando un crecimiento de 8.17% comparado al año 2017. Un indicador favorable es que solo en enero se registraron 900 unidades de departamentos vendidas en lima metropolitana, y queda como oferta 17.218 departamentos disponibles.

El cemento es uno de los material más utilizados para los pisos de viviendas y con menos coeficiente de retención calorífica. En climas como el del Cusco no colabora al confort térmico interior, sino por el contrario, incrementa la sensación de frío de los habitantes.

Tal como se aprecia la evolución del mercado inmobiliario se viene recuperando en el Perú, sin embargo, de la mala experiencia de la crisis no se aprendió la lección en la que no solo el mercado, sino que la sociedad viene exigiendo mayor calidad de las viviendas que las inmobiliarias vienen ofreciendo.

Se continúa ofreciendo la misma tipología de multifamiliares, con los mismos tipos de acabados, el mismo sistema constructivo y lo que es el centro de nuestra investigación, es la

cantidad y principalmente la calidad de los acabados interiores que se vinculan directamente con el confort térmico de los habitantes. Tan es así que de la encuesta que realizamos para el involucramiento del problema, se determinó que más del 80% de usuarios se encuentra disconforme con la sensación térmica y acústica de sus departamentos que habitan.

Existen algunos esfuerzos por contrarrestar las malas estadísticas de satisfacción de viviendas multifamiliares, así en Arequipa se ofertó este año 300 departamentos eco sostenibles que ahorran agua y energía eléctrica. Las denominadas viviendas verdes incorporan criterios de sostenibilidad en su diseño y construcción, reduciendo el impacto al medioambiente son la consecuente reducción de costos de consumo de luz y agua de por lo menos 30%, El área de los departamentos oscila entre los 83 m² y 184 m² tipo dúplex. (Mercados & Regiones, 2018)

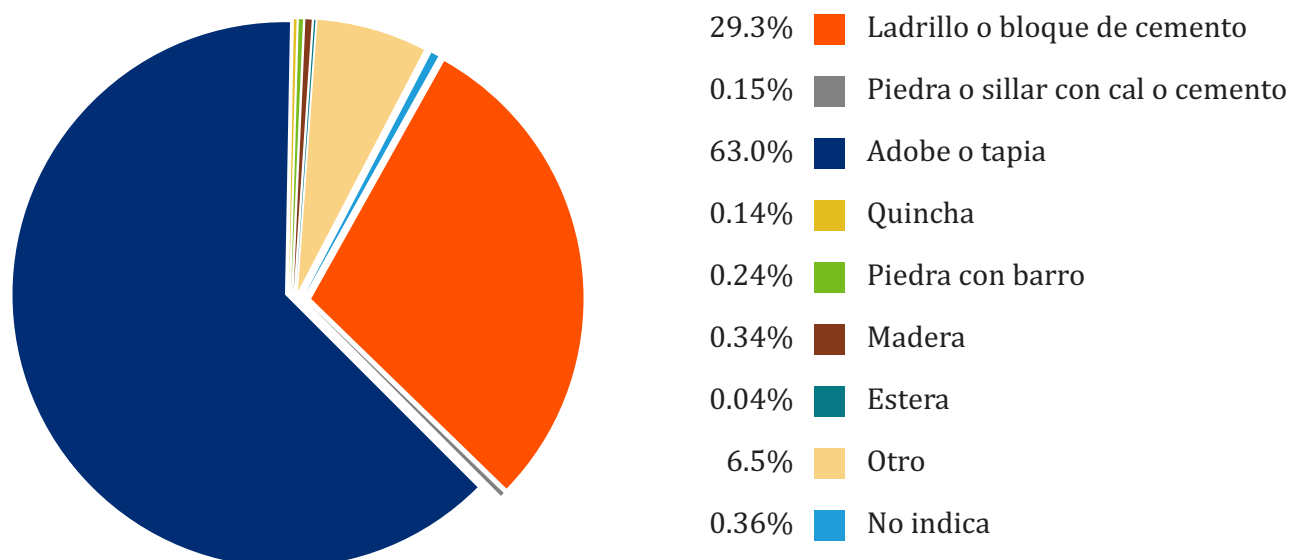
De igual forma (Mercados & Regiones, 2016), expone que Arequipa necesitará en los próximos tres años por lo menos 20 mil viviendas nuevas, dicha cifra se extrae de lo manifestado por la directora comercial de Adondevivir, Gisella Postigo.

El programa arquitectónico para el diseño de estas viviendas, contempla espacios en los que se establecen variaciones ambientales térmicas, luminosas y acústicas, y en condiciones inadecuadas, los usuarios de éstos, pueden desarrollar estrés en sus sistema de percepción, llegando a alterar el ciclo de sueño e incluso desestabilizar el sistema nervioso (Chavez del Valle, 2002). Estos desequilibrios los podemos encontrar en espacios en donde se dan condiciones extremas como los ambientes de las viviendas multifamiliares que debido al bum inmobiliario y la búsqueda de la optimización de espacios se traducen en áreas mínimas en las que el contacto con el exterior es mínimo, por lo que la iluminación artificial, así como sistema de calefacción en zonas de sierra como la del Cusco es un denominador común.

Para (Diario Gestión, 2013), afirma se ha pasado de un boom de inversiones hoteleras a uno en el sector inmobiliario, para la fecha de la publicación no había nuevos proyectos hoteleros en Cusco en las categorías de tres, cuatro o cinco estrellas. Menciona que existen más de 70 proyectos de vivienda que están ejecutando en este momento; la ubicación de los proyectos radica en zonas residenciales como Santa Mónica, Magisterio, Manuel Prado y Larapa en donde el valor del departamento se da en el rango de los US\$ 200 mil a US\$ 250mil.

Sin embargo, el lado oscuro de estas cifras, se encuentra en que solo el 25% de estos proyectos inmobiliarios se encuentra a cargo de empresas formales de capitales cusqueños y arequipeños. Según (Fondo Mi Vivienda, 2010), en su informe referido al mercado inmobiliario en la ciudad de Cusco, encuentra que los materiales más utilizados a nivel general de las viviendas es el adobe y el ladrillo o bloque de cemento (bloqueta); sin embargo para el caso de departamentos multifamiliares, las paredes tiene la exclusividad de ser edificadas con ladrillos o bloquetas.

Figura 2. Materiales de paredes (Suma 100.07%)



Fuente: Censos Nacionales XI de Población y VI de Vivienda 2007 – INEI.

Un fenómeno muy parecido pero que evidencia de mejor manera la problemática demuestra investigación es que el material más usado para los pisos de viviendas en general es el de cemento el cual es uno de los materiales con menos coeficiente de retención calorífica y en climas como el del Cusco no colabora al confort térmico interior, sino por el contrario, incrementa la sensación de frío de los habitantes.

El hábitat es el espacio que brinda condiciones adecuadas para que viva un individuo y su sociedad.

Figura 3. Ejemplos de viviendas multifamiliares en la ciudad de Cusco



Fuente: Elaboración propia.

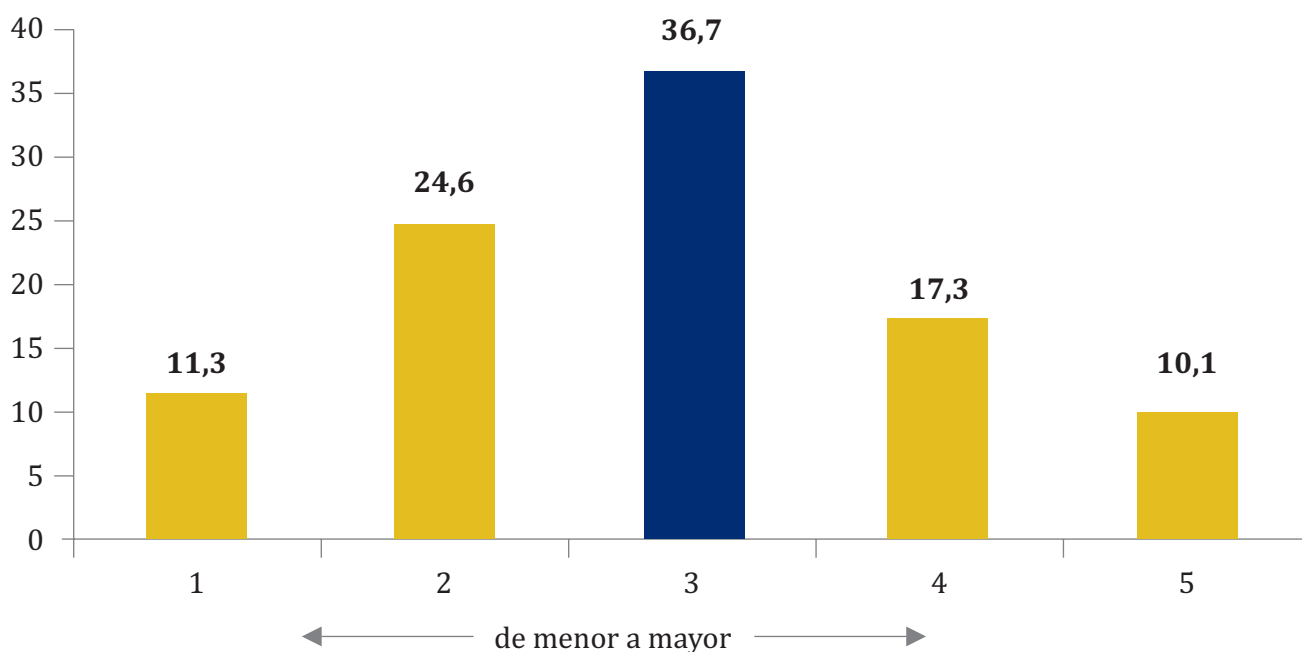
Adicionalmente se desprende de la información que en las viviendas tipo departamentos (multifamiliares) el material de piso más utilizado es losetas, terrazos o similares (cerámicos y porcelanato), dichos materiales en la última década han cobrado gran importancia al ser elegidos por su funcionalidad al momento de hacer limpieza del hogar, el precio accesible por la procedencia china de fabricación, y por la estética que brindan dichos proyectos.

Las inmobiliarias en el Cusco tienen estandarizados los acabados tanto en pisos, muros, cubiertas y envolventes, en tal sentido el diagnóstico de la problemática es una característica común de estas edificaciones. Nuestra investigación busca relacionar el espacio arquitectónico proyectado y el nivel de confort de sus habitantes, por ende, nuestra población de estudio estará determinada por los departamentos construidos dentro de edificios residenciales multifamiliares.

Por otro lado, el informe nos brinda valiosa información referida al promedio de conformación de miembros de una familia cusqueña en donde el 27% de hogares posee 15 habitantes entendiéndolos como padre, madre e hijos, en algunos casos se registra la presencia

La principal fuente de nuestra investigación radica en la estadística referida a la satisfacción de los usuarios con sus departamentos, donde el 36.7% de familias declaran sentirse medianamente satisfecha mientras que el 35.9% se encuentra insatisfecha con su actual departamento; es decir que más del 50% de familias no recibe el producto inmobiliario que esperaba. Sin embargo, las causas de la insatisfacción de estas viviendas son diversas, el precio por metro cuadrado, la ubicación, los vecinos del edificio, pero de singular manera es el inadecuado confort térmico y acústico que sienten al interior de sus viviendas.

Figura 4. Nivel de satisfacción con la vivienda actual



Fuente: Oficina de Estudios Económicos, Planeamiento y Presupuesto – Fondo MIVIVIENDA S.A.

Estado del arte

Solis Villafaña (2015), en su tesis de pos grado para la obtención de datos, su diseño metodológico partió por el desarrollo de formatos para la obtención de datos, diseño de hoja de cálculo en software Excel, el análisis estadístico de las temperaturas neutras obtenidas, el cálculo de la temperatura neutral y rangos de confort de la vivienda rural sustentable, comparación de los resultados obtenidos del modelo holístico utilizando la ecuación de A. Auliciems. De las conclusiones a las que llegó el investigador se desprende que la temperatura neutral de las mujeres externas a la comunidad de estudio, no hay una diferencia significativa con aquellas mujeres locales; ésta diferencia se encuentra en el rango de 0.31978 a 3.7387°C en el mes más cálido y para el mes más frío es de -0.101 y 4.385°C. Finalmente, el resultado más sobresaliente radica en que la habitación, el vestíbulo y los servicios higiénicos son los espacios que presentan mejor confort térmico.

Según Hernández & Lesino (2014), desarrollan la simulación de un prototipo de vivienda liviana utilizando una metodología a seguir que incorporen ganancias auxiliares de calor (estufas o luminarias); dentro de la validación del modelo mediante valores medidos en un mes. De los resultados se destaca la necesidad de recurrir en calefacción auxiliar en los locales habitables ya que, de las temperaturas medias, las viviendas se encuentran por debajo del rango de confort térmico teórico de invierno. El modelo permite predecir el confort en temporada de verano utilizando datos meteorológicos.

Henriquez Cortez (2014), en su investigación encuentra que las características de aislamiento son mínimas en viviendas sociales, e incluso por debajo del costo de viviendas promedio; de la experimentación, concluye que al agregar superficie de ventana orientada al norte descende el consumo por calefacción en un rango de 20 kwh/m².

Iturre Campiño (2013), en su tesis analizó el confort térmico mediante la integración de dos principios de interpretación térmica; el “adaptativo” considerando a la física y la fisiología, trabajando con la percepción térmica del individuo, geográficas y culturales y el “estático”, donde la persona es vista como receptor pasivo de estímulos térmicos tomando en cuenta la lógica del balance térmico. En los resultados obtenidos se midió la humedad relativa, velocidad del viento y temperatura. Estos datos se correlacionaron con temperaturas promedios mensuales del aire mediante el índice de Fanger. De las conclusiones de la tesis se desprende que las viviendas estudiadas presentan un alto porcentaje de desconfort térmico.

Castañeda Nolasco & Ruiz Torres (2013), estudian el comportamiento y confort térmico en la vivienda de la ciudad rural en el que, para la variable de comportamiento térmico, se tomaron las dimensiones de temperatura de Bulbo Seco (TBS) y Temperatura Superficial Interior (TSI); y para el estudio del confort térmico se utilizó el enfoque adaptativo aplicando el cuestionario diseñado con la norma ISO 10551 como instrumentos de recolección de datos.

(Mercado, Esteves, & Filippin, 2010), manifiesta que el estado argentino entrega el 30% de viviendas en la ciudad de Mendoza, por lo que esta investigación evalúa la calidad térmico – energética, el requerimiento energético necesario por medio de un balance, la simulación de la vivienda en el software SIMEDIF, y el sondeo cualitativo de las sensaciones térmicas. Del análisis se desprende que la edificación presenta un déficit en su rendimiento térmico energético que se diferencia con lo calculado por el programa y que las simulaciones de mejoras obtienen un 35.6% de ahorro de energía auxiliar.

Filippin & Flores (2005), describe la tecnología y el comportamiento térmico y energético de una vivienda convencional que se ubica en la ciudad Santa Rosa en un ambiente de baja densidad de edificación; los resultados del monitoreo térmico que fue realizado utilizando el software

SIMEDIF para Windows, tomando muestras antes de la mejora e envolventes y mayor superficie de ganancia directa y se encontró que la resistencia térmica permite incrementar en 4.6°C a temperatura media interior de la vivienda demostrando un ahorro de 66% del consumo de gas para la calefacción.

Gelardi D. (2003), expone el contenido y desarrollo del programa de optimización de viviendas fundado en el balance térmico invierno/verano, dicha propuesta viene siendo utilizada en los talleres de Tesis de Grado por los alumnos de Arquitectura en el Instituto de Estudios para el Medio Ambiente de Mendoza, Argentina. El programa utiliza el software Excel que le permite elegir desde el proyecto, los valores previamente establecido o en su defecto solicita el valor calculado en base a un conocimiento específico. Este programa permite a los proyectistas prever el confort térmico que se encontrará en las edificaciones de vivienda previas a su construcción.

Del mismo lado, Bravo & Gonzalez - Cruz (2003) realizan el estudio referente al confort térmico en viviendas ventiladas naturalmente y con la característica de construcción ligera, considerando clima cálido y húmedo, diferentes al de nuestro estudio pero que servirán como referencia metodológica. El objetivo del estudio fue buscar los estándares locales sobre confort térmico para el diseño y materialización de edificaciones. Al igual que el anterior antecedente, este estudio utiliza la metodología adaptativa que establece las temperaturas térmicas comfortable; estos resultados fueron correlacionados con las temperaturas promedios mensuales del aire exterior de los últimos 4 años y las temperaturas promedios del globo.

Hernandez Córdova (2011), estudian el confort térmico en viviendas sociales en las que encuentran que éstas no se encuentran diseñadas de manera adecuada ya que los materiales con las que fueron construidas y los criterios de diseño como el asoleamiento, orientación y ubicación, los cuales inciden de manera significativa

en la ganancia de calor. Para la temperatura más alta se registró el día 21 de julio a las 19:00 horas con 51°C, por otro lado, el porcentaje de humedad interior; registro sus datos más altos en la época de invierno, específicamente en los meses de junio, julio y agosto; para el confort térmico, existe meses como julio en los que arrojo cero horas de confort; finalmente el consumo de energía se da en los meses de verano por el uso del aire acondicionado.

Cabrerizo Barrientos (2012), realiza el estudio en la ciudad de Cochabamba, muy similar a las condiciones climatológicas del Cusco, se buscó evaluar el confort térmico de viviendas construidas con ladrillos cerámicos identificando sus características. Se tomó en cuenta las dimensiones externas medioambientales, internas (envolventes), parámetros arquitectónicos y al hombre como usuario; del análisis se determina que los cerramientos opacos (acristalamientos) son fuentes excesivas de pérdidas de calor. La ganancia de calor vía radiación solar es mínima, los muros orientados al sur deben reducir la pérdida calorífica, la humedad relativa es muy baja y la ventilación cruzada debe mejorar en épocas de verano.

Ruiz Torres (2007) en la investigación relacional de confort térmico encontró que la correlación de datos de sensación térmica del ambiente y la temperatura de bulbo seco (TBS), es decir mientras esta temperatura se eleva, también crece la sensación térmica de las personas, teniendo una temperatura neutral de 26.2°C tal como se puede apreciar en el cuadro.

MARCO TEÓRICO

Confort Térmico

Para la Norma ISO 7730 lo define como “La condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” esto significa que el ser humano evalúa un espacio confortable cuando no exista ninguna incomodidad térmica; es decir la neutralidad térmica.

A un inicio la visión positivista del conocimiento, empujó a estudiar desde un enfoque cuantitativo, con la medición de indicadores físicos, por otro lado, el término de sensación térmica es introducido en la discusión debido a la falta de claridad de la información numérica del problema y a la diversidad de sujetos o usuarios que responden a diferentes estímulos y cuyo proceso de equilibrio térmico se da de diferentes maneras. Esta búsqueda tuvo resultados altamente exitosos en sistemas con pocas variables y dimensiones que buscan la generalización de los resultados y principios universalmente aceptados.

Para esto diferentes bioclimatólogos han utilizado modelos matemáticos que buscan alcanzar estándares de condiciones climáticas admitidas como confortables por los habitantes. Así para (Mondelo, 2001) el balance térmico se determina cuando el valor cero representa la condición del cuerpo cuando no gana ni cede calor; esta definición se pone de manifiesto mediante la siguiente ecuación:

$$M \pm W \pm R \pm C - E \pm C_{res} \pm E_{res} - E_d \pm C_{cond} \pm C_{cond.clo} = A$$

M = Energía metabólica producida por el organismo.

C_{res} = Intercambio de calor por convección respiratoria.

W = Trabajo mecánico desarrollado.

E_d = Pérdida de calor por difusión del calor.

R = Intercambio de calor por radiación.

C_{cond} = Intercambio de calor por conducción.

C = Intercambio de calor por convección.

C_{cond.clo} = Conducción a través del vestido.

E = Pérdida de calor por evaporación de sudor.

A = Pérdida o ganancia de calor por el cuerpo.

Si el resultado se aleja del cero y se acerca a cifras negativas, la persona manifiesta sensación objetiva de incomodidad, considerada como balance negativo o sensación térmica de frío; mientras que si el valor se aleja del cero hacia el margen positivo se considerará como sensación térmica de calor. Es decir, la manifestación de insatisfacción se da sólo a través de la medición cuantitativa y a través de instrumentos y modelos matemáticos pre establecidos, sin considerar la opinión o sentir de las personas que habitan las edificaciones.

Al ser una postura biológica y físico química, uniformiza y equipara a todos los seres humanos y determina patrones de confort térmico, por lo que se le denomina “enfoque de aproximación racional” que establece índices de aplicación global. (Houghton & Miller, 1925)

Para Martínez García (2016), define al confort térmico como una exposición relativa de la conformidad o satisfacción de los usuarios con el ambiente térmico predominante. La también llamada satisfacción neutra radica cuando los habitantes no manifiestan sensación de calor o frío; todo esto enmarcado a las cifras de temperatura, humedad velocidad del aire.

Nuestra investigación radica en la estadística referida a la satisfacción de los usuarios con sus departamentos: 36.7% - medianamente satisfechos, 35.9% - insatisfechos con su actual departamento. Es decir más del 50% de familias no recibe el producto inmobiliario que esperaba.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático IPCC por sus siglas en inglés, evidencia que el sector construcción es una de las áreas fundamentales donde se deben impulsar innovaciones en el corto plazo, con la estrategia final del diseño solar pasivo y activo, como elemento fundamental para la calefacción y enfriamiento de las edificaciones (Gómez Azpeitia, Bojórquez Morales, & Ruiz Torres, 2007).

Una vez que se abandona el paradigma positivista, surge un enfoque que cobija lo cuantitativo y lo cualitativo, donde se deja de lado la medición solo de las condiciones del ambiente térmico y se traslada al concepto del estado físico de las personas donde el valor del confort térmico no solo se expresa en cifras numéricas, sino que se considera unidades adimensionales que pronostica lo que una persona con vestimenta promedio y actividades físicas determinadas.

Teoría del Balance Térmico o Método de Fanger

También llamado modelo estático o constante, se entrelaza con la teoría fisiológica y la termorregulación estableciendo rangos de temperatura de confort.

Esta ecuación plantea la conversión de la carga térmica acumulada en el cuerpo por una intención de voto, denominado Voto Medio Previsto (Predicted Mean Vote PMV), cuya ecuación es:

$PMV = (0.303e - 0.036M + 0.025) Lo$, donde:

PMV = Voto medio previsto.

Lo = Acumulación de calor en el cuerpo.

M = Tasa metabólica.

De igual forma plantea un segundo índice de medición denominado “Porcentaje Previsto de Personas Insatisfechas” (*Predicted percentage dissatisfied*, PPD) obteniendo la relación

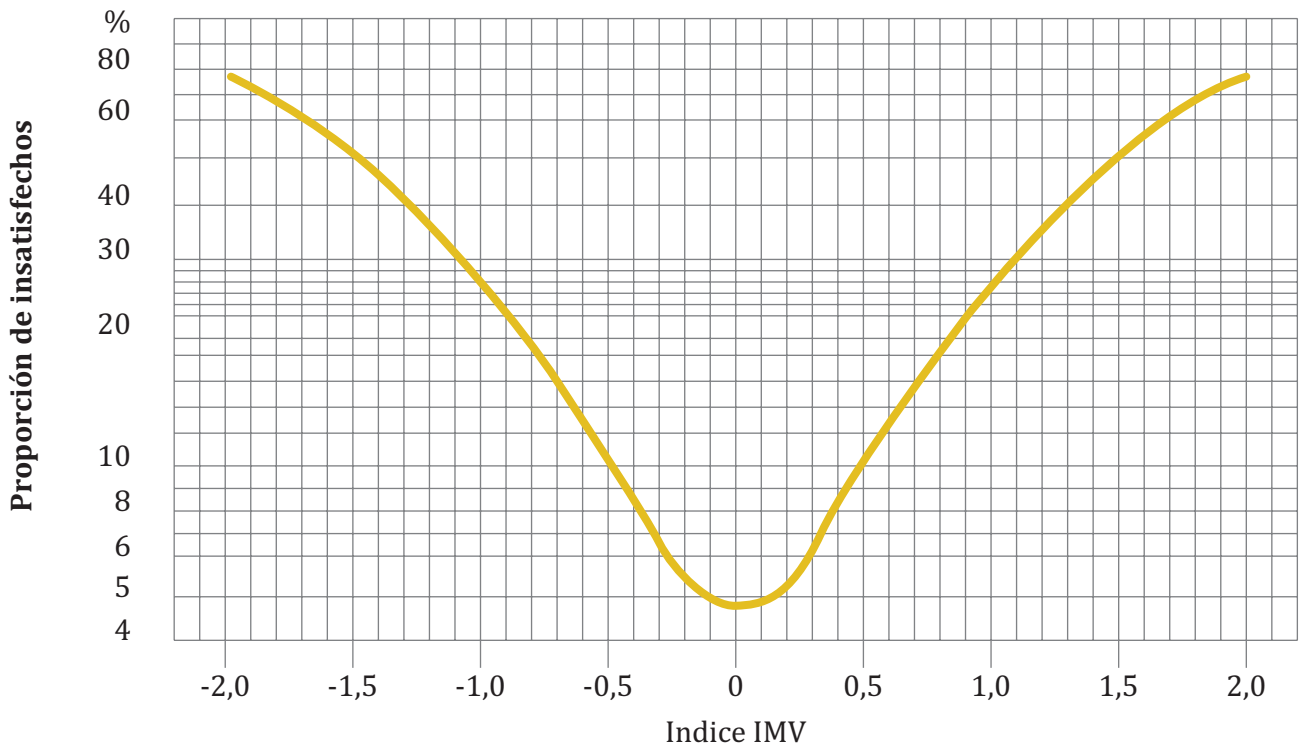
que: mientras el PMV se aleja del valor neutral, el PPD se incrementa. Por tanto, la adición de la subjetividad de la opinión personal en conjunto con la transferencia de calor del cuerpo y el ambiente. Para esto se define en la siguiente ecuación:

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)}$$

PPD = Porcentaje previsto de personas insatisfechas.

PMV = Voto medio previsto.

Figura 5. Proporción prevista de personas insatisfechas en función del valor del índice IMV



Fuente: (Fanger, 1972)

Si bien es cierto este modelo es aceptado internacionalmente para medir el confort térmico en interiores, sin embargo, la estructura del modelo es estacionario, por lo que no se toman en cuenta las variaciones de temperatura en el transcurrir del día. Por esta razón es que en la actualidad se cuestiona o por lo menos se plantean modelos alternativos que engloben de mejor manera la medición del confort térmico real en ambientes interiores.

Según Schiavon & Melijov (2008) las investigaciones desarrolladas en cámaras climáticas (método Fanger), no permiten los seres humanos la denominada “experiencia de realismo”, esto a partir de que los ambientes son cambian-

tes, no controlables a diferencia de los experimentados en estudios de laboratorios.

Método Adaptativo

Para Dear (2010), proviene de estudios de campo cuya finalidad fue examinar la real aceptabilidad de ambientes térmicos cuya dependencia directa con el contexto, el comportamiento de los habitantes y sus expectativas son información primordial para éste método. Por ende, la definición de adaptación deberá entenderse, como la disminución gradual de la respuesta del cuerpo humano a una estimulación repetida del ambiente.

Este método se basa en el estudio denominado ASHRAE RP – 884 donde se analizaron 210000 muestras de 160 edificaciones con sistemas de ventilación natural, es decir, similares a las viviendas multifamiliares objeto de nuestro estudio. De la investigación se concluye que existe una relación a que la temperatura de neutralidad térmica se incrementa a medida que incrementa la temperatura exterior. Por tanto, la experiencia térmica identifica inconscientemente que en espacios exteriores o interiores que se relacionan con el exterior, el ambiente denota modificaciones térmicas frecuentes.

Se entiende este modelo como un enfoque estático, un parámetro psicofísico en las edificaciones con ventilación natural como las que se presentan en los departamentos multifamiliares en Latinoamérica y puntualmente en regiones frías como la de Cusco. Este método se plasma en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE) y precisada en la UNE-EN ISO 7730 donde se establece la evaluación de las condiciones térmicas interiores en edificios.

Se introduce nuevas dimensiones en la medición del confort térmico, que a través del confort estático mide la temperatura operativa y humedad relativa se establecen en base a la actividad metabólica, aislamiento de la vestimenta y el porcentaje previsto de insatisfacción.

El modelo de adaptación fisiológica UTCI es un índice concertado por expertos en la *Action COST 730* bajo el amparo de la Comisión de Climatología de la Organización Mundial de Meteorología, WMO. Esto se resume en la siguiente ecuación:

$$T_{comf} = 0.31 * T_{a, out} + 17.8$$

De aquí se obtuvieron los límites de confort para una aceptabilidad del 90 y 80%; éstos se valida parte de la teoría de Fanger en la que establece que la sensación térmica media (PMV) entre -0.85 y +0.85 se relaciona direc-

tamente con el porcentaje de insatisfechos previsto (PPD) del 20% y a su vez un PMV entre -0.5 y +0.5 se relaciona con un PPD del 10%.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló siguiendo las siguientes etapas establecidas por el método de Fanger (1972)

Recopilación de datos: Esto se da a través del registro de datos cuantitativos y cualitativos levantados a partir de la ficha de registro y la encuesta. La información relevante en el estudio se basa en: a) Asilamiento de la ropa de los habitantes en el entorno, b) tasa metabólica de la actividad desarrollada y c) Características ambientales del entorno como la temperatura del aire, la temperatura radiante, humedad relativa o presión parcial de agua y la velocidad relativa del aire.

Cálculo del Voto medio Estimado (PMV)

Cálculo del porcentaje estimado de insatisfechos (PPD) a partir del valor PMV

Análisis de resultados determinando la valoración de la situación (satisfactoria o no adecuada) éste análisis de comparar con el balance térmico correspondiente a las condiciones evaluadas.

Para entender que los resultados son admisibles, se deberá comparar con los niveles establecidos en la norma ISO 7730 "Ergonomía del ambiente térmico". De la norma se desprende que el Voto medio estimado (PMV) evaluará los ambientes térmicos siempre y cuando se encuentren dentro de los siguientes rangos.

Tasa metabólica: 46 y 232 W/m² (entre 0,8 met. Y 4 met). Instrumento a utilizar: Encuesta

Aislamiento de la ropa entre 0 y 0,31 m² K/W (0 clo. Y 2 clo). Instrumento a utilizar: Encuesta

Temperatura del aire entre 10°C y 30°C.
 Instrumento a utilizar: Termómetro

Temperatura Radiante media entre 10°C y 40°C.
 Instrumento a utilizar: Termómetro de Globo

Velocidad del aire entre 0 m/s y 1 m/s. Instru-
 mento a utilizar: Anemómetro

Humedad Relativa entre el 30% y 70%.
 Instrumento a utilizar: Anemómetro

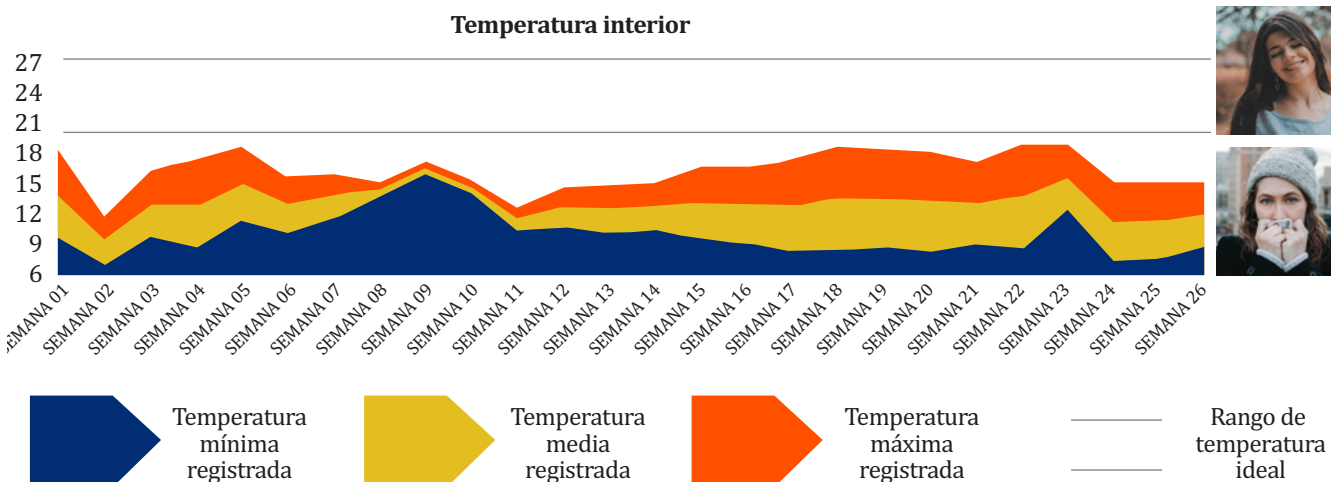
El análisis de datos se realizó mediante el soft-
 ware SPSS, en la que teniendo en cuenta que
 se tienen la variable independiente “diseño
 arquitectónico” (cualitativa) y la dependiente

“confort térmico”, (cuantitativa); es que se optó
 por la t de Student, mediante la comparación
 de medias, con un intervalo de confianza del
 95% y un error de significancia del 5% como
 prueba de hipótesis más adecuada.

RESULTADOS

La presentación de resultados se ofrece a través
 de gráficos en la línea de tiempo donde se realizó
 la investigación, cabe mencionar que en todas las
 dimensiones se tomará las medidas máximas,
 mínimas, la media y comparadas con las míni-
 mas y máximas permitidas. Esto dará luces
 del grado de confort en cada una de las dimen-
 siones de estudio.

Figura 6. Temperatura del aire

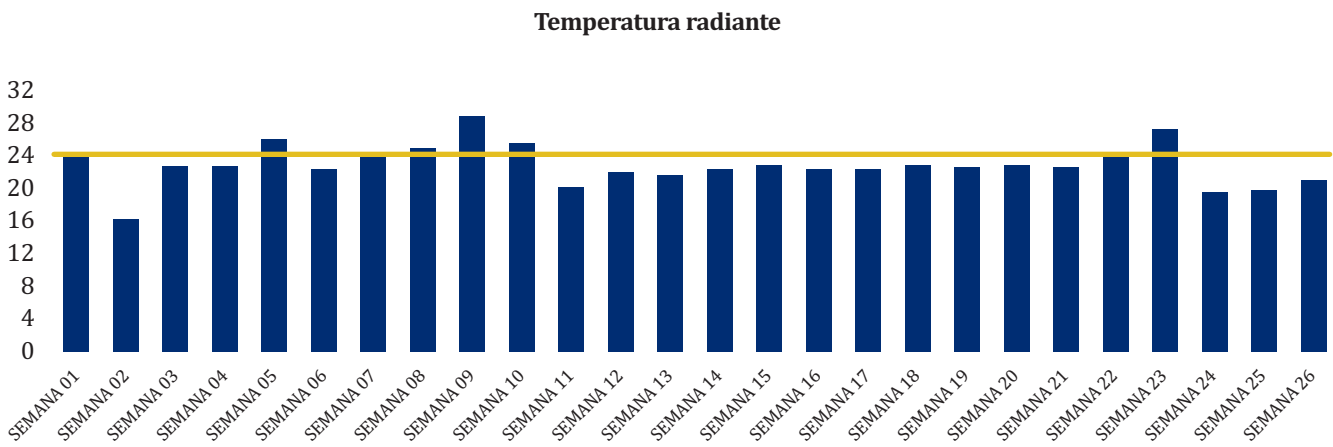


Fuente: Elaboración propia.

Los límites permisibles referidos a la tempe-
 ratura del aire en espacios interiores (vivienda)
 se encuentran en el rango de los 17°C y los
 27°C para ser considerado como adecuado, sin
 embargo, de los datos encontrados se puede
 apreciar que la temperatura media del aire
 se encuentra por debajo de los 15°C, es decir
 fuera del límite inferior requerido.

**Ambos métodos
 confirman la hipótesis
 investigativa en la que
 el diseño arquitectónico de
 dichos departamentos,
 no permite alcanzar el
 nivel de Confort Térmico
 adecuado para sus
 habitantes.**

Figura 7. Temperatura Radiante Media

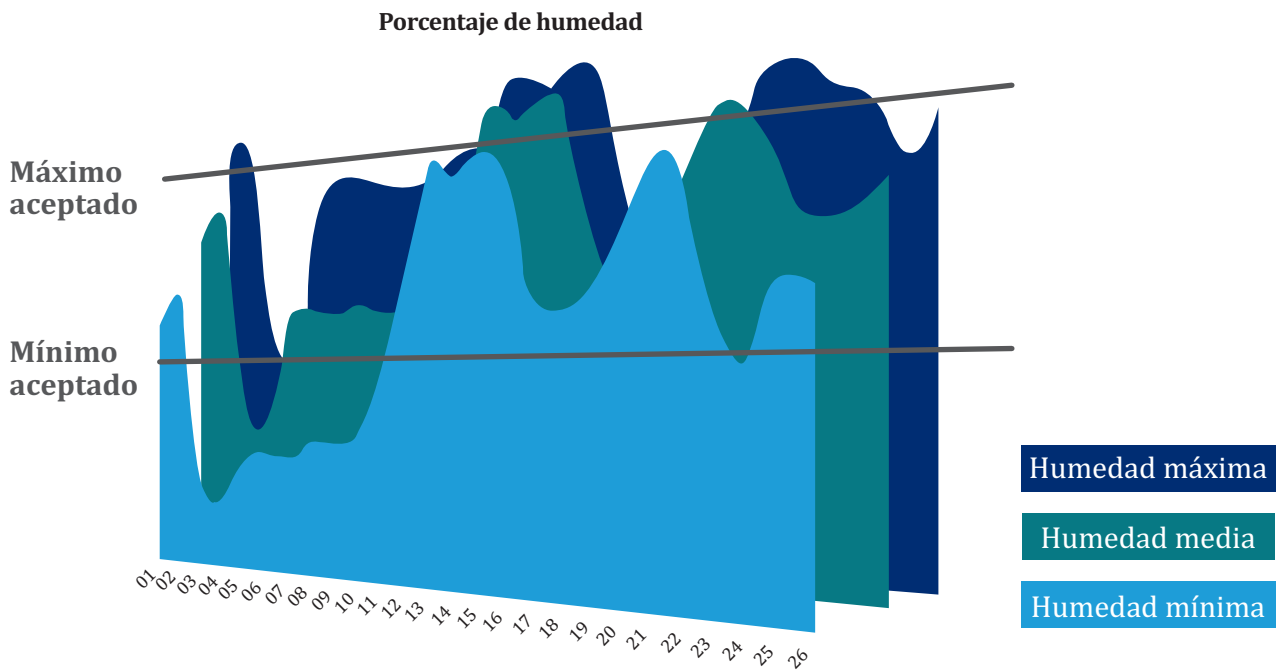


Fuente: Elaboración propia.

De la dimensión Temperatura Radiante media, donde se involucra la temperatura de Globo como indicador de corrección real, se puede apreciar que solo en el mes de septiembre, los resultados se encuentran por encima del

límite medio esperado, es decir que la mayor parte de la estación de invierno, las viviendas tipo departamentos, no poseen una adecuada temperatura radiante media.

Figura 8. Humedad del Aire

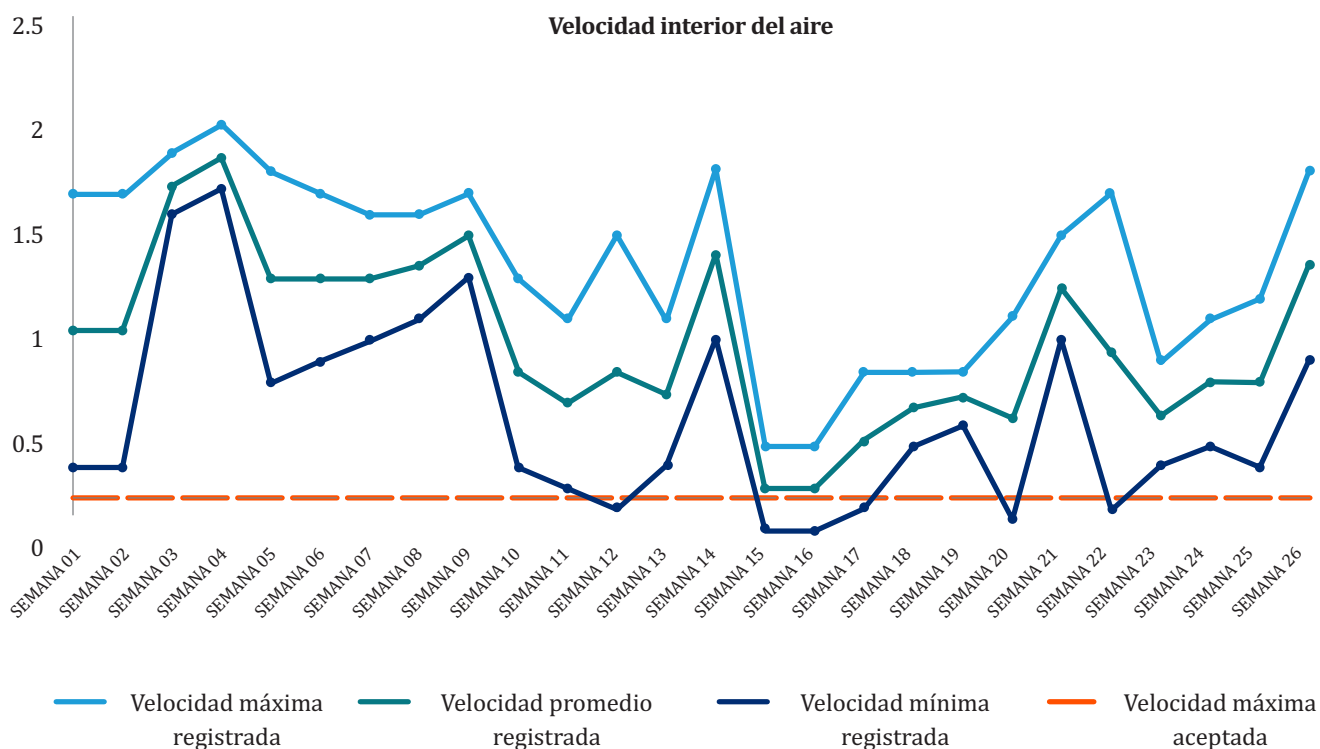


Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la humedad relativa media, sucede un fenómeno diferente al de la temperatura, donde los meses pico se encuentran en las semanas de octubre y noviembre, presentan altos

porcentajes de humedad, estos por encima de los límites admisibles y por el contrario en los meses de julio y agosto, los resultados muestran estar por debajo del límite mínimo requerido

Figura 9. Velocidad del Aire



Fuente: Elaboración propia.

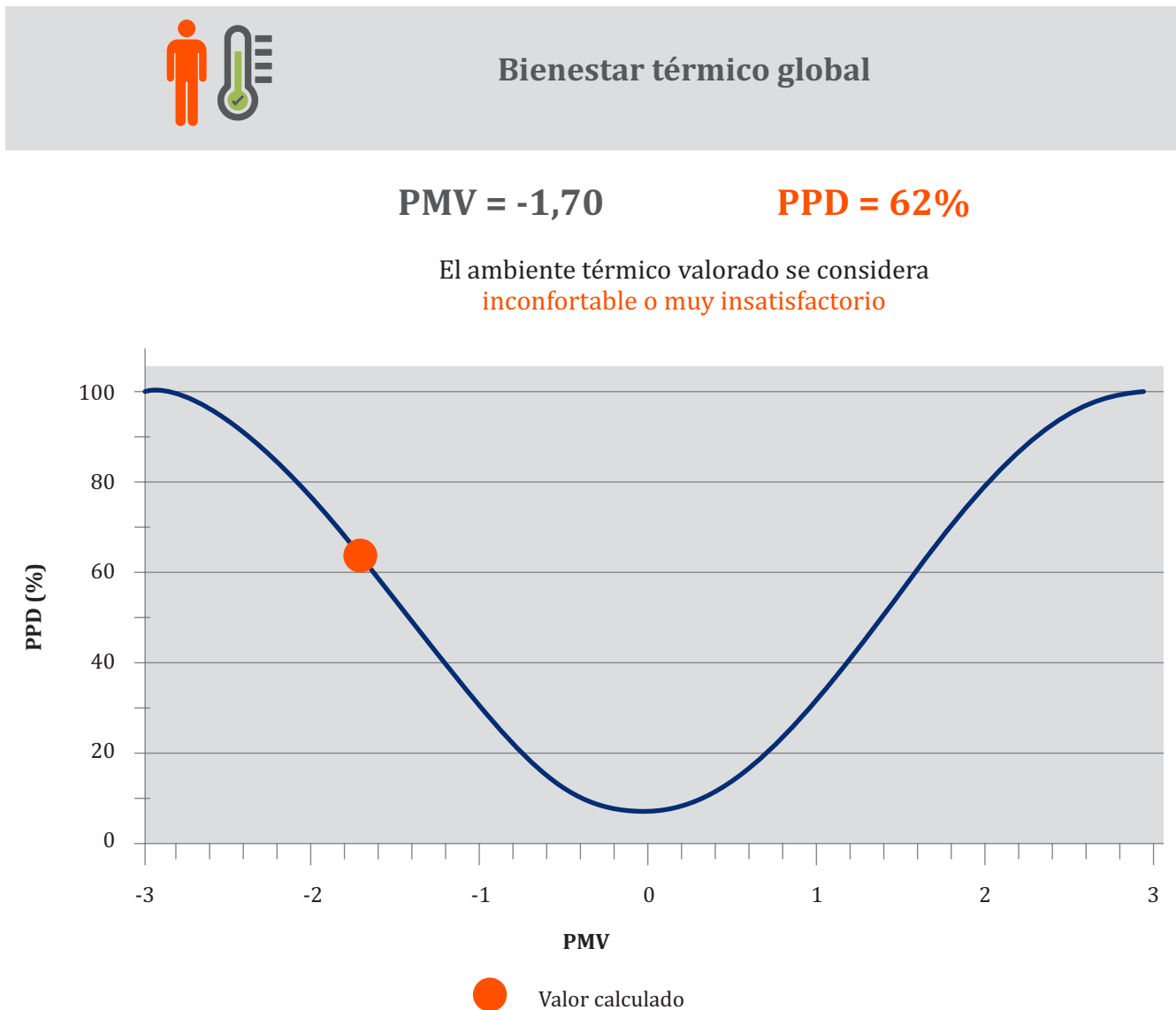
La velocidad del aire es una de las dimensiones donde se presentan mayores variaciones comparativas con los parámetros establecidos en el marco teórico, así el mes de agosto conocido como el mes de los vientos en el Cusco, es la temporada donde se presenta los más altos índices de velocidad del viento en ambientes interiores; esto quiere decir que principalmente las fachadas de las viviendas presentan ventanales que permiten el ingreso de corrientes de viento. Del mismo lado, la orientación de las fachadas o ambientes predominantes, son enfocados en dirección frontal hacia los vientos predominantes de la ciudad, esto quiere decir el incremento potencial de filtración de dichas corrientes de viento; con lo cual el confort térmico se ve dismi-

nuido sustancialmente. Este dato se incrementa en departamentos ubicados en pisos superiores; esto debido a la altura en la que se ubican.

Finalmente, del método adaptativo se desprenden los índices PMV y PPD que determina a menor sensación térmica (-1.70) por ende el Porcentaje Estimado de Insatisfacción (PPD) se eleva al 62%.

Esta sensación térmica no responde a la manifestación explícita de la opinión de los habitantes de las viviendas, sino a la codificación de sus prendas de vestir, actividad metabólica comparada con la temperatura del aire, la humedad, y la velocidad del aire.

Figura 10. Índice IMV y PPD



Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Según el modelo del método Fanger, las viviendas multifamiliares tipo departamento de la ciudad de Cusco, se encuentran por debajo de los límites admisibles de Confort térmico; de igual manera, aplicando el método adaptativo, confirmamos los resultados anteriores con un PMV = -17.94; esto quiere decir que el 100% de los usuarios manifiesta insatisfacción con el confort térmico de su vivienda. Ambos métodos confirman la hipótesis investigativa en

la que el diseño arquitectónico de dichos departamentos, no permite alcanzar el nivel de Confort Térmico adecuado para sus habitantes.

De los resultados encontrados, podemos concluir que, en la dimensión de temperatura media del aire, el promedio de las 26 semanas analizadas es de 13.3 °C muy por debajo del límite esperado que es 22° C. De la aplicación del termómetro de globo se pudo obtener la

temperatura radiante media que en los meses de octubre, noviembre y diciembre presentan los más bajos promedios, esto debido a las condiciones climatológicas estacionarias (lluvias).

Par la dimensión de Humedad Relativa, encontramos que el parámetro esperado para un buen confort térmico es del 50% mientras que, de las tomas realizadas en las viviendas, obtuvimos la Humedad mínima relativa es de 47.5% y la máxima de 69.1%; esto quiere decir que el promedio se encuentra dentro del límite

admisibles, mostrando un ligero aumento los meses correspondientes a lluvias.

Acerca de la velocidad del aire en los espacios interiores, el marco teórico y el consenso de los investigadores se encuentra en el rango de 0.25 m/s y 0.9 m/s; sin embargo, los departamentos analizados arrojan una velocidad media de 1.0 m/s con lo cual supera los límites admisibles y coadyuva al incremento de la insatisfacción del Confort Térmico en las viviendas estudiadas. ■



Foto de Renny Gamarra de Unsplash.

REFERENCIAS

- Ashare, American Society of heating. (1985). refrigerating and air - conditioning engineers. Atlanta: Handbook.
- Barrera , O. (2005). Introducción a una Arquitectura bioclimática para los Andes Ecuatoriales. Cataluña: Universidad Politecnica de Cataluña.
- Barrionuevo, R., & Espinoza, R. (2005). Edificaciones bioclimáticas en el Perú. Libro de Ponencias, Programa CYTED, (págs. 57-66). Lima.
- Bedford, T. (1936). The warmth factor in confort at work: A physiological study of heating and ventilation. Industrial Research Board.
- Blazquez, P. (03 de junio de 2018). El boom inmobiliario durará, al menos, hasta 2020. La Vanguardia.
- Brager, G., Paliaga, G., & De dear, R. (2004). Operable windows, personal control and occupant confort. Ashare Trans, 17-35.
- Bravo, G., & Gonzalez - Cruz, E. M. (2003). Confort térmico en el trópico húmedo: experiencias de campo en viviendas naturalmente ventiladas. ResearchGate.
- Cabrerizo Barrientos, B. (2012). Evaluación del confort térmico en viviendas con cerramientos de manposteria de ladrillo cerámico. Investigación & Desarrollo, 71-83.
- Castañeda Nolasco, G., & Ruiz Torres , R. P. (2013). Comportamiento y Confort Térmico de Vivienda en la Ciudad Rural Sustentable Nuevo Juan Del Grijalva, Chiapas, México. Research Gate.
- Chavez del Valle, F. (2002). Zona variable de confort térmico. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Covarrubias Ramos, M. (2012). Confort Térmico. Andalucía: Universidad internacional de Andalucía.
- Diario Gestión. (16 de Agosto de 2013). En Cusco se ha pasado del boom hotelero al boom inmobiliario. Gestión.
- Diario Gestión. (15 de 07 de 2015). Del surgimiento hasta el fin del 'boom' o la evolución del mercado inmobiliario en el Perú. Gestión.
- Fanger, O. (1970). Thermal Confort, "Analysis and applications in Environmental Engieneering". EE.UU.: McGraw- Hill.
- Filippin, C., & Flores , L. S. (2005). Comportamiento térmico de invierno de una vivienda convencional en condiciones reales de uso. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.
- Fondo Mi Vivienda. (2010). Estudio de mercado de la vivienda social en la ciudad de Cusco. Lima: Ministerio de Vivienda, Saneamiento y Construcción.
- Gelardi D., E. A. (2003). Docencia en arquitectura sustentable: Programa de optimización de proyectos de arquitectura basado en el balance térmico. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.
- Givoni, B. (1969). Man, Climate and Architecture. London: Elsevier Architectural Science series.
- Groat, I., & Wang, D. (2002). Architectural Research methods. Jhon Wiley & sons.
- Henriquez Cortez, C. (2014). El confort térmico en la vivienda social en Chile: Evolución histórica y posibilidades de introducción al diseño arquitectónico solar pasivo para su mejoramiento. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Hernandez Córdova, V. G. (2011). Estudio de confort térmico y ahorro energético en la vivienda de interes social tipo en el norte del país. Monterrey: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Hernández, A., & Lesino, G. (2014). Simulación mediante SIMEDIF del comportamiento térmico de un prototipo de vivienda liviana construido en la Universidad Nacional de Salta. INENCO.

- Humphreys, M. (1976). Field studies of thermal comfort compared and applied. *Building Research and Practice*.
- Humphreys, M., & Nicol, F. (1998). Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *Ashrae Transactions*, 991-1004.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del trabajo. (2007). *Confort térmico INSHT*. Andalucía: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del trabajo.
- Iturre Campiño, A. (2013). *Proyectar mejoras del confort térmico en la vivienda de interés social Buenaventura*. Santiago de Cali: Facultad de Artes Integradas - Escuela de Arquitectura.
- Larraga Lara, R., & Rivera Espinoza, R. (2016). *Arquitectura tradicional en Andes, Antioquia Colombia. Elementos para el apoyo a comunidades rurales*. I Congreso Online Internacional sobre Filosofía de la Sustentabilidad de Vivienda Tradicional "Transformando comunidades hacia el desarrollo local" (págs. 76-91). Málaga: Universidad de Málaga.
- Lozano, I. (28 de Febrero de 2018). *El sector inmobiliario camina hacia su recuperación*. La República.
- Mercado, V. M., Esteves, A., & Filippin, C. (2010). *Comportamiento térmico-energético de una vivienda social de la ciudad de Mendoza, Argentina*. *Ambiente Construido*.
- Mercados & Regiones. (2016). *Arequipa requiere 20 mil nuevas viviendas*. *Mercados & Regiones*.
- Mercados & Regiones. (2018). *Arequipa: ofertan 300 casas ecosostenibles que ahorran agua y energía eléctrica*. *Mercados & Regiones*.
- Ministerio de Trabajo y asuntos sociales de España. (1983). *NTP 74: Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación*. Madrid: Ministerio de Trabajo y asuntos sociales de España.
- Nicol, F., & Humphreys, M. (1972). *Thermal comfort as part of a self-regulating system*. Commission W45 Symposium.
- Ruiz Torres, R. P. (2007). *Estandar local de confort térmico para la ciudad de Colima*. Colima: Universidad de Colima.
- Solis Villafaña, L. A. (2015). *Evaluación del confort térmico de la vivienda rural sustentable en Carbonera, Queretaro*. Santiago de Queretaro: Centro de Investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada.
- Vigo, M. (2017). *Propuestas para el diseño urbano Bioambiental en Zonas Cálidas Semiáridas*. Secretaria de Ciencia y Tecnología.
- Zubiate, A. (20 de Mayo de 2015). *El boom inmobiliario y la supuesta burbuja inmobiliaria*. *Semana Económica.com*.

UNA PROPUESTA DE FOCALIZACIÓN EN TARIFAS ENERGÉTICAS: EL PROGRAMA ENERGIZAR

*AN ENERGY TARIFF TARGETING PROPOSAL:
THE ENERGIZAR PROGRAM*

Javier Papa ¹

Recibido: 23/02/2022 y Aceptado: 01/11/2022
ENERLAC. Volumen VI. Número 2. Diciembre, 2022 (28 - 53)
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Sir Manuel de Unsplash.

1 Escuela de Ciencia y Tecnología - Universidad Nacional
San Martín (UNSAM). Argentina
javierpapa@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0053-2472>

ma de bonificaciones de la tarifa de electricidad de un determinado porcentaje de la factura mensual, orientado a los hogares carenciados. Dicha bonificación se efectivizaría a través del uso de la Tarjeta Alimentar, para la compra de bienes y servicios de los hogares más pobres. Los potenciales ahorros en el consumo energético de los hogares podrían servir para acompañar variaciones estacionales y/o ser utilizados para la compra de otros bienes y servicios fomentado, de este modo, una mayor eficiencia energética.

Palabras claves: Energía, Focalización Tarifaria, Subsidios, Eficiencia y Equidad, Argentina

RESUMEN

El acceso a la energía, en este caso a un servicio eléctrico mínimo, se considera un derecho humano básico y así se consagra en la Constitución Nacional de algunos países. Los costos de la electricidad, constituyen con frecuencia una barrera que impide a los sectores más pobres acceder a servicios energéticos fundamentales. En Argentina, la variación y magnitud de los subsidios a la energía fue cobrando un peso cada vez mayor del presupuesto nacional llegando a representar el 2.8% del PBI en 2014. Como contracara de los sustanciales aumentos de tarifa generalizados a partir del 2016, el peso de estos subsidios se atenuó en términos del PIB, alcanzando un nivel de 1.1% del PIB en el 2019, aunque a partir de ese año la situación se revirtió llegando al 2.2% del PIB en el 2020, con un nuevo congelamiento tarifario. El objetivo de este artículo es plantear un mecanismo de subsidios focalizados que sea más eficiente (para reducir la carga sobre el fisco) y socialmente equitativo (para permitir a los consumidores sin recursos adecuados el acceso a un servicio eléctrico asequible). Combinando la política energética con las políticas sociales prevalentes en Argentina, se propone entonces instaurar el Programa Energizar consistente en un siste-

ABSTRACT

Access to energy, in this case to a basic electricity service, is considered a human right as established in most countries' National Constitution. High electricity costs are frequently seen as an obstacle to get energy access in the case of most vulnerable households. In Argentina, the size of energy subsidies has been growing up to 2.8% of GDP in 2014. The substantial increase in energy tariffs that has occurred since 2016 brought down the weight of such subsidies to 1.1% of GDP in 2019, though it went up again to 2.2% of GDP in 2020 vis-à-vis a reduction in the level of energy tariffs. The purpose of this paper is to put forward a new mechanism for subsidies focalization which is more efficient to reduce the burden on the national budget while, at the same time, is socially fair to allow low-income consumer access to a basic electricity service. Combining both energy policy and social policies in Argentina, the authors suggest the implementation of the so-called Programa Energizar, which would be made of a fixed discount out of the monthly electricity bill of most vulnerable households. Such a discount would become effective through the use of the existing Tarjeta Alimentar, which is oriented towards the purchase of goods and services

of low-income consumers. Any further saving in energy consumption could be used to smooth out seasonal variations in consumption and/or be used towards the purchase of additional goods and services, which would represent an incentive towards energy efficiency measures in vulnerable households.

Keywords: Energy, Tariff focalization, Subsidies, Efficiency & Equity, Argentina



Foto de Mika Baumeister de Unsplash.

INTRODUCCIÓN

El acceso a un servicio eléctrico mínimo se considera un derecho humano básico y así se consagra en la Constitución Nacional de algunos países. Los costos de la electricidad, constituyen con frecuencia una barrera que impide a los sectores más pobres acceder a los servicios de electricidad. Se requiere, entonces, proporcionar subsidios que permitan a los consumidores sin recursos adecuados, el acceso a un servicio eléctrico digno. La Agencia Internacional de Energía (IEA 2021) define un subsidio a la energía como cualquier medida gubernamental referida primariamente al sector energético que disminuya el costo de la producción energética, aumente el precio recibido por los productores de la misma o reduzca el precio que pagan los consumidores.

Para no desperdiciar recursos públicos o estimular innecesariamente el consumo, los subsidios deben ser focalizados, es decir, que deberían tener acceso a ellos solamente quienes realmente los necesiten. Se requiere, entonces, determinar quiénes deben acceder a los subsidios, lo que requiere estudios que permitan identificarlos, dar seguimiento a los subsidios otorgados e identificar posibles abusos para erradicarlos (Pinzón, 2015).

En algunos países, los subsidios dependen predominantemente del sitio donde vivan los receptores del subsidio; en otros, dependen del nivel de consumo mensual. Por lo general, también se subsidian los consumos en zonas no interconectadas o se suelen proporcionar subsidios a segmentos particulares de la población (jubilados, por ejemplo) o a algunos tipos de consumo eléctrico (por ejemplo, electricidad para irrigación o para agua potable).

La falta de actualizaciones tarifarias y la existencia de pérdidas no técnicas elevadas (robos de energía) constituyen formas opacas e ineficientes de subsidiar. En particular, la falta de

actualización y adecuación tarifaria proporciona subsidios generalizados y regresivos ya que se benefician más a quienes más consumen. Lo mismo podría afirmarse de rebajas impositivas a elementos de la cadena de suministro eléctrico.

Sería deseable que los subsidios tengan el menor impacto posible sobre las finanzas públicas. Por esta razón, son preferibles los subsidios de carácter solidario siempre que ello no afecte la competitividad de los sectores productivos¹. También sería deseable que las fuentes de financiamiento de los subsidios estén claramente determinadas para no afectar las finanzas de las empresas eléctricas y reducir así su capacidad para proporcionar un servicio adecuado.

El presente estudio realiza una revisión temática sobre la cuestión de los subsidios a la electricidad, analizando las características e impactos que estos pueden tener, se aborda luego el tema de las tarifas sociales de manera más específica, se muestran algunos ejemplos de implementaciones de subsidios y tarifas sociales en algunos países de América Latina para luego describir las experiencias recientes de tarifa social y tarjeta alimenticia, sobre las cuales se basa la propuesta de implementación del Programa Energizar de focalización en tarifas eléctricas. Para completar el análisis en un apéndice se presenta la experiencia de programas de facturación flexible basados en sistemas de pre-pago de la energía presentando los casos de Sudáfrica, Colombia y el piloto realizado por EDENOR en la República Argentina.

1 Con todo, hay que tener en cuenta que la Ley Eléctrica 24065 promulgada en el año 1992 y que dispuso las nuevas reglas de juego en el mercado eléctrico en la jurisdicción nacional establece que el marco tarifario debe ser justo y razonable, y en su artículo 44 afirma que “Ningún transportista ni distribuidor podrá aplicar diferencias en sus tarifas, cargos, servicios o cualquier otro concepto excepto que aquéllas resulten de distinta localización, tipo de servicios o cualquier otro distinguo equivalente que razonablemente apruebe el ente”.

CONSUMO RESIDENCIAL DE ELECTRICIDAD

Según datos de OLADE (2020), América Latina muestra un crecimiento del 29.6% del consumo residencial de electricidad en los últimos diez años. En el caso de Argentina el crecimiento fue del 26.4%. Sin embargo, en ambos casos dicho crecimiento se vio atenuado a partir del año 2016 debido a los aumentos tarifarios que tuvieron lugar y a la crisis económica que motivaron un uso más racional del recurso.

En América Latina, el consumo residencial tiene una participación promedio estable del 25%, dentro del consumo total de electricidad. En Argentina la participación es del 29%, en Brasil (22%), México (18%) y Chile (15%) (OLADE, 2020).

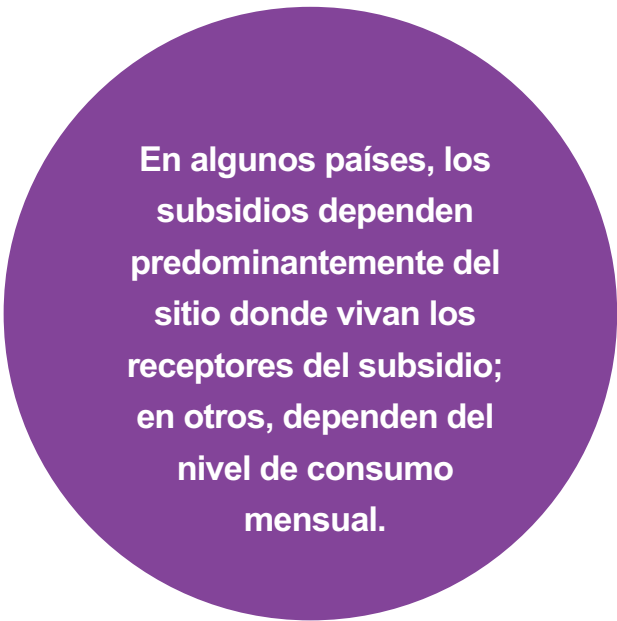
En términos del consumo residencial per cápita mensual se destacan Uruguay, Venezuela y Argentina con 104 kWh/mes, 92 kWh/mes y 84 kWh/mes respectivamente; Chile con 61 kWh/mes y Brasil con 54 kWh/mes se encuentran levemente por encima del promedio de la región el cual asciende a 49 kWh/mes, mientras que Colombia, México, Ecuador, Perú y Bolivia se encuentran por debajo del mismo.

COMPONENTES DE LAS TARIFAS

Las tarifas de usuarios residenciales atendidos por distribuidoras del servicio público de distribución constan de tres partes: energía y potencia (precio mayorista), componente de transmisión, componente de distribución (valor agregado de distribución). Estos componentes según la estructura tarifaria pueden trasladarse a los usuarios residenciales a través de cargos fijos, cargos por energía consumo, o ambos.

Las tarifas aplicables a los usuarios residenciales de cada país y en particular de la región de América Latina y el Caribe dependen de diversos factores tales como la composición de la matriz energética, los niveles de subsidios a los costos mayoristas, la forma de remunerar

los costos de transmisión y el valor agregado de la componente de distribución. Este último dependerá entre otros elementos de la densidad poblacional y características geográficas del área donde preste el servicio cada empresa hasta de la rentabilidad regulada que establezca cada organismo de control para las mismas. A su vez, la estructura tarifaria determina de qué forma y a través de cuáles cargos dichas componentes se transfieren al usuario y cuál es, si corresponde, la carga impositiva aplicable.



En algunos países, los subsidios dependen predominantemente del sitio donde vivan los receptores del subsidio; en otros, dependen del nivel de consumo mensual.

En la literatura sobre el tema de principios de tarificación, así como en las regulaciones de base de la mayoría de los países se establece que las tarifas deben ser justas y razonables para los usuarios y deben permitir que las empresas prestadoras del servicio obtengan una tasa de rentabilidad que les permita brindar el servicio de modo eficiente y eficaz, y a su vez, en muchos de ellos se prohíbe explícitamente el uso de subsidios cruzados (CEPAL, 2020).

En Argentina, la facturación está compuesta por un cargo fijo, y un cargo variable ambos en función de la energía mensual consumida. El impuesto al valor agregado es del 21% y según la jurisdicción, pueden agregarse tributos provinciales y municipales, los cuales ascienden

la carga impositiva a aproximadamente 32%. Además de la tarifa de uso residencial, existe la tarifa de uso residencial con tarifa social y tarifa de uso residencial de entidades de bien público. La Tarifa Social apunta a cuidar a los sectores más vulnerables otorgándoles un descuento en el costo del servicio. Desde el año 2019 y en virtud del Consenso Fiscal suscripto el 13 de septiembre de 2018 y aprobado mediante la Ley N° 27.469, cada jurisdicción define la Tarifa Social en función de las condiciones socioeconómicas de los usuarios residenciales. Los esquemas tarifarios varían entre las distintas jurisdicciones y mientras que, en algunas de ellas, las tarifas siguen bloques crecientes que benefician a los pequeños consumidores, en otras, los bloques introducen distorsiones ya que los consumidores menores enfrentan tarifas más altas.

Al respecto, la Corporación Andina de Fomento (CAF, 2018) destaca a la sustentabilidad, la eficiencia y la protección como los principios de la buena regulación tarifaria en los sectores de distribución de electricidad y gas.

TIPOS DE SUBSIDIOS A LA ELECTRICIDAD

Los subsidios pueden ser catalogados de distintos modos, según se intente identificar al beneficiario de los mismos, la forma en que se imputan, la fuente de financiación que los genera o el efecto que se persigue.

En función del efecto que tengan sobre el precio final del bien o del servicio considerado, los subsidios pueden ser directos o indirectos. Las transferencias financieras directas son los subsidios más simples, que buscan reducir el precio al consumidor en la tarifa del servicio o reducir la carga de los costos para el productor cada vez que se compra una unidad de energía. Estos subsidios tienen efectos medibles sobre los precios finales de los bienes, permitiendo establecer con mayor eficacia el impacto que generan en términos financieros (Banco Mundial, 2005).

De la misma forma, algunos beneficios en los regímenes impositivos pueden tomar la forma de exenciones de impuestos específicos o generar un saldo positivo bajo forma de crédito fiscal. El mismo criterio se aplica cuando se consideran instrumentos comerciales como tarifas, cuotas o restricciones.

IMPACTOS ECONÓMICOS DE LOS SUBSIDIOS

Más allá de todas las relaciones que puedan establecerse entre la eficiencia y la aplicación de los subsidios, su uso tiene efectos concretos y visibles sobre algunas variables macroeconómicas y sobre la distribución del ingreso.


Las industrias en red como la distribución de electricidad son propensas a la concesión de subsidios por la preponderancia de altos costos fijos, costos no atribuibles y la elevada intensidad de uso de capital y larga vida útil. Una proporción elevada de costos fijos significa que la fijación de precios sobre la base del costo marginal no permite necesariamente la recuperación total de los costos a corto plazo, lo que justifica la realización de transferencias oficiales, a la vez que una proporción elevada de costos no atribuibles incorpora considerable discreción en las asignaciones, lo que hace atractivo, en términos políticos, utilizar a las tarifas para financiar objetivos sociales. Además, la elevada intensidad del capital y su larga vida útil, incentiva a diferir los gastos financiando de manera insuficiente las operaciones en marcha y postergando las de mantenimiento, cuyo efecto negativo es gradual (Banco Mundial, 2005).

En lo que respecta a sus efectos distributivos, un subsidio al consumidor o productor tiene como efecto la reducción del precio de la electricidad, generando un consecuente aumento de demanda y, por lo tanto, cambios en la distribución de recursos en la economía. En el caso de un consumidor, se generan un efecto renta y un efecto sustitución ya que el individuo dispone, luego del cambio en los precios relativos, de un mayor ingreso que puede ser gastado en mayores

cantidades de otros bienes o del bien en cuestión (BID, 2006).

En el caso de los subsidios cruzados, la interacción de las elasticidades-precio de los grupos de usuarios implicados determinará el impacto distributivo total. En términos generales, el consumo del grupo subsidiado debería aumentar de acuerdo con su elasticidad mientras que la demanda del grupo que subsidia debería disminuir. Cuando los subsidios cruzados forman parte de un plan nacional para uniformar tarifas, también existen consideraciones distributivas en cuanto el costo de la electricidad difiera según la región y la facilidad con la que se acceda a ella.

En términos macroeconómicos, por lo general, los subsidios son transferencias que realiza el gobierno a partir de su presupuesto o de partidas específicas. Si la carga del subsidio aumenta el déficit presupuestario público, entonces habrá que ver como se está financiando y cuál es el costo que tendrá en el futuro. Independientemente de la fuente de financiación, la aplicación de este instrumento repercutirá de una forma u otra sobre el consumo, la inversión y el ahorro (BID, 2006).



**Las industrias en red
como la distribución
de electricidad son
propensas a la concesión
de subsidios.**

TARIFAS SOCIALES

Se entiende por tarifa social a los subsidios dirigidos mediante focalización explícita a ciertos sectores de la población con el objetivo de facilitar el acceso o consumo de ciertos servicios públicos que se consideran relevantes para su bienestar. Para simplificar la discusión, consideraremos que la población objetivo de estas tarifas sociales es un grupo de hogares que son considerados pobres. Ello supone poseer la necesaria capacidad de identificación de este grupo poblacional, es decir su focalización como grupo objetivo.

Focalización y errores de exclusión e inclusión

Un mecanismo de focalización consiste en un diseño administrativo que determina cuáles hogares son elegibles como beneficiarios de cierto programa en el que se enmarca una tarifa social. Consecuentemente, en este contexto sería deseable que un mecanismo de focalización identifique como beneficiarios a todos los hogares pobres y a ningún hogar no pobre. La implementación práctica de un mecanismo de focalización está sujeta a dos tipos de errores de clasificación: identificar como beneficiario a un hogar no pobre o identificar como no beneficiario a un hogar pobre.

Es decir que, para cuantificar la magnitud de estos errores de clasificación, se definen dos medidas: el error de inclusión, que es el porcentaje de no pobres en el total de beneficiarios, y el error de exclusión, que es el porcentaje de pobres que no son beneficiarios. El error de inclusión mide “filtraciones” de beneficios hacia hogares que no forman parte de la población objetivo, mientras que el error de exclusión es una medida de desempeño del mecanismo de focalización en términos de su eficacia en alcanzar a los hogares de esa población objetivo. Naturalmente, la elección de un mecanismo depende de sopesar los costos que estos errores de clasificación implican (sociales y políticos) a


la luz de los costos administrativos de implementar los distintos mecanismos de focalización (Banco Mundial, 2005).

En la práctica pueden diferenciarse dos tipos de mecanismos de focalización. Los mecanismos de selección administrativa se basan en atributos particulares para determinar si un hogar es o no beneficiario. La selección administrativa puede depender de una sola variable (por categoría, localización o composición del hogar) o múltiples (comprobación de medios de vida asociados al ingreso). El reto estriba en identificar la variable categórica que prediga adecuadamente la pobreza. A modo de ejemplo, los mecanismos de focalización geográfica utilizan criterios de localización para decidir quienes reciben subsidios (por barrios, ciudades, etc.). La focalización geográfica puede funcionar si los hogares pobres y no pobres habitan en zonas diferentes y sustituye al estatus del ingreso (Banco Mundial, 2005), pero no podría funcionar cuando ambos tipos de hogares habitan en una misma zona geográfica, cuya característica es la más predominante en los países de América Latina.

El otro mecanismo de selección administrativa se basa en la comprobación previa de medios de vida o ingresos, en donde la determinación de si el hogar es o no elegible para recibir el subsidio se basa, justamente, en comprobar la presencia de ciertas características del hogar o sus integrantes relacionadas con los ingresos familiares, pero cuya verificación sea más fácil o menos costosa que la verificación de esos ingresos (nivel educativo del jefe de hogar, características de la vivienda, etc.). Hay que tener en cuenta que la comprobación previa de los medios de vida, si bien es un mecanismo más eficiente, aumenta significativamente los costos administrativos y los errores de exclusión. (Banco Mundial, 2005).

Con frecuencia se ofrecen descuentos a hogares con pensionados, veteranos de conflictos bélicos, estudiantes o refugiados sin que se discrimine

si son pobres o no. Otro sustituto que se utiliza en ocasiones para dirigir los subsidios es el tamaño de los hogares, bien sea escogiendo familias grandes o pequeñas o suministrando descuentos mayores a familias numerosas.



Tarifa social = subsidios dirigidos mediante focalización explícita a ciertos sectores de la población con el objetivo de facilitar el acceso o consumo de ciertos servicios públicos que se consideran relevantes para su bienestar.

Otro tipo de mecanismo de focalización es el de los mecanismos de autoselección, donde el propio comportamiento o las decisiones de los hogares determinan si los mismos son beneficiarios o no. Por ejemplo, los mecanismos de focalización en base a umbrales de consumo son auto-selectivos, en el sentido de que son las propias decisiones de consumo del hogar las que determinan si este recibe un subsidio o no (por ejemplo, una tarifa menor si consume por debajo de cierto umbral) (Banco Mundial, 2005).

Permitir a los hogares seleccionar ellos mismos el sistema de subsidio escogiendo un nivel de servicio, puede ser un enfoque alternativo de focalización. Las modificaciones más prome-

tedoras son las que implican una transición de tarifas basadas en consumo, en la cual se subsidia parte del consumo de todos los consumidores, a una tarifa basada en volumen, en la cual se subsidia exclusivamente a los hogares cuyo consumo es menor a un cierto umbral (Banco Mundial, 2005).

El diseño de un esquema particular de tarifa social implica definir un mecanismo de focalización, como los discutidos en los párrafos anteriores, y determinar la estructura de subsidios y su correspondiente financiamiento. Para evaluar comparativamente el impacto distributivo de distintos esquemas de tarifa social, es necesario contar con una medida del subsidio (positivo o negativo) que recibe cada hogar bajo cada alternativa.

La focalización sobre la base de las cantidades consumidas construida en torno a la estructura tarifaria por bloques crecientes de consumo, es el enfoque más común en la concesión de subsidios y es, por lo general, regresiva (pues beneficia relativamente menos a los pobres) a causa de la débil relación entre consumo e ingresos y de las consabidas dificultades de acceso a los servicios de los sectores de la población con menores ingresos. Bajar el umbral del subsidio es la solución más común que se plantea, lo que significa reducir el tamaño del primer bloque de la tarifa y restringir el subsidio a ese bloque únicamente. Aunque lo cierto es que los segmentos más pobres tienden a utilizar dispositivos electrodomésticos ineficientes que demandan mayores cantidades de energía pero que resultan más baratos al momento de su adquisición.

Son considerables las ganancias en cuanto a progresividad cuando se utiliza la focalización administrativa sobre la base de estrategias de comprobación previa de medios de vida, en particular cuando se compara con estrategias simplistas tales como la basada en umbrales de consumo. Sin embargo, esto plantea un enorme desafío para la adopción de esquemas de tarifas

sociales, ya que los logros en términos de mejoras de bienestar dependen de una adecuada implementación, lo cual, a la luz de estos resultados, requiere un esfuerzo considerable en términos de focalización. El esfuerzo no se limita al diseño en sí del mecanismo, sino también a los costos administrativos asociados a la implementación de este tipo de instrumentos de focalización (Banco Mundial, 2005). Cabe destacar que iniciar la focalización tarifaria procurando identificar hogares de ingresos altos resulta operativamente más complicado debido a la confidencialidad de los nuevos datos a conseguir además que puede contribuir a incrementar los errores de exclusión mientras que identificar a los hogares de ingresos más bajos, por ejemplo, a través de información ya existente proveniente de bases de datos de beneficiarios de programas sociales puede resultar es más factible de implementar además de reducir tales errores de exclusión. En esta última opción se basa el Programa que se propone en el presente documento.

La focalización es fundamental para “encontrar” aquellos que deben ser beneficiarios, de manera tal de dirigir los subsidios estatales destinados al beneficio en su totalidad hacia quienes lo necesitan y evitar dispendios de fondos públicos. También es necesaria para evitar el otorgamiento de subsidios, pagados por todos los ciudadanos, a personas que no lo necesitan. Siguiendo ese razonamiento, resulta necesario que la Tarifa Social contemple como destinatario principal a los hogares o familias y no únicamente a los titulares, considerando la situación de todos los habitantes del mismo y la cantidad de personas que allí viven, puesto que el consumo de electricidad se encuentra estrechamente vinculado a la cantidad de usuarios y las características de la vivienda.

En vista de la experiencia internacional, parece viable la posibilidad de adoptar una estrategia más amplia de políticas sociales, en la que los costos elevados de detectar con más precisión a los hogares más necesitados puedan compartir-

se entre varios programas del gobierno, lo cual también habla de la necesidad de evaluar a las tarifas sociales en un marco más general de políticas públicas.

Como se ve, la implementación y posterior evaluación de un esquema de tarifas sociales requiere cotejar una multitud de dimensiones tecnológicas, financieras, sociales y políticas. Para que la implementación de una tarifa social sea exitosa, será necesario no sólo definir claramente el alcance y fin de la misma, su fuente de financiación y el marco de distribución respectivo, sino también minimizar los costos de transacción existentes.

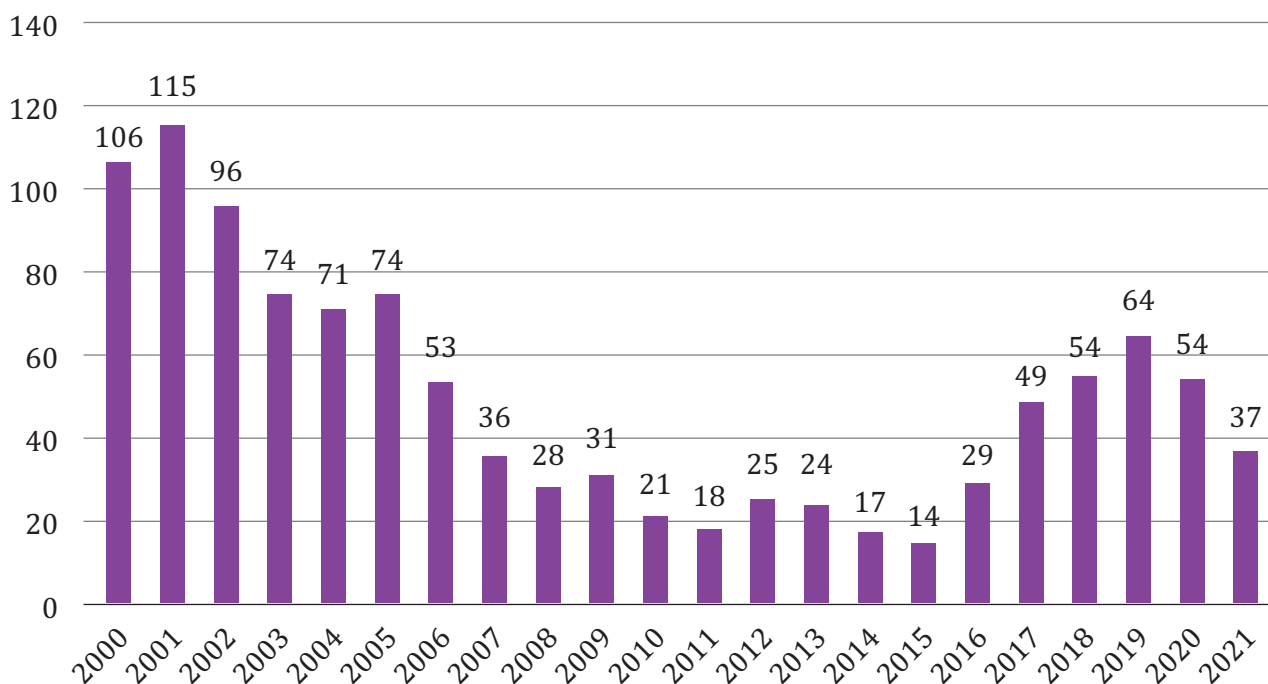
Mecanismos de financiación de las tarifas sociales

Se pueden considerar 3 tipos de mecanismos de financiación de los subsidios: (i) las transferencias de fondos públicos (que pueden socavar los incentivos pues pueden ser absorbidos por las ineficiencias de las empresas), (ii) los subsidios cruzados entre grupos de consumidores (que pueden crear distorsiones en la fijación de precios) y (iii) los subsidios sin financiación (que conllevan el agotamiento del stock de capital y el consiguiente deterioro en la calidad del servicio y la menor ampliación de la cobertura del servicio).

BREVE ANÁLISIS DE LOS ESQUEMAS DE TARIFA SOCIAL VIGENTES EN ARGENTINA

Tomando como referencia información de CAMMESA (2022), para fines del año 2015, los usuarios del sistema eléctrico pagaban el 13.8% del costo promedio de generación de la energía que consumían, el restante 86% era subsidiado por el Estado Nacional. Más recientemente, para fines del 2021, y luego de varios intentos de adecuación tarifaria en el ínterin, los usuarios del sistema eléctrico pagaban el 36.8% del costo promedio de generación de la energía que consumían.

Figura 1. Costo de generación eléctrica pagado por la demanda [%]



Fuente: CAMMESA, 2022.

En relación a las finanzas de los hogares y partiendo desde el 2001, las tarifas de electricidad representaban un peso cada vez menor del presupuesto familiar llegando a valores mínimos en el año 2015 (Juárez, 2019). En efecto, en el año 2004 el porcentaje que las familias destinaron al pago de los servicios fue del 2.6% de sus ingresos, mientras que en el año 2015 un hogar promedio destinaba el 0.7% de sus ingresos al pago de sus consumos de energía eléctrica y gas. No obstante, la situación se revirtió a partir del 2016 con los aumentos tarifarios que tuvieron lugar a partir de ese año. En efecto, a partir de información proveniente de la Encuesta Nacional de Hogares (ENGHO), Balestro y Margulis (2020) encontraron que la incidencia del gasto en electricidad sobre el gasto total de los hogares (total nacional) subió al 2.2% para el periodo 2012/13 y al 5.3% para el periodo 2017/18.

En diciembre del 2015, el gobierno de turno declaró la emergencia en el sector eléctrico

nacional², lo que motivó la implementación de la Resolución del entonces Ministerio de Energía y Minería N° 7/2016 que estableció un régimen tarifario de transición y la implementación de un Régimen denominado “Tarifa Social”³, con la intención de morigerar el impacto de los incrementos sustanciales de las tarifas en los grupos más vulnerables.

Para el año 2015, los dos deciles más ricos de la población acumulaban el 21.1% de los subsidios al consumo eléctrico, mientras que el 20% más pobre acumulaba el 18.3%, esto indica que el esquema tarifario vigente hasta el año 2015 estaba distribuido en forma relativamente equitativa, aunque no se concentraba, en términos absolutos, en los estratos de la población con menos recursos (Juárez, 2019). Lamentablemente

2 <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/255000-259999/256978/norma.htm>

3 <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/255000-259999/258214/texact.htm>

no se disponen de mediciones recientes que permitan actualizar este tipo de información y comparar su evolución más reciente.

Así mismo, la magnitud de los subsidios a la energía fue cobrando un peso cada vez mayor del presupuesto nacional llegando a representar el 2.8% del PBI en 2014, superando en un 14% el déficit primario de 2014 y alcanzando el 67% del déficit financiero de la administración pública nacional en dicho año. Como contracara de los sustanciales aumentos de tarifa generalizados antes mencionados, a partir del 2016, el peso de estos subsidios se atenuó en términos del PIB, alcanzando un nivel del 1.2% en el 2017, 1.3% en el 2018, y 1.1% del PIB en el 2019, aunque a partir de ese año la situación se revirtió llegando al 2.2% del PIB en el 2020.

Esquema tarifario en la Argentina

En Argentina, la factura de electricidad tiene tres componentes principales, y de la suma de esos tres componentes surge la tarifa final a pagar por el usuario:

Precio Mayorista de la Energía: Es el precio que paga el Distribuidor en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) para adquirir la energía que utilizará para proveer del servicio de electricidad a todos sus usuarios. El Estado Nacional determina semestralmente el precio promedio de generación (similar para todos los usuarios del país). La diferencia entre el costo real de generación de la energía y el precio promedio que pagan las distribuidoras para brindar el servicio residencial es solventada con fondos públicos. En el caso de la tarifa social esa diferencia es aún mayor.

Valor Agregado de Distribución (VAD): Se relaciona con los costos de las distribuidoras para llevar la electricidad a sus clientes y varía según la categoría tarifaria

en la que se encuentre el usuario de acuerdo a su consumo. Es definido por los Entes Reguladores Provinciales y el ENRE en su área de competencia.

Impuestos: Las distribuidoras son agentes de retención de impuestos nacionales, provinciales y eventualmente de tasas municipales.

Existen numerosas maneras de efectivizar el subsidio, a través de descuentos en la factura (Tarifa Social Provincia Santa Cruz, Corrientes y Salta), del otorgamiento de bloques de energía gratuito o combinado con bloques de energía gratuito con descuentos proporcionales para los consumos subsiguientes, o a través de transferencias monetarias directas a los beneficiarios.

Las transferencias monetarias focalizadas no asignadas a fines específicos pueden distorsionar las decisiones sobre consumo de los hogares, al no relacionar el consumo de energía al subsidio que se recibe. Además, resultan difíciles de ser implementadas debido a que los aumentos en la factura de servicios públicos pueden ser superiores a la transferencia en efectivo de la compensación, por lo que este sistema no resulta ser el más adecuado para subsidiar el servicio de electricidad.

Considerando que las facturas tienen un componente que es dispuesto por cada Provincia, un componente fijado por el Estado Nacional, e impuestos dirigidos a organismos recaudadores nacionales, provinciales y a municipios, resulta dificultosa la implementación de descuentos en las facturas, puesto que debería coordinarse con diferentes organismos para transferir los subsidios, en cambio al considerar en el beneficio al precio mayorista, se produce un descuento automático a la Distribuidora cuando adquiere la energía en el mercado mayorista, debiendo el Estado Nacional dirigirse únicamente a dicho mercado para realizar las compensaciones pertinentes.

Implementación de la Tarifa Social

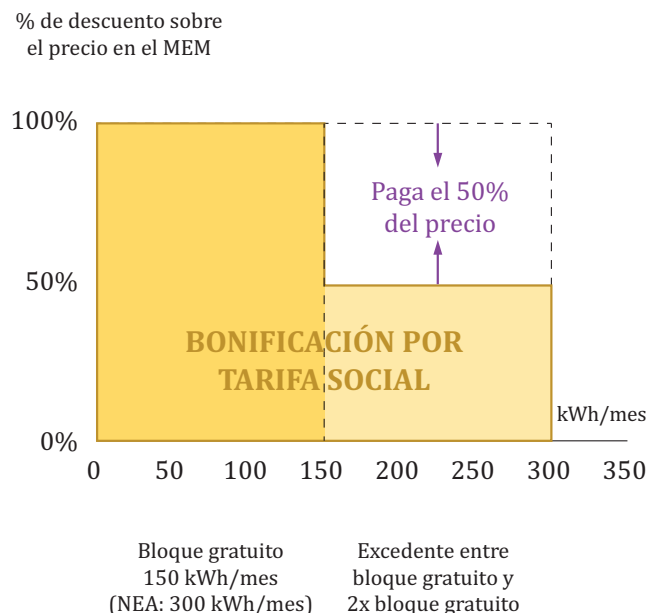
La tarifa social federal implementada en 2016 tuvo como principal finalidad, además de mitigar los efectos económicos que pudieran producir los aumentos de las tarifas en los usuarios más pobres, el de redireccionar los aportes del Estado Nacional, que estaban dirigidos a todos los usuarios, pero beneficiaban en mayor medida a los sectores más acomodados (medios y altos), hacia sectores de la población considerada vulnerable. Sin embargo, los resultados fueron opuestos a los esperados: mientras que los dos deciles de mayores ingresos recibieron más del 30% de los subsidios, los hogares de los dos deciles de menores ingresos absorbieron apenas un poco más del 10%.

En Argentina se decidió por el sistema de bloques de consumo gratuito combinado con bloques con descuento. Se dispuso un sistema compuesto por la bonificación del precio mayorista de la energía de un bloque de 150 kWh/mes, considerando dicha cantidad como el promedio de consumo de electricidad de una familia tipo (MINEM, 2018) que cuenta con servicio de gas natural de red (para las Provincias que no cuentan con dicho servicio se otorgó un bloque gratuito de energía de 300 kWh) para luego aplicar sobre el consumo excedente precios descontados (*allowances*) que paulatinamente convergieran a un único precio⁴.

Los usuarios que lograran una reducción en su consumo de 20% o más (respecto del mismo período del año 2015) obtendrían un descuento del 10% sobre el precio estacional.

4 Véase: Resolución MEyM N° 111/16 aplicable a las Provincias de Misiones, Chaco, Formosa y Corrientes: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/260000-264999/262394/norma.htm>

Figura 2. Esquema de bonificación de la Tarifa Social



Fuente: MEyM (2017)

A partir de la implementación del mecanismo de Tarifa Social, el Estado Nacional tomó a su cargo la compensación de las diferencias que surgían por la adquisición por parte de las Distribuidoras de la energía en el MEM y lo que pagaban los usuarios beneficiarios en su tarifa final (diferencia entre el precio estacional de la energía que pagaba la oferta y la que pagaban los beneficiarios en su factura final).

Sin embargo, cuando se avanzó con el Consenso Fiscal aprobado por la ley 27.469 se estableció que los costos de la aplicación de la Tarifa Social serían asumidos por las Provincias a partir del 1 de enero de 2019. El Estado Nacional a partir de dicha fecha, dejó de financiar la Tarifa Social y son las Provincias quienes pueden definir los montos a reconocer, la fuente de financiamiento y, sobretudo el mecanismo de asignación, que puede ser redefinido a partir de las particularidades locales, lo cual agregó mayor complejidad al esquema de coordinación tarifaria federal.

Mecanismos de asignación de la Tarifa Social

Los criterios de elegibilidad en la tarifa social se basaron en identificar jubilados, monotributistas, beneficiarios de pensiones que no superen dos salarios mínimos, titulares de programas sociales y regímenes especiales, excluyéndose a titulares de más de un inmueble, de automóviles de hasta 10 años de antigüedad o de embarcaciones de lujo o aeronaves. Además, se estableció un sistema de comprobación previa de los medios de vida y se utilizó el mecanismo de georreferenciación para identificar áreas de bajos recursos en barrios populares u hogares con necesidades básicas insatisfechas⁵.

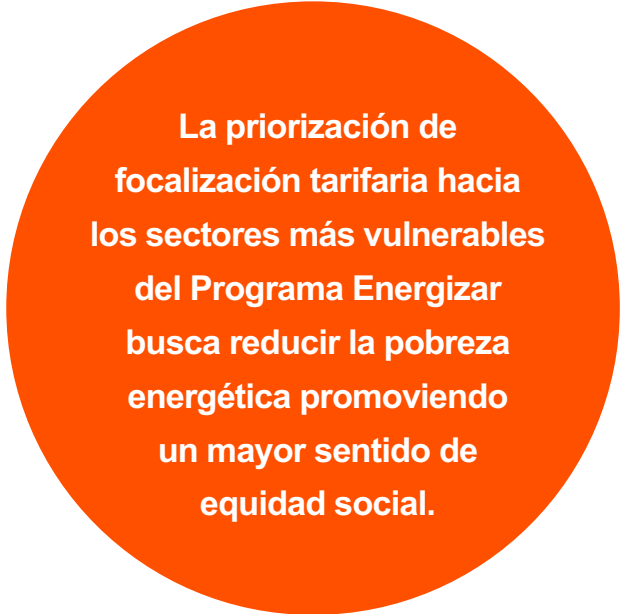
Para el mes de marzo de 2019, el ENRE registró un total de 1.186.227 usuarios residenciales de EDENOR y EDESUR beneficiarios de Tarifa Social, sobre un total de 4.823.645, lo que representa el 24.6% del total de los usuarios residenciales de las Distribuidoras. La Ciudad de Buenos Aires tiene 1.494.028 usuarios, de los cuales 154.059 son beneficiarios de la Tarifa Social, lo que representa un 10.3% del total. Por otro lado, la Provincia de Buenos Aires tiene 3.329.617 usuarios, de los cuales 1.032.168 cuentan con el beneficio de Tarifa Social, es decir, el 31% de los usuarios de electricidad de la Provincia de Buenos Aires cuentan con Tarifa Social. El 87% de la totalidad de la Tarifa Social corresponde a usuarios del AMBA (Área Metropolitana de Buenos Aires, Provincia de Buenos Aires).

Alcances y limitaciones de la Tarifa Social en urbanizaciones informales

Giuliano, F., Lugo, M.A., Masut, A. y Puig, P. (2020), analizaron los efectos distributivos de la reducción de los subsidios energéticos en Argentina desde 2016 utilizando datos de encuestas y registros administrativos del AMBA. En el ejer-

cicio realizado consideraron la presencia de la Tarifa Social, por lo que analizaron qué tan bien la focalización funcionó. Hallaron que la tarifa social es relativamente favorable a los pobres, con una cobertura significativamente mayor entre los hogares más pobres, sin embargo, también encontraron que hay algunos errores de exclusión en los deciles de bajos ingresos y grandes errores de inclusión en los deciles de ingresos medios y altos, por lo que sugieren trabajar en reducir los errores de inclusión y exclusión. Para ello, se debe revisar la población objetivo con base en la identificación de aquellos hogares que realmente necesitan el apoyo y maximizar la precisión de la focalización mediante la aplicabilidad de los criterios de elegibilidad bien enfocados. Así mismo, el estudio mostró que la incidencia distributiva del subsidio no parece haber cambiado sustancialmente.

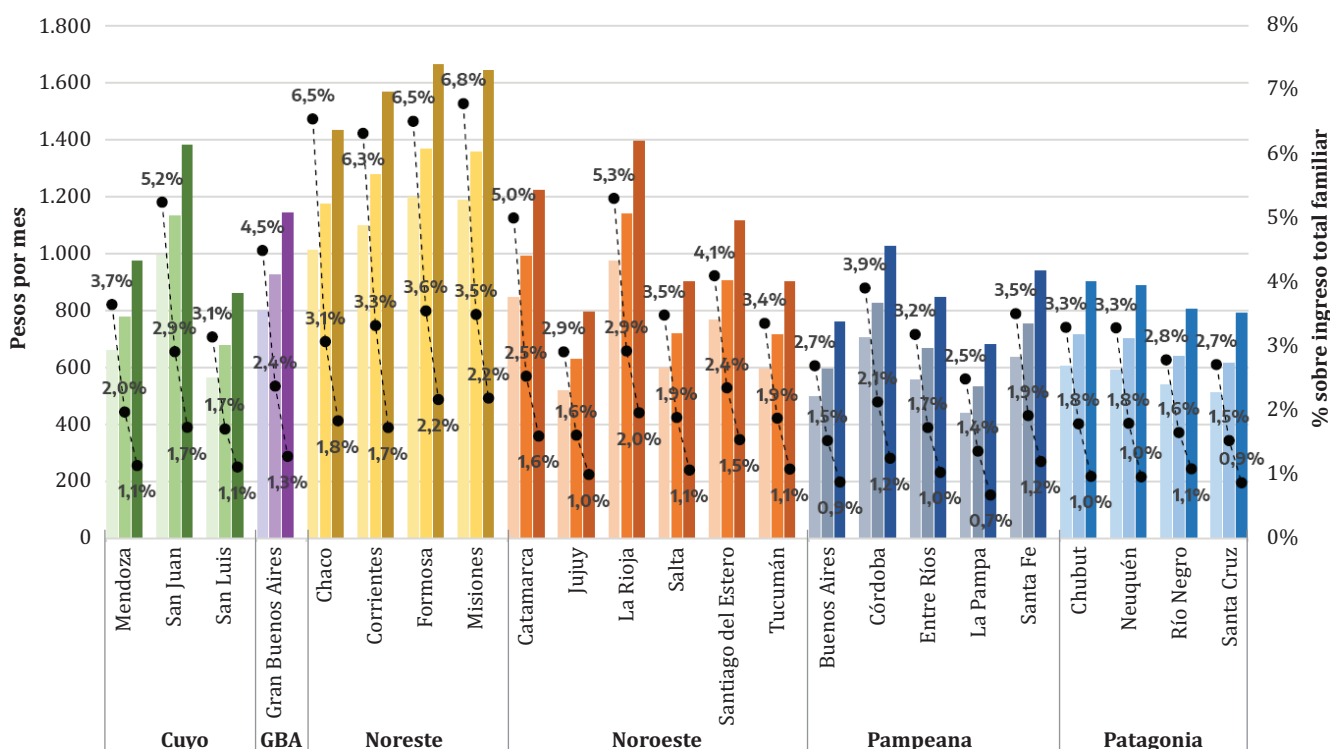
Extendiendo el trabajo previamente citado a las provincias argentinas, y separando a los hogares en 3 grupos de ingreso; el grupo de ingresos bajos (deciles 1 a 4), de ingresos medios (deciles 5 a 7) y el de altos ingresos (deciles 8 a 10) se puede observar el subsidio eléctrico mensual estimado por hogar promedio y el porcentaje del ingreso familiar del gasto en electricidad según las categorías de ingreso utilizadas por provincia.



La priorización de focalización tarifaria hacia los sectores más vulnerables del Programa Energizar busca reducir la pobreza energética promoviendo un mayor sentido de equidad social.

⁵ Para mayor información puede consultarse: <https://www.argentina.gob.ar/enre/tarifa-social>.

Figura 3. Subsidio eléctrico mensual estimado y porcentaje del ingreso familiar del gasto en electricidad (eje izq.) por hogar promedio por categorías de ingreso y provincia, (AR\$ por mes y %)



El color menos intenso para cada región representa a los ingresos más bajos, mientras que el más intenso a los ingresos más altos.

Fuente: Elaboración propia en base a SE (2020).

Se concluye que la asignación de subsidios eléctricos se concentra en los principales centros de consumo por contar con mayor población, lo que significa que la participación de cada tipo de hogar (decil de ingreso) en los subsidios estaría fuertemente relacionada con la cantidad de hogares de cada estrato. Ello se debe a que los mecanismos de asignación del subsidio no contemplan una distinción de acuerdo al nivel de ingresos de los hogares. Ambos estudios citados no contemplan un análisis más micro en el que se consideren las características de las conexiones a la red eléctrica ni patrones de consumo de energía de los hogares carenciados.

Según el Relevamiento de Asentamientos Informales, realizado por la Organización Techo

Argentina (2018) a nivel nacional al año 2016, hay un total de 3.968 asentamientos y villas, con 828.000 familias. Así mismo, en todo el territorio nacional el 59% de los asentamientos informales cuenta con la mayoría de sus familias conectadas de forma irregular a la red pública de energía eléctrica, lo que comúnmente se denomina como hogares ‘enganchados’ a la red. El 32% de los barrios cuenta con acceso formal a la red pública de energía eléctrica con medidor domiciliario en la mayoría de sus hogares, lo que implica poseer un medidor en cada hogar, recibir y pagar la factura eléctrica, al igual que en los barrios formales. En el 5,5% de los barrios, la principal fuente de energía eléctrica es la red pública con medidor comunitario o social, es decir, un medidor compartido por varios hogares. Y, finalmente, el resto de los

casos no cuenta con información, tiene otra condición o no cuenta con energía eléctrica. Por otro lado, en la provincia de Buenos Aires existen alrededor de 1.435 barrios informales, donde viven 426.688 familias. Del total de barrios, un 59% presentan conexiones irregulares al servicio de energía eléctrica, un 6% cuenta con medidores comunitarios y un 34% con medidores individuales (Techo, 2018).

Por su parte, la conjugación de un parque de electrodomésticos de baja eficiencia (por

antigüedad o por tipo de tecnología) y la dependencia absoluta hacia la energía eléctrica (por la falta de redes de gas natural) resulta en elevados consumos eléctricos en los grupos más vulnerables, refutando la supuesta correlación lineal y positiva entre mayores ingresos y mayores consumos. Dicho problema redundará en facturas abultadas y en la saturación de las redes de distribución, lo cual retroalimenta las problemáticas de acceso a la energía, dando lugar al concepto de pobreza energética (Dehays y Schuschny, 2018).

Tabla 1. Determinación del consumo base de 150 kWh/mes para la Tarifa Social Federal

Ítem	Potencia (W)	Cantidad	Horas/día	Número días/mes	Consumo kWh/mes)
Lamparitas de luz	40	5	4	30	24
Lavarropas semi automático	200	1	2	20	8
Televisor 20"	150	1	3	30	14
Computadora	200	1	3	20	12
Radio/reproductor	60	1	4	30	7
Estufa a cuarzo	1200	1	0,5	10	6
Ventilador	100	2	2	10	4
Heladera	150	1	12	30	54
Aire acondicionado (2200 frig.)	1350	1	0,4	10	5
Microondas	800	1	0,5	20	8
Plancha/licuadora	800	1	1	10	8
Total					150

Fuente: Ex Ministerio de Energía y Minería (2018)

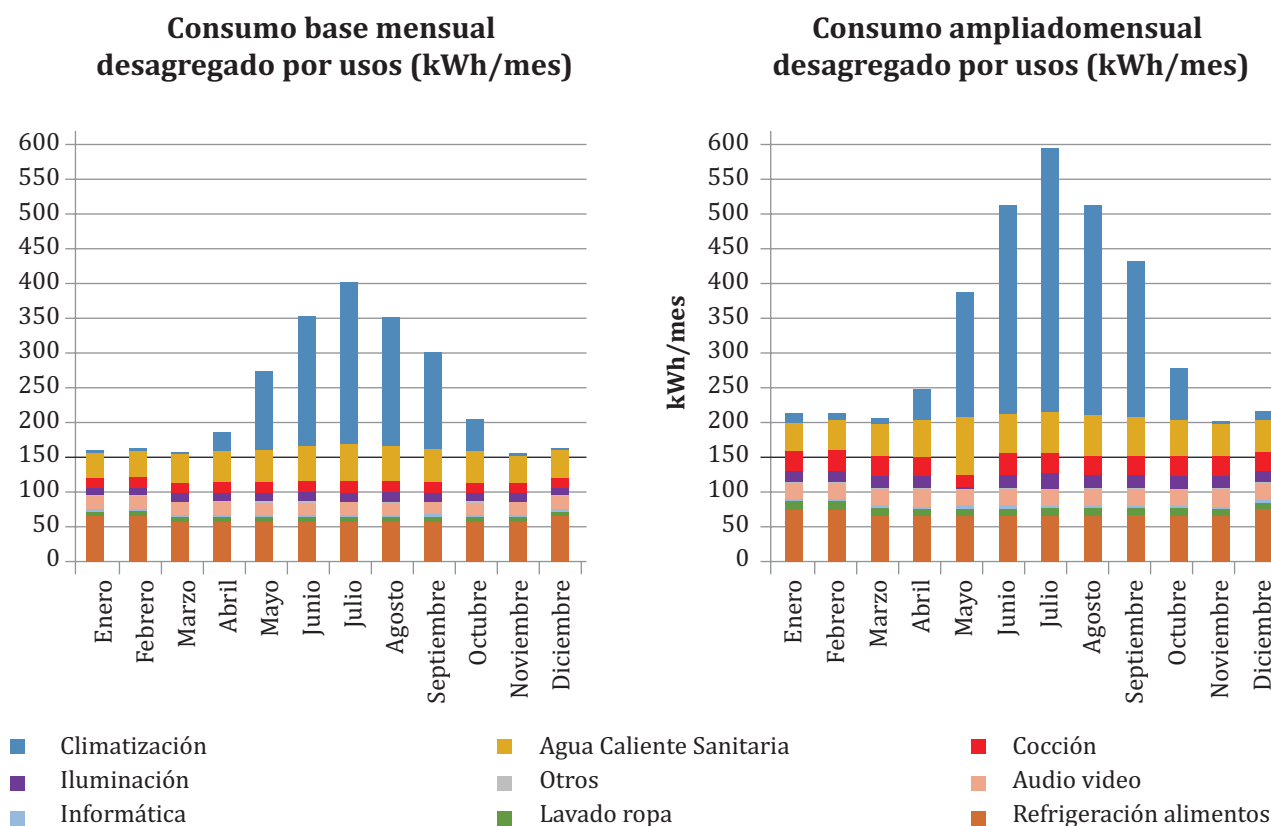
Con un mayor nivel de detalle, si analizamos la estimación realizada por el entonces Ministerio de Energía y Minería (MINEM, 2018) del bloque gratuito de 150 kWh/mes, es posible verificar una subestimación de los requerimientos de climatización pues se considera la utilización de una estufa de cuarzo de 1200 W,

encendida 10 días/mes durante 30 minutos/día; y un equipo de aire acondicionado de 1350 W, encendido 10 días/mes durante 24 minutos/día (ver tabla). Estos valores resultan insuficientes para garantizar la satisfacción del confort interior de una vivienda durante la época invernal/estival.

A través de la realización de una encuesta en urbanizaciones informales de la ciudad de La Plata, Chévez, P., San Juan, G. y Martini, I. (2019) analizaron los alcances de la Tarifa Social, y estimaron la curva de carga anual de los hogares carenciados tomando en cuenta la estacionalidad climática bajo la hipótesis de que únicamente cuentan con el suministro eléctrico para resolver

sus principales usos finales de calefacción y aire acondicionado, y considerando dos hipótesis de equipamiento domiciliario ('Consumo base' o 'Consumo ampliado') (ver figura). Los autores de este trabajo concluyeron que sería necesario incorporar una bonificación móvil según el mes del año y que, de esta forma, contemple la estacionalidad climática (ver figura).

Figura 4. Consumo promedio mensual de la muestra encuestada, desagregada por usos finales de energía para una situación de 'consumo base' y 'consumo ampliado'.



Fuente: Chévez, P., San Juan, G. y Martini, I. (2019).

Según los autores, las viviendas en urbanizaciones informales 'consumo base' tienen una media de consumo de 8105 kWh/año; las viviendas en urbanizaciones informales 'consumo ampliado', unos 9267 kWh/año y las viviendas con conexión regular a las redes eléctricas y de gas natural, unos 15675 kWh/año, lo que muestra claras desigualdades en la demanda de energía según

el caso. Por lo tanto, los autores del relevamiento consideran que el bloque gratuito, además de tener que ser diferente para cada mes del año, debería ser superior a los 150 kWh/mes que considera la Tarifa Social Federal y que, en promedio, serían necesarios unos 240 kWh/mes y 340 kWh/mes, los casos de 'Consumo base' y 'Consumo ampliado' respectivamente.

Según Urbiztondo, Navajas y Barril (2020), una tarifa social bien diseñada es aquella en la que el grupo objetivo se selecciona en función de información objetiva sobre su condición de bajos ingresos, y luego la asistencia pública se proporciona en forma de transferencias de suma global que dejen intactas las señales de precios para que las decisiones de consumo sean eficientes. La tarifa social existente reduce efectivamente el precio mayorista pagado por la electricidad a alrededor del 30% de los usuarios de bajos ingresos: el costo mayorista de la energía para los usuarios objetivo es de 100% subsidiado por los primeros 150 kWh/mes consumidos, y 50% para los adicionales 150 kWh/mes consumidos. Según los autores, este diseño no es correcto, no en lo que respecta a su focalización sino porque subsidia la energía al por mayor en lugar de los cargos de distribución y porque distorsiona pagos variables en lugar de fijos (induciendo decisiones de consumo incorrectas). Por este motivo, Urbiztondo, Navajas y Barril (2020) proponen eliminar la tarifa social actual y reemplazarla por una suma fija transferida a la población objetivo. Así, los usuarios residenciales de bajos ingresos pertenecientes a los tres deciles más bajos, recibirían un reembolso o descuento global en sus facturas mensuales independientemente de su nivel de consumo.

La Tarjeta Alimentar

La Tarjeta Alimentar⁶ es una prestación de alcance nacional que tiene como objetivo mejorar la calidad de la alimentación de las familias vulnerables garantizando derechos para la primera infancia al mejorar el poder de compra de las familias, además de movilizar el comercio y la producción local de los alimentos.

La Tarjeta Alimentaria no suplanta a la Asignación Universal por Hijo ni a ninguna política existente. Su implementación depende del Ministerio de Desarrollo Social de la Nación

6 <https://tarjetaalimentaria.argentina.gob.ar/>

(MDS), dentro del marco del Plan Argentina contra el Hambre. Solo puede ser usada para la compra de alimentos de la canasta básica. El sistema está orientado a personas que cobren la Asignación Universal por Hijo con hijas e hijos de hasta 6 años inclusive, embarazadas a partir de los 3 meses que cobren la Asignación por Embarazo para Protección Social y personas con discapacidad que cobren la Asignación Universal por Hijo, sin límite de edad.

Para acceder al sistema, la Tarjeta Alimentar es entregada por el Gobierno nacional en diferentes etapas en todo el país y no es necesario tramitar la tarjeta porque su implementación es automática, cruzando bases de datos del ANSES y de la Asignación Universal por Hijo. El ANSES notifica al titular que está en condiciones de retirar su tarjeta por el banco que determine cada provincia. Las notificaciones se realizan vía telefónica o por SMS al número registrado en la base de ANSES. Los montos a cobrar con la tarjeta dependen de la cantidad de hijos a cargo. Todos los meses el Gobierno Nacional recarga la tarjeta el tercer viernes de cada mes. Si bien es una tarjeta bancaria, no sirve para extraer dinero en efectivo, sólo para la compra de alimentos excluyendo bebidas alcohólicas. La Tarjeta Alimentar no es un instrumento de ahorro, por esta razón los saldos mensuales no son acumulativos, esto quiere decir que el monto disponible en la tarjeta vuelve automáticamente a cero pesos antes de recibir la siguiente carga⁷.

La Tarjeta Alimentar cuenta con un padrón único de perceptores a quienes se les otorga una asignación directa de transferencias monetarias restringidas a la compra de alimentos, lo que refuerza la mayor transparencia del uso de los recursos y más autonomía para los titulares de esos derechos en la elección de las compras. A su vez, el MDS nacional ha implementado

7 Para más detalles se puede consultar: <https://www.argentina.gob.ar/desarrollosocial/tarjeta-alimentar/preguntas-frecuentes>

convenios con las distintas provincias que posibilitan a las mismas acceder y consultar el padrón de titulares de la Tarjeta con el fin de optimizar los procesos y los resultados en la nutrición y acceso a los alimentos en las familias, permitiendo reorientar la política Alimentaria jurisdiccional hacia otros grupos poblacionales vulnerables que no cuentan con esta cobertura.

Entre el 17 de diciembre de 2019 y hasta el 31 de agosto 2020 se cubrieron un total de 1.530.149 titulares con beneficios Alimentar alcanzando a 2.813.688 destinatarios (niños y niñas de 0 a 6 años, embarazadas y personas con discapacidad que perciben la Asignación Universal por Hijo), nivel que se alcanzó prácticamente en abril de dicho año. Esto muestra la relevancia del programa ya que alcanza 71,7% de total de beneficiarios de la AUH.

A partir del mes de febrero 2021 la transferencia de la Tarjeta Alimentar ascendía a 6000 pesos para quienes tienen un hijo, 9000 pesos para quienes tengan dos hijos y 12.000 con 3 ó más hijos.

Durante 2020, la Tarjeta Alimentar implicó una inversión pública de aproximadamente 95.355 millones de pesos. Por tanto, este programa también reviste de una gran importancia presupuestaria, tanto en términos de las políticas Alimentarias como del total de las políticas implementadas por el MDS⁸.

8 La información sobre estadísticas de: Titulares de derecho de la AUH y Titulares de la AUH (por Hijo e Hijo con Discapacidad, totales, por sexo, por grupo de edad, según cantidad de hijos a cargo), así como Montos liquidados de la Asignación Universal por Hijo para Protección Social (AUH) y titulares y montos de la Asignación Universal por Embarazo para protección Social (AUE) puede consultarse en <https://www.anses.gov.ar/informacion/datos-abiertos-asignaciones-universales>

El listado de titulares de la Tarjeta Alimentar por provincia y departamento con monto mensual transferido puede consultarse en <http://datosabiertos.desarrollsocial.gov.ar/dataset/titulares-de-la-tarjeta-alimentar>

Tabla 2. Tarjeta Alimentar: Distribución de titulares y montos por región Acreditación a diciembre 2020

Región	Titulares		Monto diciembre regular (sin adicional)
	personas	%	en miles de pesos
Cuyo	124.226	7,9	562.266
Gran Buenos Aires	421.211	26,9	1.901.874
NEA	216.381	13,8	984.462
NOA	256.821	16,4	1.151.310
Pampeana	486.016	31,0	2.189.446
Patagonia	63.096	4,0	280.184
Total	1.567.751	100,0	7.069.542

Fuente: Ministerio Desarrollo Social.

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA ENERGIZAR

Consideraciones previas

Como hemos visto, los subsidios generalizados, si bien son de fácil implementación y ayudan a contener la carga que suponen los incrementos de los precios, carecen de focalización al no contemplar la distinción de acuerdo al nivel de ingresos de los hogares o los niveles de carencias en las condiciones de vida. Ello se debe a que los mecanismos usualmente utilizados asignan ayudas basadas en ciertos umbrales bajos de consumo de electricidad que tienen como objetivo la exclusión de los consumidores de mayor volumen y no consideran el fenómeno de la pobreza energética en los sectores más vulnerables.

Pero basar la elegibilidad de los hogares en el consumo de electricidad resulta inadecuado si el objetivo es beneficiar a los más necesitados por varias razones: (i) se incluyen algunos hogares con ingresos altos pero que consumen menos electricidad que la establecida por el umbral, principalmente porque pueden afrontar infraestructura y equipamientos de alta eficiencia energética, (ii) a la vez que se excluyen a algunos hogares pobres que consumen más de lo establecido por el umbral, debido a problemas de pobreza energética o (iii) a aquellos que no están conectados a la red eléctrica o no poseen medidor. Además, (iv) las diferencias de consumo entre los pobres y no pobres son menores de lo que se supone ya que no hay correlación lineal fuerte entre el consumo de energía y el nivel de ingreso. En efecto, usar el consumo de electricidad como un sustituto de los ingresos es imperfecto e introduce errores de inclusión y de exclusión.

En la medida en que los subsidios se focalicen en los más necesitados se puede reducir la carga sobre el fisco y se promueve una redistribución progresiva del ingreso. La principal razón por la que no se focaliza se debe a las dificultades de su implementación, por contarse con bases de datos incompletas que son difíciles de cotejar con información de las distribuidoras, requieren un trabajo transversal y coordinación entre instituciones públicas, se dificulta la caracterización de los hogares cuando los titulares del servicio no son quienes residen en ellos, incluso puede dar lugar a posibles cambios de titularidad no deseados o “fraudulentos”.

Con todo, existe un margen considerable para mejorar la eficiencia de los subsidios a la electricidad mediante una mejor focalización orientándolos, primero y principalmente, a hogares de bajos ingresos, lo que, a su vez generará la oportunidad de reducir los costos fiscales.

El diseño del subsidio importa: Se deben identificar estrategias de focalización alternativas que no dependan solo en la cantidad de elec-

tricidad consumida. En Hernández Oré et al (2017) se afirma que es posible integrar los subsidios a la electricidad residencial y los programas de asistencia social dentro de un marco conceptual común. Las subvenciones pueden integrarse con los programas de asistencia social utilizando estos programas como un mecanismo para identificar beneficiarios y distribuir los subsidios con mayor precisión.

La utilización de listas complementarias de asistencia social siempre que sean capaces de identificar hogares de bajos ingresos y tener cobertura nacional, pueden mejorar sustancialmente la eficiencia en la focalización de los subsidios a la electricidad. Complementar la focalización de la cantidad con criterios adicionales como la participación en programas nacionales de transferencia de efectivo puede reducir significativamente los errores de exclusión e inclusión. Así, las subvenciones se tornan en una combinación de política energética y social.

Para mejorar la focalización se requiere de la actualización de las bases de datos de los programas públicos de transferencias de efectivo y programas sociales, así como incluir la focalización geográfica y mejorar la precisión de formularios de inscripción utilizados.

El esquema propuesto: Programa Energizar

Considerando que el acceso a un servicio eléctrico seguro y de calidad es un derecho humano básico que mejora la calidad de vida de las familias, se propone instaurar el Programa Energizar que tiene por objetivo crear las condiciones de acceso y sostenibilidad del servicio eléctrico para todos los hogares en un contexto de vulnerabilidad socioeconómica. Además de bonificar el pago del servicio de energía eléctrica, el Programa Energizar busca promover que las instalaciones sean seguras, confiables y eficientes al incluirse una fase del programa que consista en conectar regularmente a la red a los usuarios sin acceso o con conexiones irregulares.

A diferencia de un mecanismo de segmentación tarifaria que procure, primero y primariamente, identificar a los usuarios de mayores ingresos, con todas las dificultades administrativas, estadísticas y de implementación que ello conllevaría, la propuesta del Programa Energizar procura un enfoque desde abajo (*bottom-up*), a partir de la identificación prioritaria de los usuarios más vulnerables quienes recibirían los subsidios segmentados, mientras el resto de la población de mayores ingresos abonaría gradualmente la tarifa plena del costo de generación eléctrica, a menos que puedan demostrar que se encuentran en situación socioeconómica de vulnerabilidad o próxima a ello.

Tomando como referencia la experiencia de la Tarjeta Alimentar y la iniciativa uruguaya que integra el uso de la “Tarjeta Uruguay Social” con el programa de Inclusión Social de la empresa de electricidad UTE⁹, el Programa Energizar consistiría en un sistema de bonificaciones de la tarifa de electricidad de un porcentaje determinado de la factura de electricidad, orientado a los hogares carenciados. Dicha bonificación se incluiría y efectivizaría a través del uso de la Tarjeta Alimentar.

La bonificación que se realiza se aplica al total de la factura, aunque existe un límite de consumo de energía anual (kWh consumidos) sobre el cual se realiza la misma. El beneficio del programa, se otorga a 1 suministro eléctrico por hogar, es decir que, si 2 ó más familias tienen un solo suministro, corresponderá recibir un solo beneficio, a menos que se trate de un caso de suministro comunitario.

Cada beneficiario del Programa Energizar tendría cada mes un monto asignado para el pago exclusivo de la factura de la electricidad equivalente a un porcentaje determinado del pago realizado del mes anterior. En el caso en

que la factura de luz exceda el valor del mes anterior, el beneficiario deberá pagar la diferencia registrada mientras que, cuando dicha diferencia es positiva, el excedente generado podrá ser acumulado para realizar pagos subsiguientes pudiendo ser aprovechado para acompañar las variaciones estacionales que se dan en el consumo de electricidad, absorber posibles aumentos de las tarifas o, en caso de usarse la Tarjeta Alimentar, se podrá aprovechar para la compra de alimentos, lo que incentivaría el hábito de ahorrar energía y la incorporación de medidas de eficiencia energética.

Para ser beneficiario de Programa Energizar se deberá ser titular de la Tarjeta Alimentar cuyos beneficiarios son quienes cobran la Asignación Universal por Hijo con hijas e hijos de hasta 6 años inclusive, embarazadas a partir de los 3 meses que cobren la Asignación por Embarazo para Protección Social y personas con discapacidad que cobren la Asignación Universal por Hijo, sin límite de edad. No obstante, se propone la posibilidad de extender el alcance del Programa a los siguientes posibles beneficiarios:

- Jubilados o pensionados o trabajadores en relación de dependencia que perciba una remuneración bruta menor o igual a DOS (2) Salarios Mínimos Vitales y Móviles.
- Trabajadores “monotributistas” inscriptos en una categoría cuyo ingreso anual mensualizado no supere en dos (2) veces el Salario Mínimo Vital y Móvil.
- Beneficiarios de una Pensión no Contributiva y percibir ingresos mensuales brutos no superiores a dos (2) veces el Salario Mínimo Vital y Móvil.
- Titulares de otros programas sociales distintos de los antes citados.
- Personas inscriptas en el Régimen de Monotributo Social.

⁹ <https://portal.ute.com.uy/clientes/soluciones-para-el-hogar/inclusion-social>

- Personas incorporadas al Régimen Especial de Seguridad Social para empleados del Servicio Doméstico (26.844).
- Personas que se encuentran percibiendo el seguro de desempleo.
- Titulares de una Pensión Vitalicia a Veteranos de Guerra del Atlántico Sur.
- Personas que posean un certificado de discapacidad expedido por autoridad competente.

Los criterios de exclusión del *Programa Energizar* son para:

- Titulares de más de un inmueble.
- Usuarios con automóviles con hasta diez años de antigüedad (exceptuando discapacitados y electro-dependientes).
- Quienes posean aeronaves o embarcaciones de lujo.

La inscripción de nuevos beneficiarios distintos de aquellos que poseen la *Tarjeta Alimentar*, deberían recibir una tarjeta bancaria que se podría denominar como la *Tarjeta Energizar*.

A diferencia de la Tarifa Social Federal cuyos beneficios se otorgan a los usuarios vulnerables de manera automática, pues son transferidos directamente a las empresas eléctricas para que estas cubran los montos de la factura de luz pendientes de pago, los beneficiarios del nuevo programa recibirán la factura de electricidad sin descuentos, pero al momento de pagarla podrán utilizar la Tarjeta Alimentar o Energizar para debitar de ella el valor de la bonificación. Este cambio podría generar algún tipo de desorden operativo en su implementación, especialmente en sus inicios, pero brindaría mucha mayor visibilidad del programa al depender de una acción de pago concreto por parte del beneficiario.

La incorporación de límites al consumo de electricidad implica que la electricidad que se consuma por encima de ese límite establecido, se cobrará al precio de la tarifa del MEM sin descuento y deberá ser pagada por otro medio de pago, como el resto de los usuarios no beneficiados por el Programa Energizar.

Tabla 3. Límites de consumo de electricidad del Programa Energizar [valores a determinar]

Situación Familiar	Consumo al año	Consumo al mes aproximado
Hogar sin hijos	1380 kWh	115 kWh
Hogar con hijo menor	1932 kWh	160 kWh
Hogar con dos hijos menores	2346 kWh	195 kWh
Familias numerosas	4140 kWh	345 kWh
Jubilados	1932 kWh	160 kWh
Otros		

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el beneficio del Programa Energizar se aplica al suministro del servicio eléctrico, no a las personas en sí mismas, se deberá eventualmente realizar un trabajo de procesamiento de información coordinado y con la participación de varias instituciones para determinar el padrón de hogares beneficiarios, aprovechando la información existente de los usuarios de la Tarjeta Alimentar¹⁰ (proveniente del Ministerio de Desarrollo Social), del Sistema de Identificación Nacional Tributario y Social (SINTyS¹¹),

¹⁰ Cuyo listado se puede bajar en: <http://datosabiertos.desarrollosocial.gob.ar/dataset/titulares-de-la-tarjeta-alimentar>

¹¹ Véase: <https://www.argentina.gob.ar/politicassociales/sintys>

del ENRE¹², que recibe la información de los usuarios de las empresas eléctricas, y la información que podría proveer el ANSES¹³. Para evitar exclusiones, todo aquel que considere que debería ser beneficiario del Programa Energizar, debería poder inscribirse o realizar cambios de titularidad, mediante canales de comunicación virtual puestos a disposición de los usuarios. Así mismo, una vez que el Programa se encuentre en funcionamiento se podría mejorar la identificación de usuarios a través del uso de sistemas de georreferenciación que provea información de potenciales hogares/usuarios a ser incorporados al Programa. Una de las principales ventajas del Programa Energizar es que su implementación podría ser casi inmediata, habida cuenta de las bases de datos ya existentes, y perfeccionable en el tiempo hacia una mayor focalización (incluyendo sectores de ingresos medios y medios-bajos, los cuales también se beneficiarían con descuentos, aunque menores)

A mediano plazo se podría avanzar con la conformación de un padrón único de usuarios en condiciones de vida vulnerables de los servicios públicos, en donde todas las prestadoras de dichos servicios que operen en una misma zona compartan un código único de calles idéntico al utilizado por ANSES para poder asociar los datos de los titulares a una única vivienda.

La bonificación será aplicable en los casos en los que no haya morosidad en el pago de la factura de electricidad. En caso de existir morosidad en los pagos, se debería contemplar un esquema de inscripción a un régimen específico que contemple este tipo de situaciones particulares. Por ejemplo, se podría considerar algún tipo de régimen de moratoria que implique pagos parciales de lo adeudado, por ejemplo, el 50% del total de la deuda.

Dado que, como se comentó en una sección anterior, en el 5,5% de los barrios carenciados, la principal fuente de energía eléctrica es la red pública con medidor comunitario, es decir que se trata de medidores compartidos por varios hogares, los suministros colectivos podrán acceder al programa, de cumplir con ciertos requisitos. Deberá realizar una inscripción *ad hoc* para este tipo de casos. Para determinar el consumo promedio de cada usuario que pertenece a un suministro colectivo se dividirá el consumo mensual del suministro entre el número de lotes.

Todos los beneficiarios del Programa Energizar deberán habitar en un hogar conectado en forma regular a la red pública de energía eléctrica. En el caso de usuarios no regularizados que no se encuentren conectados o posean un acceso precario a la red de energía eléctrica será posible inscribirse en la sección de Acceso al Servicio de Electricidad del Programa y actualizar sus datos en las empresas distribuidoras, con la finalidad de regularizar la situación de sus hogares y tener un acceso a un servicio eléctrico seguro y de calidad para luego verse favorecidos por el sistema de bonificaciones del Programa, el cual actúa como incentivo adicional para la registración.

El Programa Energizar promovería la regularización de los barrios que se encuentren en condiciones de acceso irregular y precario. Las inversiones de las obras que se realicen para los barrios regularizados beneficiarán también a los barrios vecinos mejorando en forma integral la calidad del servicio. El Programa tendría un impacto directo en la reducción de pérdidas de energía, de los cortes y caídas de la tensión y favorecerá las posibilidades de urbanización o regularización de tenencia de viviendas y terrenos.

La regularización del servicio eléctrico en cada hogar, vendrá acompañada de una conexión a la red que no tendrá costo para la familia y de la posibilidad de contar con una tarifa bonificada que se adecúe a la capacidad de pago del hogar.

12 Véase: <https://www.argentina.gob.ar/enre>

13 Véase: <https://www.argentina.gob.ar/anses>

La implementación de esta iniciativa y las lecciones que se aprendan podría luego ser extrapolable a una aplicación equivalente en el ámbito de la provisión del Gas Natural de Red o Gas Licuado, utilizando la misma Tarjeta Energizar para la compra de garrafas sociales, por ejemplo.

CONCLUSIONES FINALES

El diseño de soluciones factibles en materia de subsidios es un problema de naturaleza económico-política que debe examinarse en un contexto más amplio que el puramente sectorial. Las tensiones que deben examinarse incluyen las diferencias de pago entre tipos de consumidor, entre diferentes regiones de un país, entre diferentes niveles fiscales, y entre diferentes sectores de inversión social.

La experiencia internacional destaca también que la racionalización de la política de subsidios tiene más probabilidad de éxito si se aplica de manera pragmática; es decir, reduciendo los subsidios generalizados de manera gradual, y acompañados de medidas de mitigación bien focalizadas en los grupos más vulnerables y afectados.

Por otro lado, en todos los casos, la elegibilidad de los beneficiarios para estos programas se hace generalmente mediante el consumo promedio mensual, que debe ser inferior a una determinada cantidad de kWh de modo de recibir el descuento estipulado. Sin embargo, la evidencia empírica demuestra que este indicador no puede considerarse como una variable proxy del ingreso ya que otras variables, tales como el tamaño del hogar, su composición, el grado de eficiencia energética o las características de sus miembros, suelen impactar en el gasto en energía. Como consecuencia, se producen altos errores de inclusión, que reducen el ratio costo/efectividad de los programas y altos errores de exclusión que reducen su cobertura, dejando de lado a quienes más los necesitan.

En cuanto a la forma que deben tomar los subsidios a la demanda, es claro que una estructura redistributiva progresiva es posible sólo si una gran cantidad de hogares no está subsidiada. En este sentido, la evidencia empírica muestra que en América Latina los errores de inclusión son enormes y atentan contra la sustentabilidad fiscal de los esquemas. Es necesario, entonces, llevar a cabo un estudio cuantitativo previo a la implementación del subsidio que permita identificar el límite de consumo óptimo para minimizar los errores. Por otro lado, la mala focalización de los programas trae aparejada un aumento en la erogación de fondos públicos, que contribuyen a agravar el déficit fiscal. El Programa EnergizAr que se propone en este documento busca resolver en forma más o menos simultánea algunas de estas dificultades.

Una reforma de las estructuras tarifarias y los sistemas de subsidios a la electricidad debe satisfacer objetivos de cobertura de costos, equidad social, eficiencia y reducción de impactos ambientales negativos. La implementación de subsidios debe garantizar mandatos claros, financiamiento adecuado, alcance de la población objetivo perfectamente focalizada, aplicabilidad bajo criterios confiables y la promoción de un mercado tan transparente como sea posible.

La priorización de focalización tarifaria hacia los sectores más vulnerables del Programa Energizar busca reducir la pobreza energética promoviendo un mayor sentido de equidad social en la distribución de subsidios energéticos (sin necesidad de incurrir en mecanismos de subsidios cruzados) y, al mismo tiempo, fomentar el ahorro energético en el conjunto de la población. Aquellos usuarios a priori excluidos del Programa podrán siempre solicitar su afectación de acuerdo a los criterios de inclusión. En caso de no corresponder, deberán abonar la tarifa plena del costo de generación eléctrica, reduciendo de esta manera el monto total de subsidios energéticos generalizados y equilibrando las cuentas públicas. El perfecciona-

miento del Programa Energizar, a través de una mayor identificación y registración de usuarios, permitiría en el tiempo una focalización más fina hacia sectores de ingresos medios y medio-bajos, que podrían también recibir bonificaciones, aunque de menor cuantía. Sobre la base de la experiencia internacional y la experiencia argentina, en particular, esperamos que la propuesta del presente artículo contribuya a la discusión sobre focalización tarifaria y segmentación de subsidios en el actual contexto de crisis energética. ■

REFERENCIAS

- Albornoz, A., Gaitán, I. y Rudnick, H. (2010). *Aspectos técnicos y Regulatorios del Prepago Eléctrico*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Departamento de Ingeniería Eléctrica.
- Balestro, F. (2021). *Determinantes de la demanda eléctrica residencial en Argentina : Un análisis comparado entre 2013 y 2018 y una aproximación al rol de la eficiencia energética como un camino alternativo de política energética*. Trabajo Final de Posgrado. Universidad de Buenos Aires. Recuperado de http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tpos/1502-2056_BalestroFE.pdf
- Banco Mundial (2005). *Water, Electricity, and the Poor: Who Benefits from Utility Subsidies?* World Bank Group. Washington, DC. Recuperado de: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6361>.
- BID (2006). *Subsidios eléctricos en América Latina y el Caribe: Análisis comparativo y recomendaciones de política*. Recuperado de: <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15072/subsidios-electricos-en-america-latina-y-el-caribe-analisis-comparativo-y>.
- CAF (2018), *Regulación tarifaria de servicios prestados en red: evolución, desafíos y tendencias en países de América Latina y el Caribe*. Serie: Infraestructura en el Desarrollo Integral de América Latina (IDEAL). Recuperado de <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1354>.
- CAMMESA (2022). *Principales variables MEM, Enero a Diciembre 2021 vs. 2020*. Recuperado de: <https://microfe.cammesa.com/static-content/CammesaWeb/download-manager-files/NovidadesHome/Resumen%20Ejecutivo%20Ene%20a%20Dic%202021.pdf>
- Campo Pinzón, R. (2015). *Estudio comparativo de modelos de mercado eléctrico, estructura institucional, métodos de regulación y estructuras tarifarias*. OLADE. Recuperado de: <http://extranet.olade.org/wp-content/uploads/2015/08/Estudio-Comparativo-modelos-mercado-el%C3%A9ctrico-metodos-de-regulaci%C3%B3n-y-estructura-tarifaria-6-paises.pdf>.
- Castro, L. y Barafani, M. (2015). *Buscando la diagonal. Cómo reducir los subsidios protegiendo a los sectores vulnerables*. CIPPEC. Buenos Aires. Recuperado de: <https://www.cippec.org/wp-content/uploads/2017/03/1201.pdf>.

- CEPAL (2020). *Análisis de las tarifas del sector eléctrico: los efectos del COVID-19 y la integración energética en los casos de la Argentina, Chile, el Ecuador, México y el Uruguay*. Serie Recursos Naturales y Desarrollo, N° 199 (LC/TS.2020/146). Recuperado de: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46512/1/S2000721_es.pdf.
- Cont, W., Navajas, F., Pizzi, F. y Porto, A. (2021). *Precios y tarifas y política económica Argentina: 1945-2019*. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Económicas. Recuperado de: <https://www.mfp.econo.unlp.edu.ar/wp/wp-content/uploads/2020/06/Precios-y-tarifas-de-los-servicios-pu%CC%81blicos.-Evolucio%CC%81n.-1945-2019-libro.pdf>.
- Coppola, A. y Lakner, C. (2015). *Argentina: Notas de Políticas Públicas para el Desarrollo “El futuro de los subsidios residenciales en Argentina: Cómo beneficiar a los pobres de forma más eficaz y menos costosa”*. Recuperado de: <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/899411467995396294/pdf/106122-WP-P156046-PUBLIC-SPANISH-NotasdePol%C3%ADticas-ARGENTINA.pdf>.
- Chévez, P., San Juan, G. y Martini, I. (2019). *Alcances y limitaciones de la 'tarifa social' eléctrica en urbanizaciones informales*. Estudios Socio-Territoriales. Revista de Geografía N° 26. Julio-Diciembre 2019. Recuperado de: <https://revistaest.wixsite.com/revistaestcig/copia-de-no-25-enero-junio-2019> ó https://130b0eef-9694-3486-63b9-69a0c1f6e559.filesusr.com/ugd/59a6db_43643fa5eede471ab3c5cdc0a4d233c3.pdf.
- Dehays, J. y Schuschny, A. (2018), *Una propuesta de indicadores para medir la pobreza energética en América Latina y el Caribe*. ENERLAC. Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe Nro. 2. Diciembre 2018. ISSN 2631-2522. Recuperado de: <http://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/77>.
- FMI (2015). *Energy Subsidies in Latin America and the Caribbean: Stocktaking and Policy Challenges*. Working Paper No. 15/30, February 2015, Washington DC. Recuperado de: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2016/12/31/Energy-Subsidies-in-Latin-America-and-the-Caribbean-Stocktaking-and-Policy-Challenges-42708>.
- Galiani, S. y Cruces, G. (2018). *Impacto de las tarifas energéticas sobre el bienestar de los hogares*. Recuperado de: <http://focoeconomico.org/2018/04/25/impacto-de-las-tarifas-energeticas-sobre-el-bienestar-de-los-hogares/>.
- Giuliano, F., Lugo, M.A., Masut, A. y Puig, P. (2020). *Distributional Effects of Reducing Energy Subsidies: Evidence from Recent Policy Reform in Argentina*. CEDLAS Working Papers N° 267. September 2020. CEDLAS-FCE-Universidad Nacional de La Plata. Recuperado de: <https://www.cedlas.econo.unlp.edu.ar/wp/en/no-267/>.
- Hernández Oré, M. A., Sánchez, L. Á., Sousa, L. D., Tornarolli, L. (2017). *Fiscal and Welfare Impacts of Electricity Subsidies in Central America*. Directions in Development—Public Sector Governance; Washington, DC: World Bank. Recuperado de: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/28504>
- International Energy Agency – IEA (2021). *World Energy Outlook*. Paris.
- Juárez, M. E. (2019). *Análisis sobre la Focalización de la Tarifa Social Federal en el Servicio Público de Electricidad en las Áreas de Concesión de Edenor y Edesur*. Anales de la LIV Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política (AAEP). Recuperado de: <https://aaep.org.ar/anales/works/works2019/juarez.pdf>.
- Lakner, C., Lugo, M., Puig, J., Salinardi, L. y Viveros, M. (2016). *The Incidence of Subsidies to Residential Public Services in Argentina: The Subsidy System in 2014 and Some Alternatives*. Series of technical reports of The World Bank in Argentina, Paraguay and Uruguay N° 7. Recuperado de: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/435261471340419978/pdf/107852-WP-P155167-PUBLIC-TheIncidenceofSubsidiesinArgentinaFINAL.pdf>.
- Marchionni, M., Sosa Escudero, W. y Alejo, J. (2008). *Efectos Distributivos de Esquemas Alternativos de Tarifas Sociales: Una Exploración Cuantitativa*. Documento de Trabajo Nro. 69. Recuperado de: https://www.cedlas.econo.unlp.edu.ar/wp/wp-content/uploads/doc_cedlas69.pdf.

Ministerio de Energía y Minería (2017), *Precio Mayorista de la Energía, Cargos de Transporte y Tarifas de Distribución de Electricidad*. Secretaria de Energía Eléctrica. Noviembre 2017, Buenos Aires. Recuperado de: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/conferencia_de_prensa_1ro_dic_2017_para_periodistas.pdf.

MINEM (2018). *Tarifa Social para servicios de electricidad y gas por redes en Argentina*. Subsecretaría de Coordinación de Política Tarifaria. Buenos Aires. Recuperado de: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/tarifa_social_federal_ene_2018_0_0.pdf.

Navajas, F. (2018). *Impuestos y cargos específicos en las tarifas de los servicios de infraestructura*. Nota Técnica IDB-TN-1473. Recuperado de: <https://publications.iadb.org/es/impuestos-y-cargos-especificos-en-las-tarifas-de-los-servicios-de-infraestructura>.

OLADE (2020). *Panorama Energético de América Latina y el Caribe*. Quito

Techo (2018). *Relevamiento de Asentamientos Informales*. Organización Techo Argentina. Recuperado de: <http://datos.techo.org/dataset/argentina-relevamiento-asentamientos-informales-2016>.

Urbiztondo, S., Navajas, F. y Barril, D. (2020). *Regulation of Public Utilities of the Future in Latin America and the Caribbean: The Argentine Electricity Sector*. IDB. Recuperado de: <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Regulation-of-Public-Utilities-of-the-Future-in-Latin-America-and-the-Caribbean-The-Argentine-Electricity-Sector.pdf>.

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ÍNDICE DE SATISFACCIÓN Y CALIDAD PERCIBIDA EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA EN EL MERCADO BRASILEÑO: CASO DE ESTUDIO CON LOS MÉTODOS IASC Y PHD

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SATISFACTION INDEX AND PERCEIVED QUALITY IN ENERGY DISTRIBUTION IN THE BRAZILIAN MARKET: CASE STUDY WITH THE IASC AND PHD METHODS

Eduardo Adrián Ortigoza Moreno ¹, Fernando César Ferreira ²,
Juan Carlos Cabral Figueredo ³, Victorio Enrique Oxilia Dávalos ⁴

Recibido: 19/04/2022 y Aceptado: 01/11/2022
ENERLAC. Volumen VI. Número 2. Diciembre, 2022 (54 - 71)
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Robert Linder en Unsplash.

1 Grupo de Investigación en Sistemas Energéticos (GISE), Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción. Paraguay eortigoza@pol.una.py
<https://orcid.org/0000-0002-8525-3984>

2 Consultor independiente. Brasil fcf.energy@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4317-8936>

3 Núcleo de Investigación en Energía y Recursos Naturales (IRNE), Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción. Paraguay voxilia@pol.una.py
<https://orcid.org/0000-0002-4152-0788>

4 Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo. Paraguay jccabral@pol.una.py
<https://orcid.org/0000-0002-0679-7394>

RESUMEN

En este trabajo se presenta la comparación entre modelos Índice de satisfacción de los consumidores de Aneel (IASC) - utilizado por la agencia reguladora brasilera del sector eléctrico de Brasil (ANEEL) - y el modelo Perceptor Hierarchical Decision (PHD) con datos obtenidos de encuestas llevadas a cabo para cuatro empresas de distribución de energía eléctrica en el año de 2020. Se muestra que los resultados finales son coincidentes. Además, se analizan las diferencias y similitudes de resultados de las metodologías en la medición de satisfacción y calidad percibida por los clientes residenciales. Se plantea que modelos múltiples criterios del tipo PHD pueden brindar nuevas alternativas de evaluación, con un abordaje más simple y con la ventaja que puede tener el decisor (regulador) de gestionar en puntos que son claves tales como: los pesos del modelo y la definición de funciones que representen de manera más natural las variables, que aquellas lineales del modelo de ANEEL.

Palabras clave: Energía, Regulación, Calidad, Múltiples criterios, IASC, PHD.

ABSTRACT

This paper presents the comparison between Aneel's Consumer Satisfaction Index (IASC) model - used by the Brazilian regulatory agency of the Brazilian electricity sector (ANEEL) - and the Perceptor Hierarchical Decision (PHD) model with data obtained from surveys conducted for four electricity distribution companies in 2020. It is shown that the final results are coincident. In addition, the differences and similarities of the results of the methodologies in the measurement of satisfaction and quality perceived by residential customers are analyzed. It is proposed that multiple criteria models of the PHD type can provide new evaluation alternatives, with a simpler approach and with the advantage that the decision-maker (regulator) can manage key points such as: the model weights and the definition of functions that represent the variables in a more natural way than the linear ones of the ANEEL model.

Keywords: Energy, Regulation, Quality, Multiple criteria, IASC, PHD.



Foto de Robert Linder en Unsplash.

INTRODUCCIÓN

Evaluar adecuadamente la satisfacción de la atención prestada a los clientes es de vital importancia para todas las organizaciones modernas, y no es diferente para las empresas de distribución de electricidad bajo contratos de concesión en Brasil. Aunque los mercados de estas empresas sean cautivos, se exige el cumplimiento de estándares requeridos por la autoridad reguladora, la Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Esta agencia es la responsable de sancionar por el incumplimiento de las normas acordadas entre las partes y fallas de los contratos de distribución en el servicio suministrado al cliente.

En el año 2000, la ANEEL empezó a utilizar un modelo que reproduce los conceptos del ACSI (*American Customer Satisfaction Index*) que tiene como premisa central la existencia de una asociación positiva entre: las expectativas, la calidad percibida, el valor percibido y la satisfacción general del consumidor, denominado *Índice Aneel de Satisfação do Consumidor – IASC*¹.

En este trabajo se comparara resultados, facilidad operativa, cumplimiento de estrategias regulatorias, puntos débiles y fortalezas de las empresas, evaluados por un lado por el IASC y otro por el *Perceptor Hierarchical Decision* (PHD) (F. C. Ferreira, 2019). Es importante señalar que el PHD tiene un origen conceptual normativa – basada en pesos asignados según juicios de valor del decisor (regulador) - mientras que el IASC es un modelo estocástico cuyos pesos son resultados de regresiones lineales y no permiten ajustes.

1 Agência Nacional de Energia Elétrica, documento disponible en: <https://www.gov.br/aneel/pt-br>.

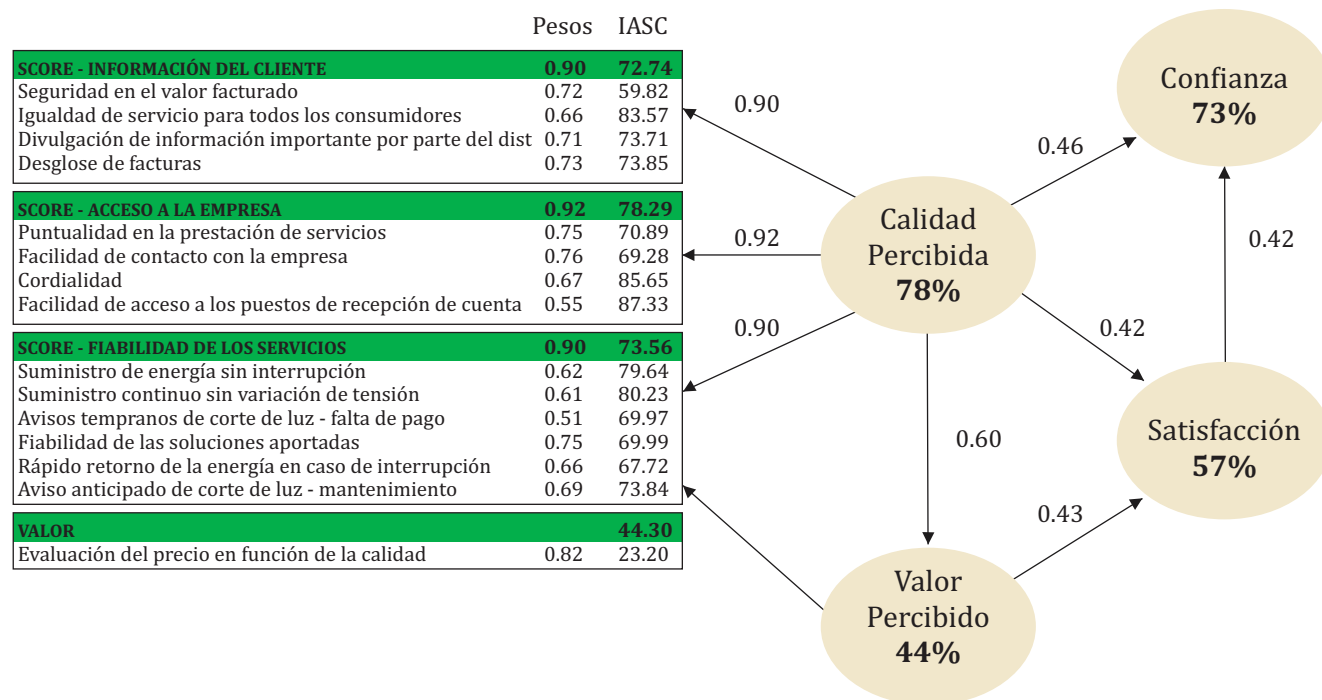
METODOLOGÍA DEL IASC

El IASC tiene como insumo los datos de encuestas (cuestionarios) que se aplican a distintas clases de consumidores residenciales. Los cuestionarios se distribuyen, de manera proporcional, según los municipios de la zona de concesión de la empresa de distribución de energía eléctrica. La muestra es tomada por características de género, rango de edad, educación e ingresos familiares. En la Figura 1 se muestra el diseño del IASC, su estructura está basado en cuatro ejes, sus variables explicativas y respectivos pesos.

En el caso presentado fueron evaluadas cuatro empresas distribuidoras, con datos que fueron

obtenidos por medio de encuestas llevada a cabo por ANEEL en el año 2020. Las empresas son: *Companhia Paulista de Força e Luz* (CPFL), que opera principalmente en la distribución de energía a 234 ciudades del interior del Estado de São Paulo; EDP es una de las mayores empresas privadas del sector eléctrico; que atiende a clientes en los estados de São Paulo y Espírito Santo; Elektro, y RGE, con 2,6 millones de clientes en 223 ciudades del Estado de São Paulo y cinco de Mato Grosso do Sul - un área de más de 120 mil kilómetros cuadrados; y RGE con área de concesión de 189.000 km² y abarca zonas urbanas y rurales de las regiones metropolitana, medio oeste y noreste del estado de Rio Grande do Sul.

Figura 1. Estructura del modelo IASC.



Fuente: Adaptación de documento ANEEL.

El modelo, IASC se compone de cuatro variables (ejes):

Calidad percibida

La calidad percibida fue medida a través de un grupo de quince ítems (criterios) generados a partir de la consulta cualitativa (ANEEL, 2020), siendo su escala representada en la Figura 2. Estos criterios se agrupan en tres dimensiones, resultantes de un procedimiento de análisis factorial, los cuales son:

Información al cliente:

- Seguridad en el valor facturado;
- igualdad de servicio para todos los consumidores;
- divulgación de información relevante, por parte del distribuidor;
- desglose detallado de facturas.

Acceso a la empresa:

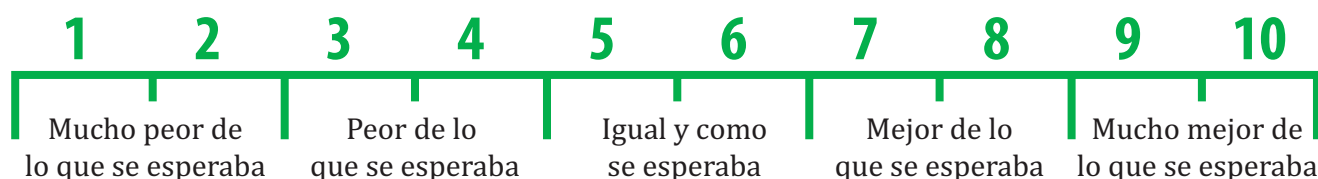
- Puntualidad en la prestación de los servicios;
- facilidad de contacto con la empresa;
- cordialidad, y
- facilidad de acceso a los centros de recepción de cuentas.

Fiabilidad de los servicios:

- Suministro de energía sin interrupción;
- suministro de energía sin variación de tensión;
- aviso previo de corte de luz - falta de pago;
- fiabilidad de las soluciones aportadas;
- la rapidez de retorno de la energía cuando hay una interrupción, y
- aviso previo del corte de energía - mantenimiento.

PHD tiene un origen conceptual normativa mientras que el IASC es un modelo estocástico cuyos pesos son resultados de regresiones lineales y no permiten ajustes.

Figura 2. Escala de la calidad percibida.



Fuente: Adaptación de ANEEL.

Satisfacción global

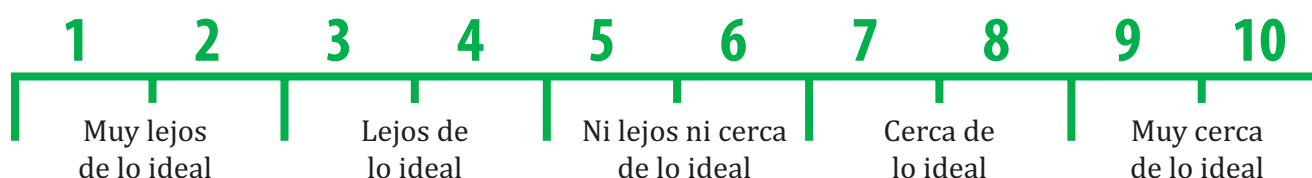
Esta variable se midió a través de tres indicadores, usando las escalas de las Figura 3, 4 y 5.

Figura 3. Escala de satisfacción global.



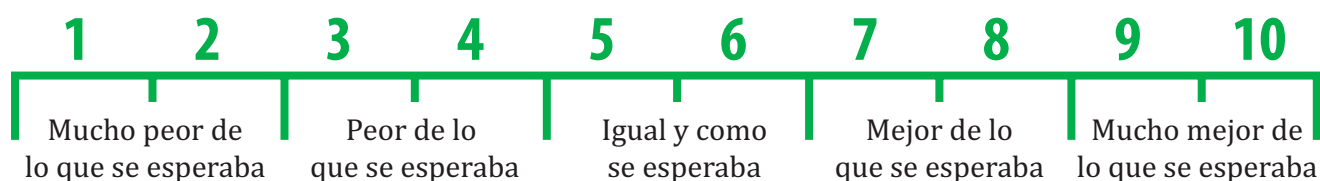
Fuente: Adaptación de ANEEL.

Figura 4. Escala de distancia a la empresa ideal.



Fuente: Adaptación de ANEEL.

Figura 5. Escala de incumplimiento global.

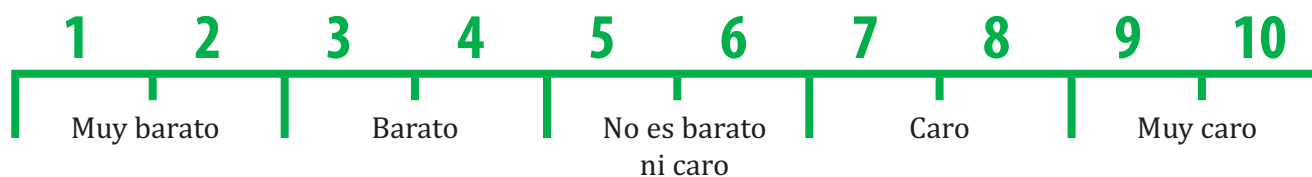


Fuente: Adaptación de ANEEL.

Valor

La variable “valor” se insertó para evaluar la percepción del consumidor en la dimensión económica y es usada de forma invertida para el análisis, Figura 6.

Figura 6. Escala del valor



Fuente: Adaptación de ANEEL

Confianza en la empresa

Esta variable sirve para evaluar la confianza del consumidor de la empresa. Es decir, es evaluada a partir de cuatro indicadores. La escala vista en la Figura 7 y los indicadores que complementas en el Cuadro 1.

Figura 7. Escala del valor.



Fuente: Adaptación de ANEEL.

Cuadro 1. Complementar a la escala.

La _____ es muy confiable.	La _____ es muy capaz de prestar el servicio a sus clientes.
Estoy seguro de que la _____ se preocupa por mis intereses.	Confío en la veracidad de la información que recibo de _____ .

Fuente: Adaptación de ANEEL.

Solución y validación del modelo IASC

Para resolver el modelo se utiliza el método de regresión PLS (*Partial Least Squares*) (Alciaturi et al., 2003), que introduce la noción de variable latente o no directamente observable. Para confirmar la validez de este modelo se utilizan los siguientes procedimientos: para cada empresa se calcula la desviación de cada variable (VE) según la ecuación (1); y un indicador complementario de Fiabilidad (*Conf*), como se observa en la ecuación (2), no sujeto al tamaño de la muestra.

$$VE = \frac{\sum p_i^2}{\sum p_i^2 + \sum e_i} \quad (1)$$

$$Conf = \frac{(\sum p_i)^2}{(\sum p_i)^2 + \sum e_i} \quad (2)$$

Donde:

p = puntuación en cada variable,

e = error resultante del proceso de cálculo de las ponderaciones de cada empresa,

i = es cada una de las empresas en análisis.

Procedimiento de cálculo para generar los índices

Se utilizaron las medias obtenidas para cada una de las empresas en los indicadores de satisfacción global, inconformidad global y distancia a una empresa ideal, ponderadas por sus pesos, calculados en el modelo (PLS). Además, para este

cálculo se considera la amplitud de la escala. Es decir, en una evaluación de informaciones muy mala, las puntuaciones mínimas alcanzadas corresponden al punto uno en las tres escalas, ponderadas por los pesos de cada indicador en la variable latente. Asimismo, la máxima puntuación posible a alcanzar es el punto 10 en cada escala, ponderado por el peso correspondiente en relación a la variable latente.

Para calcular el índice IASC de cada empresa, se debe considerar la posición relativa de la empresa con respecto a la posición máxima que puede alcanzar, ecuación (3).

$$IASC = \frac{\sum p_i \cdot \bar{x}_i - \sum p_i \cdot Min(x_i)}{\sum p_i \cdot Max(x_i) - \sum p_i \cdot Min(x_i)} \cdot 100 \quad (3)$$

Donde:

p_i = peso calculado por el modelo estructural de la empresa al indicador p_i ,

\bar{x}_i = es igual a la media del indicador i para la empresa considerada,

$Max(.)$ = valor máximo de la escala del indicador i ,

$Min(.)$ = valor mínimo de la escala del indicador i ,

x_i = es el promedio.

Los resultados obtenidos del IASC

Para las empresas consideradas en la Tabla 1 se presenta el índice IASC con los siguientes resultados:

Tabla 1. Resultados obtenidos por el modelo IASC

RESULTADOS DEL IASC 2020				
	Calidad percibida	Valor	Confianza	Satisfacción
RGE	75.14	44.13	73.05	66.56
CPFL	74.89	45.67	69.00	59.87
ELEKTRO	74.50	46.75	70.64	61.72
EDP	73.80	45.96	69.69	60.91

Fuente: Elaboración propia.

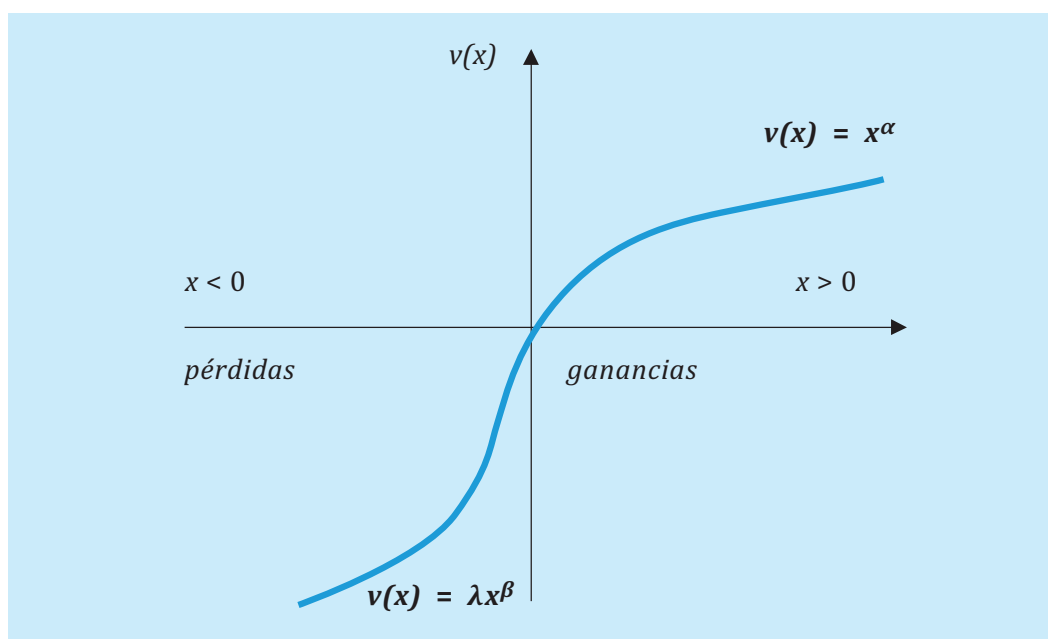
EL MODELO PHD

El modelo PHD sigue los principios básicos de la Teoría de la Prospectiva (TP), la cual intenta describir los eventos de la realidad. La TP fue desarrollada por (Kahneman & Tversky, 2013) en respuesta a la clásica Teoría de la Utilidad Esperada (TUE) propuesta por Neumann y Morgenstern en 1947. Kahneman y Tversky presentaron un abordaje más realista de los procesos de toma de decisiones, donde la utilidad es definida

en términos de riqueza y el valor como ganancias o pérdidas netas (Kahneman & Tversky, 1987). Es decir, la TP presenta una consideración absolutamente nueva, que crea oportunidades para el desarrollo de modelos de apoyo a la decisión más simple, sin pérdida de confiabilidad.

Una representación sencilla de la función de utilidad en TP puede ser vista en la Figura 8, en la cual están dispuestas las funciones de ganancia y de pérdida.

Figura 8. Funciones de ganancias y pérdidas TP.



Fuente: Adaptado de Kaustia (Kaustia, 2010).

Donde:

λ es el coeficiente de aversión a la pérdida,

α es el coeficiente de aversión al riesgo,

β es el coeficiente de propensión al riesgo.

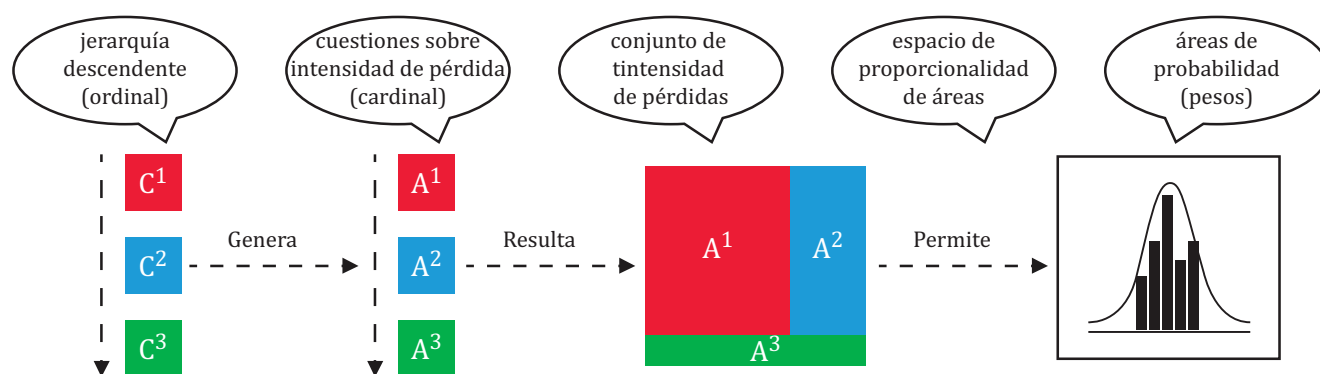
Estructura del modelo PHD

El artículo que presenta la descripción del modelo PHD se puede observar la publicación de (F. Ferreira, 2020). En dicho artículo es des-

crita el modelo estructural de la metodología, los aspectos que debe considerarse.

La Figura 9 muestra la secuencia operativa del modelo PHD. Primero, se definen los criterios primarios y secundarios referentes al tema que están siendo tratados, tras el ordenamiento de los criterios (escala ordinal) sigue el procedimiento de atribución de juicios de valor en términos de percepción de pérdida, relativamente al objetivo principal (escala cardinal), con ello se obtiene un conjunto de proporcionalidad de áreas.

Figura 9. Algoritmo de pesos del PHD.



Fuente: Elaboración Propia.

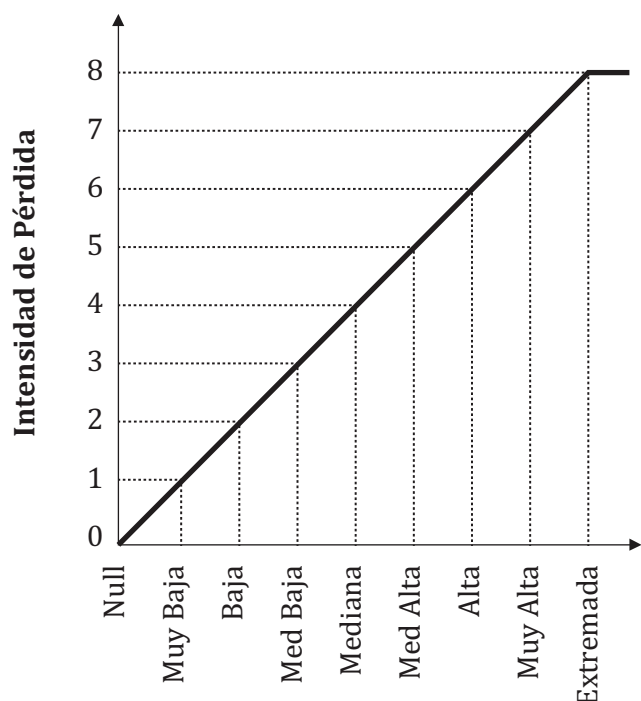
Es decir, el algoritmo de la Figura 9 dice que tras la definición de los criterios primarios y secundarios los pasos subsecuentes son:

i. Medida ordinal: organiza, por orden de prioridades los criterios primarios de su pérdida relativamente al objetivo principal. La jerarquía de los criterios secundarios (subcriterios), sigue el mismo procedimiento realizado a los criterios primarios.

ii. Medida cardinal: mediante una escala semántica son atribuidos juicios de valor para cada criterio relativo a la percepción de pérdida relacionada con el objetivo principal (evaluar la satisfacción) (Figura 10).

La TP presenta una consideración absolutamente nueva, que crea oportunidades para el desarrollo de modelos de apoyo a la decisión más simple, sin pérdida de confiabilidad.

Figura 10. Escala semántica y correspondiente en intensidad de percepción de pérdidas



Escala Semántica

Fuente: Elaboración propia.

iii. Espacio de proporcionalidad de áreas: teniendo en cuenta que el área total suma la unidad, se debe obtener la proporcionalidad de cada una de las áreas referidas al área total.

iv. Áreas de probabilidad: las áreas proporcionales al ser medidas bajo una distribución normal estandarizada permiten definir los pesos de los criterios del modelo.

v. Simulador Monte Carlo: el PHD busca ir más allá de obtener una escala solamente a partir de un método estadístico. Es decir, permite construir una función densidad de probabilidad (FDP), tras 10.000 simulaciones, de la cual emergen los pesos de los criterios primarios y secundarios, considerando el cálculo de proporcionalidad de áreas.

Medidas de consistencia de los pesos (juicio de valor)

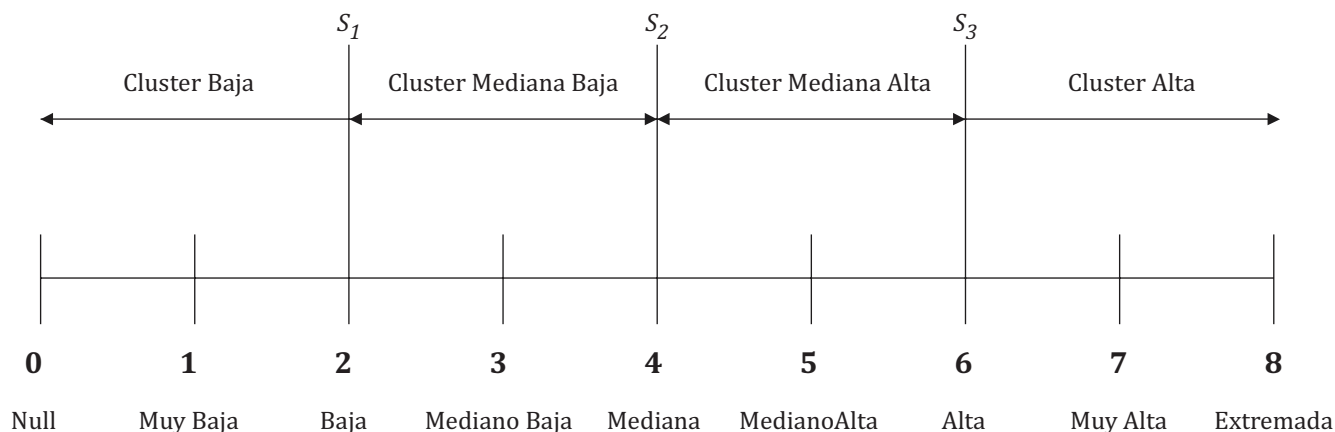
En el modelo son utilizados tres métodos para la evaluación de la consistencia de los pesos. Dos de los métodos propuestos - escala PHD y escala MC - siguen un procedimiento basado en la varianza observada en el conjunto de puntuaciones obtenido. El tercer método se basa en la teoría de equivalencia e indica la pertenencia de los pesos pertenecen a conjuntos de similaridad en la escala.

i. Consistencia de Escala de PHD y Monte Carlo: evalúan la existencia de consistencia a partir del desvío estándar de las escalas de pesos calculadas en el modelo en un umbral de variación que no exceda a unos 10%, si pasa el 10% el modelo apunta a la inconsistencia (F. Ferreira, 2020). Este tipo de medida aún muestra la linealidad y ajuste de los pesos a una función.

ii. Consistencia por el método de clusters: se lleva en cuenta cuatro clusters de intensidad de pérdida (Baja, Mediana Baja, Mediana Alta y Alta) con tres umbrales entre las diferentes categorías (S1, S2 y S3), con ocho notas pertenecientes a la escala semántica.

En la faja de variación permitida para los criterios primarios, se mantuvieron la proporcionalidad. Esto indica que los pesos atribuidos son consistentes para mantener la estabilidad del modelo y el orden de las alternativas.

Figura 11. Escala de Umbrales de Clusters.



Fuente: Elaboración Propia.

Matriz de atributos (Funciones Elegibles)

La matriz terciaria (atributos) del modelo PHD tiene la función de medir los impactos de las alternativas. A su vez, las funciones elegidas deben servir para normalizar los datos de entrada. En el PHD se propone el uso de seis funciones, donde cinco de ellas son conocidas y una se puede construir según la necesidad la función (DC).

Análisis de sensibilidad de los pesos de criterios principales

El análisis de sensibilidad es una etapa muy importante porque sirve para evaluar los posibles cambios en los resultados finales obtenidos, especialmente cuando hay dos o más alternativas en análisis. Permite observar si al cambiar los pesos ocurre alguna modifica-

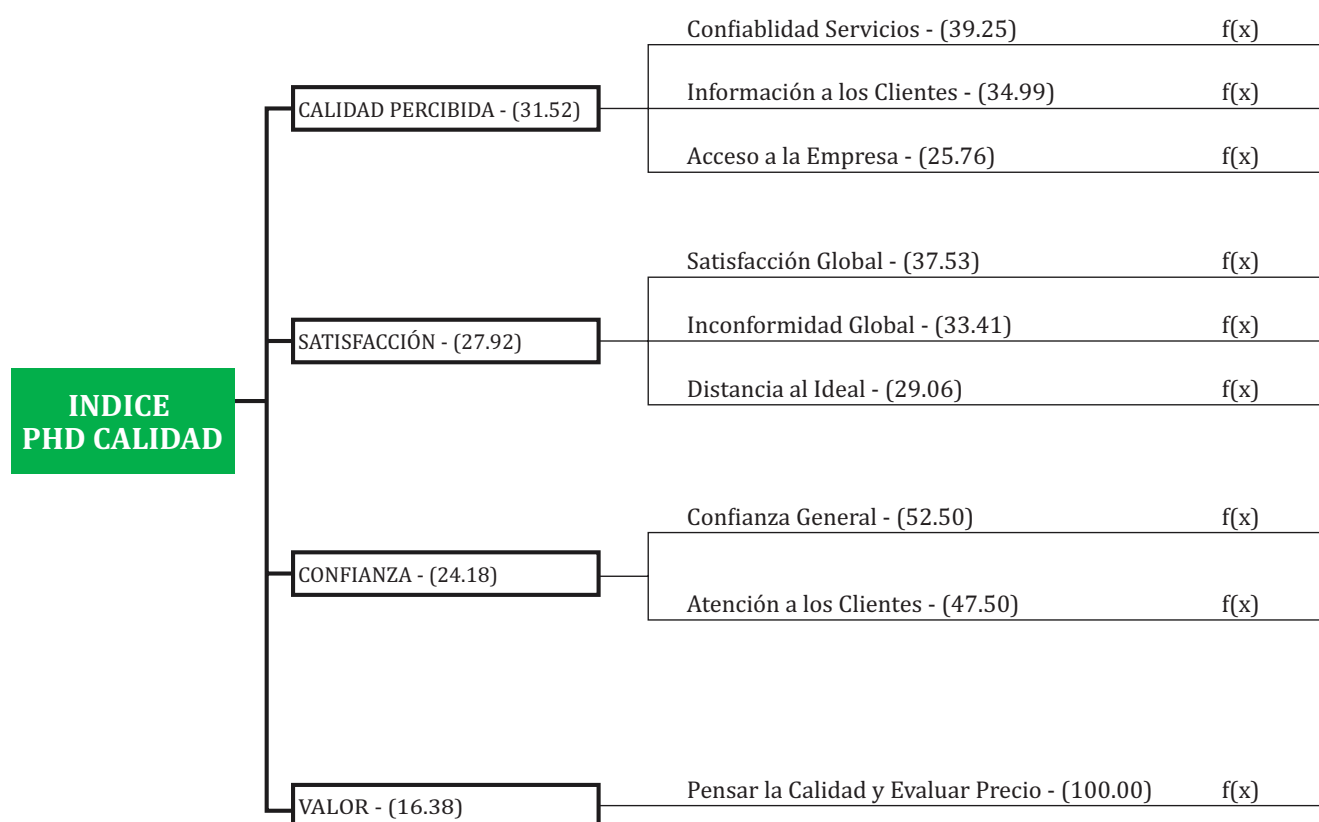
ción en el orden de clasificación de las alternativas. Es obtenida a partir de la derivada parcial de los pesos de los criterios comparados y la observación de los cambios ocurridos en los pesos.

El procedimiento de análisis de sensibilidad requiere que la jerarquía de los criterios primarios no sea violada. Es decir, la variación máxima de los pesos no debe rebasar el límite de diferencia entre un criterio y su subsecuente.

La estructura del modelo PHD adaptada al caso

En la Figura 12 están dispuestos los criterios primarios y secundarios del modelo PHD con sus respectivos pesos y tipos de funciones de atributo. Se buscó mantener la estructura del PHD lo más compatible posible con el modelo IASC.

Figura 12. Criterios del Caso en Estudio y sus Respectivos Pesos (PHD).



Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL PHD

En la Tabla 2 se muestran los resultados del modelo PHD por indicador, donde se observa que las empresas RGE, CPFL y ELEKTRO, son en orden las que obtuvieron los mejores puntajes para los criterios calidad y satisfacción.

Tabla 2. Resultados obtenidos por el indicador PHD

RESULTADOS PHD 2020				
	Calidad	Valor	Confianza	Satisfacción
RGE	85.79	33.03	93.09	86.93
CPFL	85.53	31.01	90.69	83.67
ELEKTRO	84.80	26.01	90.65	82.66
EDP	84.39	25.95	89.62	82.06

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 3 contiene la puntuación global del modelo PHD. Este es el resultado de la composición de todos los cuatro indicadores interpretados en un único índice.

En la Tabla 4 se presentan categorías referentes a la eficiencia de las alternativas en cada uno de los criterios en estudio, obtenidas con el módulo DEA del modelo PHD. Lo que se puede inferir es que las alternativas tuvieron mejor rendimiento en los criterios CALIDAD y SATISFACCIÓN, mientras que no estuvieron bien en el criterio VALOR. Es decir, en general la encuesta muestra que los clientes no están satisfechos con el precio de la energía eléctrica, para la muestra de empresas consideradas.

Tabla 3. Resultado Global del PHD

ESCALA GLOBAL	
RGE	78.08
CPFL	77.42
ELEKTRO	76.68
EDP	75.80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Resultados globales del PHD obtenidos con el modelo PHD - DEA

RESULTADOS IASC 2020				
	Calidad	Valor	Confianza	Satisfacción
RGE	Eficiente	Eficiente	Eficiente	No eficiente
CPFL	No eficiente	No eficiente	Eficiente	Eficiente
ELEKTRO	Eficiente	No eficiente	Eficiente	Eficiente
EDP	No eficiente	No eficiente	No eficiente	Eficiente
Total	2/2	1/3	3/1	3/1

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5 se muestran los resultados del análisis de sensibilidad del modelo PHD. Las simulaciones realizadas dentro del rango de variación posibles (sin violar la orden de partida) muestra que no hubo cambios entre las empresas. Es decir, en la faja de variación permitida para los criterios primarios, se mantuvieron la proporcionalidad. Esto indica que los pesos atribuidos son consistentes para mantener la estabilidad del modelo y el orden de las alternativas.

Los métodos que se vieron son compatibles pero el PHD presenta más facilidad para la medir importancia de políticas de la calidad recibida.

Tabla 5. Análisis de Sensibilidad (PHD)

Criterios / Pesos	Criterio 1 / Criterio 2	Criterio 1 / Criterio 3	Criterio 1 / Criterio 4	Criterio 2 / Criterio 3	Criterio 2 / Criterio 4	Criterio 3 / Criterio 4
RANGO DE VARIACIÓN (%)						
Variación (min, máx.)	(-14; 14)	(-11; 33)	(-11; 44)	(-6; 14)	(-14; 14)	(-26; 22)
RGE	RGE	RGE	RGE	RGE	RGE	RGE
ELEKTRO	ELEKTRO	ELEKTRO	ELEKTRO	ELEKTRO	ELEKTRO	ELEKTRO
EDP SP	EDP SP	EDP SP	EDP SP	EDP SP	EDP SP	EDP SP
CPFL	CPFL	CPFL	CPFL	CPFL	CPFL	CPFL

Fuente: Elaboración propia.

La fila referente a la variación (min, máx.) de la Tabla 5 muestra el intervalo en el cual la derivada parcial debe estar contenida para que no ocurra inconsistencia en la jerarquía de los criterios.

Análisis de los resultados obtenido considerando los métodos IASC y PHD

El orden considerando los puntajes obtenidos con los dos modelos en consideración (IASC y PHD) coinciden en todos los índices, Tabla 6.

La divergencia está solamente en los valores de los puntajes, debido a diferencias entre las escalas de los modelos y sus pesos.

En el modelo IASC todos los valores resultan de un análisis estadístico de la encuesta, no permiten la interferencia del tomador de decisión. Esta particularidad dificulta la inserción de mecanismos que conduzcan a planes regulatorios generales. Es decir, los pesos del modelo son obtenidos individualmente, para cada empresa y cada encuesta.

Tabla 6. Alternativas obtenidas para los modelos

CALIDAD PERCIBIDA	PHD	IASC	VALOR	PHD	IASC
RGE	85.79	75.14	ELEKTRO	33.03	46.75
CPFL PAULISTA	85.53	74.89	EDP SP	31.01	45.96
ELEKTRO	84.80	74.50	CPFL PAULISTA	26.01	45.67
EDP SP	84.39	73.80	RGE	25.95	44.13
CONFIANZA	PHD	IASC	VALOR	PHD	IASC
RGE	93.09	73.05	RGE	86.93	66.56
ELEKTRO	90.69	70.64	ELEKTRO	83.67	61.72
EDP SP	90.65	69.69	EDP SP	82.66	60.91
CPFL PAULISTA	89.62	69.00	CPFL PAULISTA	82.06	59.87

Fuente: Elaboración propia.

El PHD, al contrario, permite la interferencia del administrador regulatorio al aceptar la inclusión de sus propios juicios de valor al respecto de cuales criterios deberían ser más relevantes para orientar su política de mejoramiento en la prestación del servicio. Relativamente al aspecto regulatorio el modelo PHD es más interactivo que el modelo IASC y garantiza que los criterios sean equivalentes, en términos de pesos, para todas las empresas.

En referencia a la escala, el modelo IASC trabaja con regresiones lineales y valores promedios, perdiendo con esto parte de la información contenida en la muestra. El modelo PHD posibilita elegir funciones no lineales, las cuales capturan mejor los atributos de cada alternativa. O sea, algunas variables, tales como la calidad, que presentan rendimientos crecientes al comienzo y decrecientes al final son mejores representadas en funciones del tipo no campana.

Con relación a los pesos, el modelo IASC fueron extraídos de correlaciones existentes en la muestra. En el PHD los pesos son atribuidos por el regulador en función del objetivo a ser alcanzado, la diferencia es que a cada encuesta los pesos de la muestra cambian en el modelo IASC, dificultando sobremanera la comparación de rendimiento no solo a lo largo de los años para una determinada empresa, como entre las propias empresas de características similares.

De hecho, teniendo en cuenta que los pesos son determinantes en el cálculo del índice global y no siendo fijos, requiere recurrir a una tercera medida para anclar la variabilidad de los pesos obtenidos a cada diferente muestra. En el PHD, el regulador debe fijar los pesos, por lo menos en un espacio de tiempo que lo permita tener una referencia y someter todas las empresas a la misma regla.

Relativo al rendimiento de las empresas se observa, acorde a los dos modelos, que el único indicador que presentó bajo aprovechamiento fue el criterio valor. Sin embargo, no se puede

atribuir la responsabilidad solamente a las empresas, teniendo en cuenta que las tarifas son consecuencia de las revisiones periódicas previstas en contrato y resultan de condiciones fijadas por el regulador. Tal vez, sea el caso de insertar mecanismos de incentivo a las distribuidoras para practicar precios con descuentos a diferentes clases de clientes.

Los métodos que se vieron son compatibles pero el PHD presenta más facilidad para la medir importancia de políticas de la calidad recibida. ■

REFERENCIAS

- Appa, G., Yue M., On setting scale efficient targets in DEA. Papers, London School of Economics, London, 1999.
- Alciaturi, C. E., Escobar, M. E., De La Cruz, C., & Rincón, C. (2003). Partial least squares (PLS) regression and its application to coal analysis. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, 26(3), 197-204.
- Aneel, W.S, <https://www.aneel.gov.br/ultima-pesquisa-iasc>
- Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.C, Uma nova abordagem ao problema de construção de uma função de valor cardinal, MACBETH, *Investigação Operacional*, IST, 1995.
- Ensslin, L., Montibeller G., Aznella, I.J. Noronha, S.M, Metodologias multicritério em apoio à decisão, Programa de P. Graduação em Engenharia de Produção, Lab MCDA, Florianópolis, 1999.
- Ferreira, A., Avila, A.L, Ferreira, F.C., Estudo da Eficiência de Modelos de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Municípios de Pequeno Porte, 10o Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, João Pessoa-PB, Brasil, 2019.

Ferreira, F.C, Saenz M., Algoritmo Basado en Criterios Múltiples para la Toma de Decisiones: Aplicación a un Problema de Generación de Energía Eléctrica. ISEREE, I Congreso Internacional y Expo Científica, Quito, Ecuador, 2013.

Ferreira, F.C, Regulação Econômica, Fronteira Eficiente e Cuslters Dinâmicos, Desenvolvimento e Aplicação para o Cálculo do Fator X. Tese de Doutorado Eng. Produção, UFSC, Florianópolis-SC, Brasil, 2003.

Ferreira, F.C, Análisis de Riesgo de Credito Personal, una Aplicación del Método "5C+1R con el Modelo Perceptor Hierarchical Decision - PHD, junio 2020, <https://www.researchgate.net/publication/342278271>.

Ferreira, F.C, A Contribution to the Multiple Criteria Decision Models, Perceptor Hierarchical Decision - PHD, July 2016, <https://www.researchgate.net/publication/305045154>.

Kahneman, D., Pensar rápido pensar despacio, Edit Debate, 2011, Farrar, Straus and Giroux, N.Y.

Kahneman, D., Tversky, A., Choices, values and frames, American Psychologist, vol. 34, 1984.

Kaustia, M. Prospect Theory and the disposition effect. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 4v.45, n.3, p 791-812, 2010.

Rubinstein, R. Simulation and the Monte Carlo Method. [S.l.]: John Wiley and Sons, 1981.

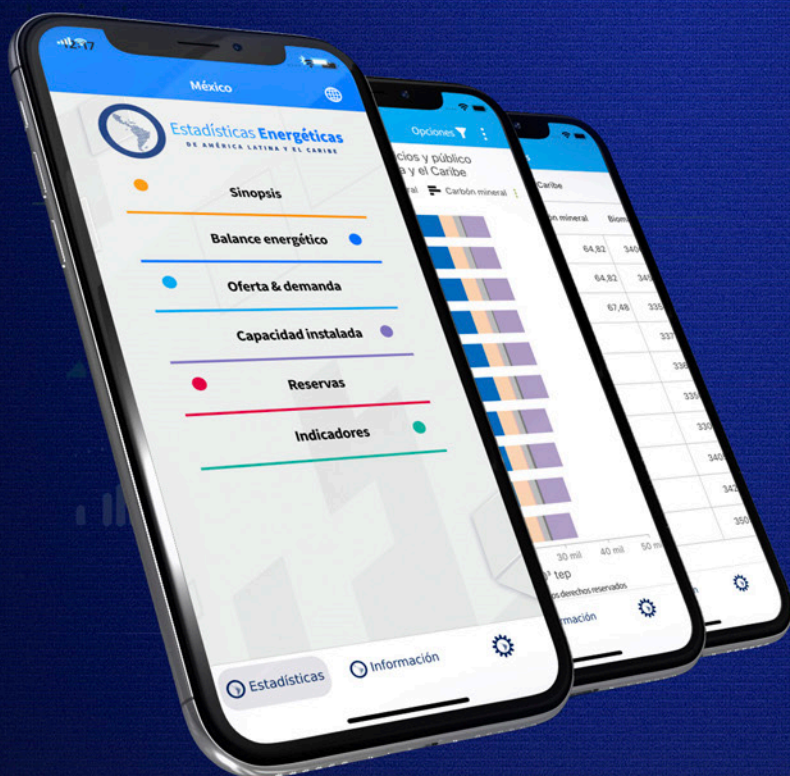
Saaty, T. L., Fundamentals of the analytic hierarchy process. RWS Publications, 2000.

Wiseman, R., 59 segundos, pense um pouco, mude muito, Edt. BestSeller Ltda., RJ, 2011.



Estadísticas Energéticas

DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE



Available on the
App Store



GET IT ON
Google Play

Olade APP, es una aplicación ágil para la consulta de información energética nacional y regional.

Ofrece datos sobre:

- Las características más relevantes a nivel demográfico, económico y energético.
- Oferta y demanda de energía.
- Generación eléctrica.
- Capacidad instalada de generación.
- Reservas probadas de fuentes fósiles.
- Diagramas Sankey del balance energético.
- Indicadores socioeconómicos-energéticos y ambientales.

Descárgala ahora en:

<https://www.olade.org/app-olade/>

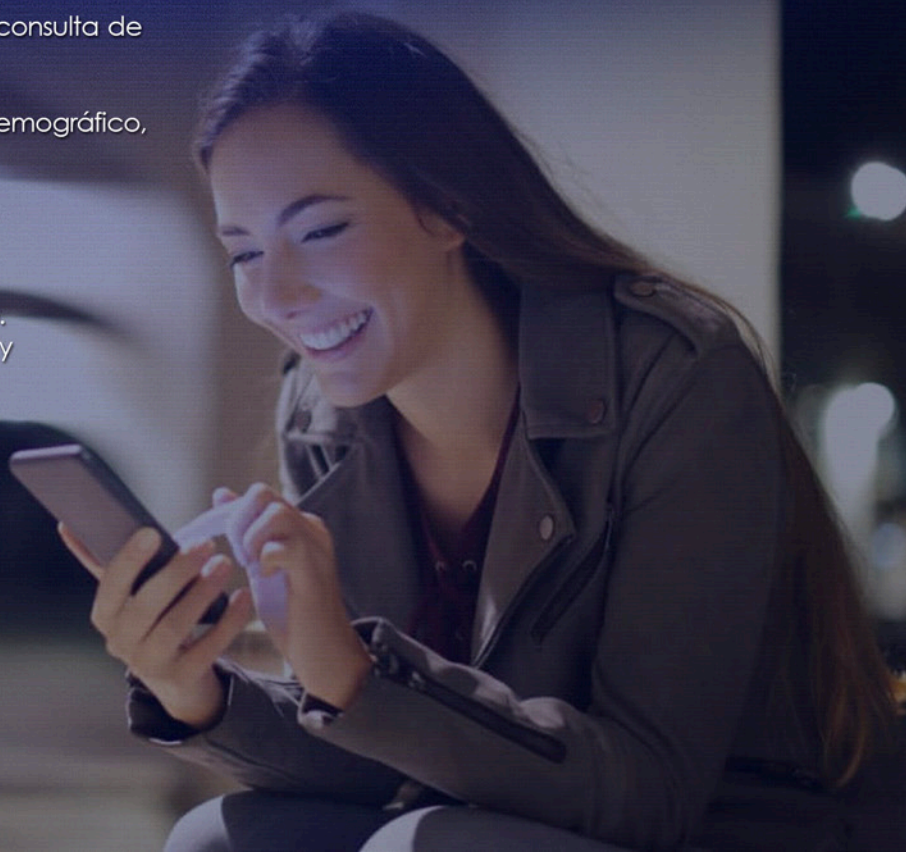
 **olade**

ORGANIZACIÓN
LATINOAMERICANA
DE ENERGÍA

LATIN AMERICAN
ENERGY
ORGANIZATION

ORGANIZAÇÃO
LATINO-AMERICANA
DE ENERGIA

ORGANISATION
LATINO-AMERICAINE
D'ENERGIE



LA ENERGÍA, EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL LENGUAJE DEL COSMOS: UNA APROXIMACIÓN AL DISEÑO DE MECANISMOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DESDE UNA PERSPECTIVA EINSTENIANA

*ENERGY, CLIMATE CHANGE AND THE LANGUAGE OF THE COSMOS:
AN APPROACH TO THE DESIGN OF ENERGY EFFICIENCY MECHANISMS
FROM AN EINSTEINIAN PERSPECTIVE*

Maximiliano Franco Camarda ¹

Recibido: 15/04/2022 y Aceptado: 22/12/2022
ENERLAC. Volumen VI. Número 2. Diciembre, 2022 (72 - 93)
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Slidebean de Unsplash.

1 Comisión de Eficiencia Energética del Comité de Energías Córdoba (CEC), Centro de Investigaciones y Estudios sobre Cultura y Sociedad (CIECS) - CONICET y Universidad Nacional de Córdoba (UNC). República Argentina

maxi_camarda@hotmail.com

Código de orcid.org: 0000-0002-3496-3193



RESUMEN

Hace más de cien años, la Teoría de la Relatividad General del notable científico Albert Einstein significó una revolución conceptual y una nueva cosmovisión del Universo. Por otro lado, luego de las revoluciones industriales la humanidad se encuentra sometida a los efectos adversos del cambio climático, producto del avance indiscriminado de las actividades antropogénicas y las emisiones de carbono atmosférico.

Desde antaño, los modelos económicos y energéticos han sido guiados a través de enfoques eminentemente técnicos, que ignoran parcial o totalmente la presencia de las fuerzas del Universo. De acuerdo a la Relatividad, la energía sigue un trayecto curvilíneo en el espacio-tiempo, en este sentido, la presencia de un enfoque holístico que contemple la influencia de la gravedad y sus implicancias sobre los sistemas de gestión de la energía es una necesidad genuina, tan genuina como la luz de las estrellas que se curva al pasar alrededor del sol.

Se presenta una aproximación de un Enfoque Einsteiniano que permita indagar en la búsqueda de nuevos paradigmas científicos que incluyan el análisis cosmológico en el diseño de mecanismos de eficiencia energética. Las conclusiones demuestran que, gravedad, espacio-tiempo, energía, clima y gestión energética, de alguna manera se encuentran enraizados con el Cosmos.

Palabras clave: Relatividad General, Enfoques Cosmológicos, Eficiencia Energética, Sistemas de Gestión de la Energía, Cambio Climático, Desarrollo Económico Sostenible.

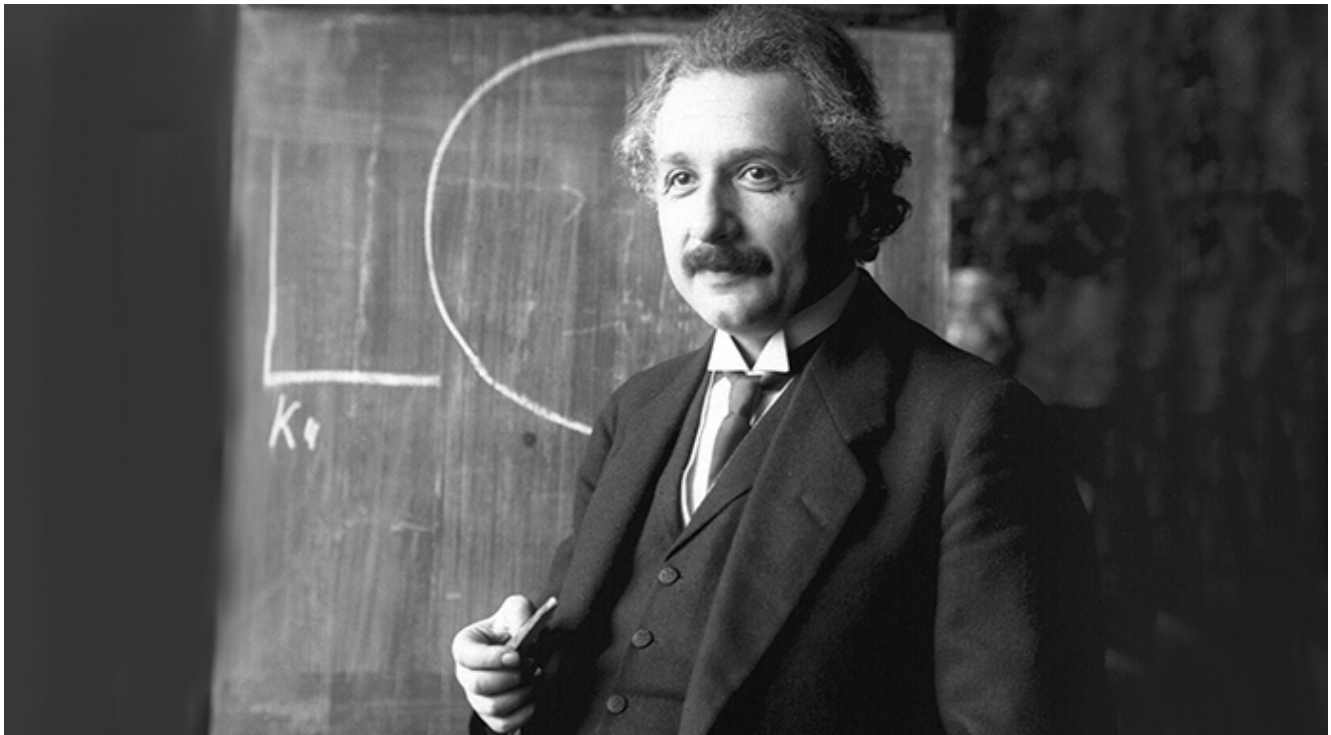
ABSTRACT

More than one hundred years ago, the Theory of General Relativity of the remarkable scientist Albert Einstein meant a conceptual revolution and a new worldview of the Universe. Besides, after the industrial revolutions, humanity is subdued to the adverse effects of climate change, caused by the indiscriminate advance of anthropogenic activities and atmospheric carbon emissions.

Since ancient times, economic and energy models have been led mostly by technical approaches, which partly or totally ignore the presence of the forces of the Universe. According to Relativity, energy follows a curvilinear path in space-time. In this sense, the presence of a holistic approach contemplating the influence of gravity and its implications on energy management systems is a genuine need, as genuine as starlight that deflects when passing near the edge of the sun.

Is presented an approximation of an Einsteinian Approach that allows us to investigate the search for new scientific paradigms that include cosmological analysis in the design of energy efficiency mechanisms. The conclusions show that gravity, space-time, energy, climate and energy management are somehow entrenched in the Cosmos.

Keywords: General Relativity, Cosmological Approaches, Energy Efficiency, Energy Management Systems, Climate Change, Sustainable Economic Development.



INTRODUCCIÓN

Hace más de ciento cincuenta años que las emisiones de carbono atmosférico vienen creciendo y el cambio climático se encuentra cada vez más presente en los diversos efectos nocivos sobre la biodiversidad, los ecosistemas terrestres, de agua dulce y oceánicos (IPCC, 2022). Según Canadell et al. (2007), la tasa de crecimiento del dióxido de carbono atmosférico (CO₂) se está incrementando rápidamente producto de tres procesos: i) el crecimiento de la economía mundial; ii) El crecimiento en la intensidad del carbono desde el año 2000; y iii) el aumento de la fracción del aire de las emisiones de CO₂ en un horizonte a cincuenta años, a causa de una menor eficiencia en la capacidad de absorción de gases a través de sumideros naturales, tales como, la tierra, los océanos y los bosques.

De un total de un billón de toneladas de carbono de emisiones antropogénicas, donde aproximadamente la mitad se ha emitido desde los inicios de la industrialización, los resultados demuestran un calentamiento inducido por el dióxido de carbono máximo de 2°C por encima de las temperaturas preindustriales (Allen et al., 2009; Knutti y Hegerl, 2008).


La situación climática actual, no sólo merece especial atención por parte de la comunidad política internacional, sino además requiere del diseño de mecanismos de cooperación climática que fomenten políticas de Estados genuinas y acordes a la situación de cada país y región. El surgimiento de acuerdos ambientales a nivel global que permita desarrollar instrumentos, mecanismos y políticas de mitigación y adaptación al cambio climático, es tanto una necesidad como una obligación soberana.

En los últimos siete años, desde el 12 de diciembre de 2015 en la 21^a Conferencia de las Partes (COP 21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) celebrada en París, se ha logrado un acuerdo

trascendente en la lucha contra el cambio climático (AUTOR, 2021). En este sentido, el Acuerdo de París posee como objetivo a largo plazo mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2°C respecto a los niveles preindustriales y realizar los esfuerzos necesarios para limitar el aumento a 1,5°C.

Para lograr los objetivos planteados, cada país a desarrollado un conjunto de acciones que integran sus Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional (NDC). Los cambios que deberán realizar cada uno de los países no son simples y requieren de grandes inversiones en infraestructura económica, energética y tecnológica.

Según Clarke, Edmonds, Krey, Richels, Rose y Tavoni (2009), el cambio en la arquitectura de políticas climáticas a nivel global requiere reformas trascendentes en los sectores energéticos y productivos, y la implementación de un abordaje holístico y multidisciplinario que contemple la universalidad de actores, sistemas de preferencias, necesidades, riesgos, beneficios y oportunidades intersectoriales inmersas en dicha transición energética.



**Los cambios que
deberán realizar cada
uno de los países
no son simples y requieren
de grandes inversiones en
infraestructura económica,
energética y tecnológica.**

Sin embargo, otros autores como Nordhaus (2018), sostienen que no se han registrado mejoras en las tendencias de las emisiones y advierte que existen datos concretos sobre la aceleración que tendrá el cambio climático en el próximo siglo si los gobiernos no cambian la tendencia de las políticas mínimas de acción climática. Además, Nordhaus considera poco probable el cumplimiento de los 2°C, incluso con políticas ambiciosas en un horizonte de corto plazo, debido a que las políticas se encuentran en una senda normal de políticas mínimas para reducir el nivel de emisiones. Si bien se pueden obtener mejoras que favorecen el interés socioeconómico nacional, se encuentran distantes de fomentar el interés global a través de políticas genuinas de cooperación.

En este contexto, las estrategias basadas en producción baja en carbono constituyen propuestas concretas para reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. Dos propuestas tangibles en este escenario climático que pueden fusionarse, hacen referencia al diseño de mecanismos de eficiencia energética y al diseño de mecanismos de energías renovables. Ambas estrategias deben integrarse a los efectos de potenciar los rendimientos energéticos y reducir al máximo las emisiones de carbono, colaborando con el proceso de transición energética.

El desarrollo de sistemas de gestión de la energía que permita a una organización acercarse a su óptimo energético, implica no sólo conocer las variables claves que afectan el rendimiento energético sino un conjunto de variables que, de manera directa o indirecta, afectan en pequeñas o grandes proporciones la capacidad de ahorro energético.

El concepto de eficiencia energética si bien empezó a tomar repercusión con la crisis del petróleo en 1973, donde se inicia un período de mayor consciencia sobre las limitaciones físicas en torno a los recursos fósiles, es a partir de la exposición del físico James Hansen en el

Congreso de EE. UU. en la década de 1980 donde se abrió el debate público sobre la cuestión climática (AUTOR, 2021). Si bien han pasado aproximadamente cinco décadas desde la aparición de estos nuevos paradigmas, la literatura sobre Eficiencia Energética (EE) carece de un enfoque holístico e integrado que comprenda la universalidad de variables que afectan a un modelo de gestión energética, en especial las variables cosmológicas. Algunos indicios pueden observarse en las medidas de irradiancia solar y en el análisis de los movimientos solares en el campo de las energías renovables, y en eficiencia energética en el sector de la construcción.

Gran parte de la literatura considera como principales restricciones dentro de los sistemas de gestión de la energía la influencia de las instituciones, el sistema de gobernanza, el sistema de políticas, y la capacidad local para identificar oportunidades de EE entre otras (AIE, 2015; AUTOR, 2020; Carpio y Coviello, 2014; Delgado, 2019). Por otro lado, enfoques técnico-económicos consideran al ahorro de energía como una variable dependiente del precio de la energía y la tecnología, el sistema impositivo y de subsidios, las características del mercado y el contexto económico en general (Bouille, 1999).

No obstante, existen otros grupos de variables inherentes a las fuerzas de la naturaleza y el universo que son omitidas, parcial o totalmente, y que sin embargo ejercen continuamente su influencia sobre la energía generada y utilizada en el planeta Tierra.

Desde esta perspectiva, podemos decir que el objetivo del presente trabajo es realizar una breve aproximación de las implicaciones que posee la Teoría de la Relatividad en el diseño de mecanismos de eficiencia energética (que muy bien podrían aplicarse al campo de las energías renovables y a los mercados de bienes y servicios). Este objetivo implica, introducir las ideas fundamentales de la Relatividad Especial y General, la noción de espacio-tiempo,

ondas gravitacionales, y fundamentalmente la incidencia de la gravedad en el ejido espacio-tiempo. Se contempla la relación existente entre el cambio climático, el geomagnetismo, la fuerza de gravedad y las estructuras espacio-tiempo que modifican el recorrido que ha de seguir la energía. La principal variable de análisis en el trabajo es la gravedad, lo que no implica el desconocimiento de otras fuerzas como el geomagnetismo, que pueden servir como objeto de investigación de futuros trabajos.

El análisis de las implicaciones sobre los mecanismos de eficiencia energética dentro de un sistema de gestión de la energía, desde un Enfoque Einsteiniano o Relativista de la Energía, nos invita a repensar la influencia de las fuerzas del Cosmos y los efectos que ellas poseen sobre la Tierra.

Un Enfoque Einsteiniano o Relativista de la Energía, implica considerar un abordaje holístico de la gestión energética, donde confluyen las variables asociadas a las fuerzas de la naturaleza, el Cosmos y las variables propiamente dichas de un sistema de gestión de la energía que ya conocemos a través de la literatura sobre EE.

EL SOL, EL GEOMAGNETISMO Y LAS TECNOLOGIAS DE LA TIERRA

Nada de lo que sucede en la Tierra es ajeno a lo que acontece en el Cosmos, y todos aquellos sucesos que se generan en la vastedad del Cosmos, de alguna u otra manera repercuten en la Tierra. Un claro ejemplo de ello lo constituyen la generación de ondas gravitacionales producto de explosiones estelares, supernovas, estrellas de neutrones, colisiones de objetos supermasivos como las fusiones de agujeros negros, formaciones de portales cósmicos interdimensionales (agujeros de gusano), etc.

El sol de nuestra galaxia, la Vía Láctea, es una estrella brillante llena de luz situada aproximadamente a 150 millones de km de la Tierra. Los fotones de luz solares, permiten el desarrollo

de la vida en la Tierra, de las especies vegetales, animales y el ser humano. El sol es la única estrella del sistema solar, que es la principal fuente de energía externa para el sistema climático de la Tierra. Se cree que la variabilidad solar, a través de la actividad magnética intrínseca del sol es uno de los factores impulsores naturales importantes para el cambio climático de la Tierra (Baker, 2000; Zhao, Soon y Velasco Herrera, 2021). Adviértase sobre ciertas contradicciones en el debate sobre la incidencia de la variabilidad solar en el siglo XIX en Soon, Connolly y Connolly (2015).

Dentro del conjunto de incertidumbres que afectan la modelización de los efectos del clima, los cambios en la irradiancia solar no dejan de ser irrelevantes. Por ejemplo, en Haigh (1996), se utilizó un modelo de circulación general para simular los cambios en la radiación solar y el ozono estratosférico, a los efectos de indagar en la respuesta de la atmósfera al ciclo de actividad solar de 11 años. Según Nesmeribes, Ferreira, Sadourny, Le Treut y Li (1993), el estudio y comprensión de los efectos del sol permite construir escenarios que relacionen los intercambios de energía a nivel magnético, térmico, gravitacional y cinético en la Tierra.

Además, la actividad geomagnética de la Tierra muestra cierta dependencia de los ciclos solares. En este proceso la fuerza de gravedad no es ajena a este fenómeno natural entre el sol y el campo magnético de la Tierra. Una tormenta geomagnética es una perturbación significativa en el campo magnético de la Tierra (Haines, Owens, Barnard, Lockwood y Ruffenach, 2019). Para un mayor análisis de la incidencia de las corrientes magnetosféricas sobre la Tierra puede consultarse el trabajo de Iyemori (1990).

Por otro lado, ya que la magnetósfera y la ionósfera de la Tierra tienen su propio clima espacial, las tormentas del clima espacial pueden causar problemas tecnológicos, así como daños en las redes eléctricas e interrupciones en los sistemas satelitales (Bergin,

Chapman, Moloney y Watkins, 2022). Aquí se presenta un caso sobre la importancia del análisis integrado entre geomagnetismo, gravedad, clima espacial y la eficiencia y vulnerabilidad de la tecnología terrestre y aeroespacial.

Siguiendo el trabajo de González, Tsurutani y Clúa de González (1999), las nubes magnéticas con campos magnéticos centrales muy intensos tienden a tener grandes velocidades, lo que implica campos eléctricos interplanetarios de gran amplitud que pueden provocar tormentas muy intensas. En este sentido, la variabilidad en las condiciones del viento solar cercano a la Tierra puede afectar negativamente a una serie de tecnologías terrestres y espaciales. Se espera que el impacto del clima espacial en la infraestructura terrestre aumente principalmente con la intensidad de la tormenta geomagnética, pero también con la duración de la tormenta.

El análisis de estos fenómenos y las actividades relacionadas con la pronóstico de la duración de una tormenta, son necesarias para programar un conjunto de acciones que permitan la reanudación del funcionamiento, la seguridad y la eficiencia de la infraestructura tecnológica afectada.

TEORIA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD

La Teoría Especial de la Relatividad (TER) fue formulada por el célebre científico Albert Einstein en el año 1905. Esta teoría tuvo grandes repercusiones en la forma de comprender los fenómenos físicos, generando una nueva manera de pensar e interpretar la física conocida hasta aquel momento. Conceptos trascendentes como el espacio, el tiempo, la materia y la energía formaban parte de una nueva cosmología del Universo que empezaba a surgir.

En el campo de la Relatividad, existen dos importantes postulados:

1. El Principio de Relatividad: La formulación de las leyes de la física debe ser invariante bajo transformaciones de coordenadas entre sistemas inerciales.

2. El Principio de constancia de la velocidad de la luz: La velocidad de la luz es constante en todos los sistemas de referencia inerciales. La velocidad de la luz es aproximadamente 300,000 km/s.



Foto de Raychel Sanner de Unsplash.

Algunos acontecimientos previos al año 1905, condujeron a Einstein a repensar los conceptos newtonianos de espacio-tiempo, considerados hasta entonces como variables de carácter absolutas. Uno de ellos, fue el experimento Michelson-Morley realizado en el año 1887 para detectar la velocidad con que se movía la Tierra respecto al hipotético éter lumínico. El hipotético éter lumínico, es un concepto que en Kardec (2017) se denomina fluido energético universal o materia cósmica primitiva. Son inherentes al éter las fuerzas que han presidido la metamorfosis de la materia, las leyes inmutables y necesarias que rigen al mundo. Este fluido etéreo colma e impregna el espacio penetrando en cada partícula de todos los elementos presentes en la vastedad del Cosmos.

Según González, Valcárcel y Cristancho (2009), en la mecánica clásica los conceptos de espacio y tiempo son independientes, de tal manera que las transformaciones cinemáticas entre observadores inerciales (transformaciones de Galileo), dan una escala universal de tiempo que es igual para todos los observadores inerciales.

Para demostrar las inconsistencias entre los resultados del experimento de Michelson-Morley, las transformaciones de Galileo y las leyes del electromagnetismo, Einstein estableció la invalidez de las transformaciones de Galileo, declaró la invariancia de las leyes de la física y la invariancia en la velocidad de la propagación de la luz para todos los observadores inerciales.

Desde una perspectiva Einsteniana, las implicaciones en el campo de la física y la cosmología condujeron a la sustitución del espacio tiempo absoluto por un espacio-tiempo continuo, el denominado espacio-tiempo de Minkowski y el reemplazo de las transformaciones de Galileo por las transformaciones de Lorentz. En palabras de Kardec (2017), el tiempo sólo es una medida relativa de una sucesión de eventos transitorios. Por ejemplo, desde su génesis la Tierra al girar sobre su

propio eje, determina el día y la noche con una duración aproximada de 24 horas; al trasladarse sobre la órbita alrededor del sol, determina el conteo de los 365 días. Cada mundo, en cada galaxia, posee su propia mecánica. En este sentido, el tiempo es sólo una medida relativa de una sucesión concatenada de eventos perfectamente diagramados en una determinada realidad del Cosmos.

En un espacio de cuatro dimensiones (espacio-tiempo de Minkowski), Einstein predijo algunos efectos de la relatividad especial cuando se aplicaban las transformaciones al mismo espacio-tiempo. Uno de esos efectos, es que los observadores que se encuentran en movimiento podrán identificar y medir distintos intervalos de espacio (longitudes), y diferentes intervalos de tiempos (duración de los eventos).

Por ejemplo, con respecto a los intervalos de espacio, si un observador en estado estacionario sostiene un objeto cuya medida es un metro de extensión, este objeto tendrá una longitud inferior respecto a un observador que posee el mismo objeto, pero en movimiento a una velocidad de $0,90c$ (c : velocidad de la luz). Este efecto es conocido con el nombre de contracción de la longitud.

Por otro lado, los intervalos de tiempo y la duración de los eventos resultarán más extensos para observadores en movimiento relativo con respecto a un observador en estado estacionario. Este efecto cinemático se denomina dilatación de los intervalos temporales. Los diferentes observadores inerciales tienen escalas de tiempo diferentes cuando se comparan las mediciones en cada uno de sus relojes. Este efecto de dilatación del tiempo ha sido corroborado experimentalmente a través de distintas pruebas, una de ellas son los viajes alrededor de la Tierra comparando un reloj fijo en la superficie terrestre, con un reloj en movimiento dentro de una nave espacial (González, Valcárcel y Cristancho, 2009).

La teoría especial de la relatividad, es una teoría que permitió comprender que el espacio y el tiempo no son variables independientes, sino por el contrario, se trata de variables eminentemente entrelazadas (Maldacena, 2005).

Equivalencia Masa Energía

Una de las consecuencias de la TER fue el descubrimiento de la ecuación más famosa de Einstein, denominada Equivalencia Masa-Energía (1). A partir de esta ecuación, es posible convertir masa en energía y viceversa.

$$E = m c^2 \quad (1)$$

Donde:

E: Niveles de energía de un sistema.

m: Niveles de masa de un sistema.

c^2 : Velocidad de la luz elevada al exponente número dos.

En la relatividad especial, el aumento de la velocidad de un objeto y por lo tanto de su energía cinética genera como resultado un incremento en los niveles de masa de dicho objeto. Para Einstein, un aumento en la energía de un objeto o sistema produce un aumento en los niveles de masa, y dicho efecto por más pequeño que sea puede cuantificarse.

Por lo tanto, como consecuencia de la equivalencia masa-energía, un cambio en los niveles de energía es equivalente a un cambio en los niveles de masa y viceversa. Un aumento o disminución de la energía de un objeto o un sistema genera un aumento o disminución en sus correspondientes niveles de masa; y un aumento o disminución en los niveles de masa se corresponde con un aumento o disminución en los niveles de energía de dicho objeto o sistema. En otras palabras, los niveles de masa constituyen una medida de una cierta cantidad

equivalente de energía que se encuentra contenida en un objeto o sistema; y por complementariedad, dado un cierto nivel de energía que posee un objeto o sistema podemos identificar los niveles de masa asociados.

Desde esta perspectiva, para ciertos cambios en E y m, dado que la velocidad de la luz es una constante universal obtenemos la siguiente expresión (2):

$$\Delta E = \Delta m c^2 \quad (2)$$

Donde:

ΔE : Variaciones en los niveles de energía de un objeto o sistema.

Δm : Variaciones en los niveles de masa de un objeto o sistema.

En el proceso de construcción de la relatividad general, transcurrieron diez años a partir de la creación de la relatividad especial. Antes de describir brevemente la relatividad general en la página 84, es necesario indagar en el concepto de fuerza de gravedad, en los efectos del clima sobre la misma y en el concepto de ondas gravitatorias, para comprender la importancia de esta variable dentro del modelo cosmológico Einsteiniano.

LA GRAVEDAD: UNA FUERZA DE EQUILIBRIO UNIVERSAL

De acuerdo a la Teoría Newtoniana de la gravedad, dos cuerpos masivos se atraen mutuamente mediante la fuerza gravitacional. Según Maldacena (2005), en la teoría de Newton las fuerzas gravitacionales son instantáneas. Por ejemplo, si lográramos mover y alejar al Sol de la Tierra en este preciso momento, sentiríamos el cambio de la fuerza gravitacional de dicho astro inmediatamente aquí en nuestro planeta. Si ello ocurriera, al acrecentar las

distancias entre la Tierra y el Sol las intensidades de los efectos gravitatorios se reducirían, y la traslación de la Tierra extendería su plazo de 365 días para dar la vuelta completa alrededor del Sol. Sin lugar a dudas cambiaría la reciprocidad gravitatoria entre el Sol y la Tierra, con todos los efectos correspondientes sobre radiación solar, magnetismo, ciclos de vida, etc.

Por otro lado, la relatividad Einsteiniana afirma que la información no puede viajar más rápido que la velocidad de la luz. Por lo tanto, siguiendo a Maldacena (2005), si movemos al sol sólo podríamos sentir el efecto en la Tierra después de ocho minutos, que es el tiempo que demora la luz en viajar del Sol a la Tierra. Aunque si alejáramos al Sol, seguramente esta duración sería mayor.

Para Einstein, la Gravedad (G) es una fuerza de equilibrio universal existente en todos los elementos del Cosmos. Es una fuerza eminentemente ligada al éter cósmico, que permite una armonía perfecta entre todos sus elementos.

La gravedad existe desde los inicios del universo, es una fuerza eterna, por lo tanto, podríamos afirmar que su trazabilidad espacio-temporal es infinita. A medida que el universo se fue desarrollando, una gran cantidad de materia y energía fue tomando la forma de estrellas, constelaciones, planetas, galaxias, agujeros negros, portales cósmicos interdimensionales (PCI) o “agujeros de gusano”, etc. El fluido energético es lo que permite unir esa materia y energía para dar origen a nuevos fenómenos y elementos del Cosmos, y la gravedad es la fuerza que otorga la capacidad energética necesaria para que estos elementos puedan alcanzar un equilibrio armónico y sistémico a través de diferentes mecanismos de reciprocidad. Por ejemplo, la gravedad permite que los planetas se encuentren en órbita alrededor de las estrellas, tal es el caso de la Tierra que gira alrededor del sol. También la gravedad permite la unión de conjuntos de estrellas para formar grandes galaxias giratorias.

De acuerdo a la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), la gravedad es la fuerza que determina el peso de un objeto en la Tierra y se encuentra condicionada por los distintos materiales existentes y la forma en que estos se distribuyen en la Tierra. En este sentido, debido a que el planeta se encuentra estratificado en capas de diversa composición y estructuras, la Tierra no es una esfera uniforme. Esta heterogeneidad del planeta conlleva a que su densidad tampoco sea uniforme. Estas son algunas de las razones, por las que el campo gravitatorio de la Tierra es distinto en cada punto de georreferenciación. Bajo estas condiciones, dada la presencia de distintas medidas de gravedad sobre la Tierra, podemos decir que el peso de los cuerpos, el movimiento de los objetos y la estructura espacio-tiempo adquieren también diversos matices.

La gravedad refleja perfectamente la topografía de la Tierra tales como, cadenas montañosas, mesetas, llanuras, bosques, islas volcánicas, fosas oceánicas, etc. La fisonomía de la Tierra condiciona la gravedad a través de sus baches, protuberancias, pendientes y depresiones, observados en los diferentes períodos de formaciones geológicas. Las formaciones más densas como las cadenas montañosas y las cordilleras ejercerán una atracción gravitacional más grande que los lugares compuestos por materiales menos densos como el agua. Por ejemplo, las cuencas de los océanos profundos se corresponden con las depresiones del campo gravitacional, ya que el agua de mar es menos densa que la roca, y en los océanos las profundidades son diversas.

En contraposición a lo enunciado, si suponemos que la Tierra se mantiene estática, no ejerce su capacidad de rotación, los materiales bajo sus capas son todos iguales con una distribución perfectamente simétrica, y si la Tierra fuese una esfera perfecta, pues entonces, la fuerza de gravedad se distribuiría de manera homogénea en todo el planeta. Ya que la densidad y el tipo de material cambian

en cada parte de la Tierra, por ejemplo, sabemos que la corteza oceánica es más densa que la corteza continental. De esta manera, las personas que viven en la superficie terrestre donde debajo existe corteza oceánica experimentarán una gravedad más intensa que las personas que viven en una superficie terrestre donde debajo predomina la corteza continental.

En este sentido, hay ciertas regiones del planeta donde el campo gravitacional es más intenso que en otras, y esto depende de los siguientes factores entre otros: i) La relación de reciprocidad gravitatoria existentes entre los planetas; ii) La distancia de un punto de la superficie respecto al centro de la Tierra; iii) La densidad del material existente debajo de la corteza terrestre, con su respectiva distribución; y iv) La fuerza centrífuga existente en cada punto georreferencial.

Otros efectos gravitatorios pueden considerarse con respecto a la densidad del manto de la Tierra. El calor del núcleo de la Tierra calienta la base del manto y el material en contacto comienza a ascender a la superficie. Esas masas de material caliente son menos densas que las rocas frías y, por lo tanto, su fuerza gravitatoria posee menor intensidad. Existen regiones del manto terrestre con distinta densidad y temperatura, donde la gravedad allí es volátil. Un trabajo interesante sobre el campo potencial de gravedad y la temperatura en el manto en el penacho de Islandia y el Atlántico Norte a partir de tomografía, puede observarse en Marquart y Schmeling (2004).

La observación de la gravedad terrestre constituye también una herramienta científica para descifrar la estructura geológica del subsuelo que representa su configuración tectónica y sus relaciones con la actividad sísmica. Dos áreas de estudio importantes en este campo junto al estudio de la gravedad, lo encontramos en la litoestratigrafía y la bioestratigrafía. En Fathy, Zahran, Radwan, Sabet y Hamed (2013) se realiza un estudio de esta índole en la península de Sinaí.

Otro punto interesante, son las modificaciones de la gravedad en las cercanías a la línea del Ecuador o los polos de la Tierra. A medida que nos alejamos del Ecuador y nos acercamos a los polos la gravedad tiende a aumentar. Además, dentro cada región se pueden presentar distintas áreas donde la gravedad varía.

La evolución que ha tenido el planeta desde sus orígenes ha dado origen a diferentes períodos geológicos con diversas formaciones, tanto en la estructura interna de la Tierra como en la superficie aérea, terrestre y acuífera. En todo este proceso de morfogénesis, la gravedad ha ido mutando conforme la Tierra cambiaba en los diferentes períodos geológicos (Kardec, 2017). Desde esta perspectiva, la evidencia empírica demuestra que la gravedad es un componente eminentemente dinámico. Comprobamos, de acuerdo a Maldacena (2005), que la estructura espacio-tiempo también es dinámica, no es rígida, y son variables entrelazadas naturalmente con la gravedad.

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU RELACIÓN CON LA GRAVEDAD

Uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad en el siglo XXI, es el desarrollo de una gestión eficiente y equitativa del cambio climático (CEPAL, 2015; IPCC, 2022). Los cambios acontecidos en el clima, producto de más de un siglo de emisiones antropogénicas han incrementado la temperatura de la Tierra generando grandes y complejos cambios.

Las mediciones directas y la teledetección desde satélites y otras plataformas indica que el cambio climático posee diversas manifestaciones ambientales, entre ellas podemos mencionar las siguientes: i) aumento de la temperatura atmosférica y oceánica, ii) cambios en los patrones de precipitaciones, iii) decrecimiento de los volúmenes de hielo y nieve, iv) incremento del nivel del mar y, v) modificaciones de los patrones de fenómenos climáticos extremos.

Las sequías, el proceso de evaporación del agua, y la transformación del agua del estado sólido a líquido y/o gaseoso, genera cambios en el estado de la materia. En este sentido, las regiones expuestas a sequías e inundaciones sufrirán alteraciones en los niveles de reservorio de agua, modificando los niveles de masa y energía de dichos reservorios generando efectos cuantificables sobre el campo gravitacional asociado.

El proceso de deforestación cambia el estado de la materia y la energía en los bosques, deteriorando el proceso de captación de CO₂ del aire y la capacidad de absorción de agua que realizan las especies arbóreas.

El proceso de deforestación cambia el estado de la materia y la energía en los bosques, deteriorando el proceso de captación de CO₂ del aire y la capacidad de absorción de agua que realizan las especies arbóreas. Una de las graves consecuencias de este proceso de deforestación son las inundaciones, por lo general, en época de lluvias.

Aunque los cambios sean extremadamente pequeños, imperceptibles para el ojo humano, existen diferencias en el grado de intensidad de la fuerza gravitacional, y dicha diferencia a través de la tecnología adecuada puede identificarse, evaluarse y medirse. Un ejemplo concreto, es el derretimiento de la superficie de hielo en el Ártico y la Antártida, lo que ha generado una disminución progresiva de los

niveles de masa de agua en estado sólido y, por consiguiente, ha incrementado los niveles de masa de agua en estado líquido. En Chen, Wilson, Blankenship y Tapley (2009) puede observarse una cuantificación para la realización de un balance sobre la masa de la capa de hielo polar a partir de los datos de GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*). Los cambios en la masa de hielo, también a partir de GRACE, en la región sureste de Groenlandia entre abril de 2002 y noviembre de 2005 sugiere un derretimiento acelerado desde el verano de 2004 (Chen, Wilson y Tapley, 2006)

Tal como plantean Abdelmalik y Abdelmohsen (2019), la comprensión de los cambios espacio-temporales en el comportamiento de la masa total de agua terrestre resulta un tema de vital importancia en el análisis y evaluación de las cuencas y reservorios hidrológicos. El estudio de estos autores se centra en la cuenca del Río Nilo.

En el trabajo de Mendoza (2021), puede observarse la variación espacio-temporal de las anomalías en el campo gravitacional que se encuentran asociadas al cambio total de agua almacenada y la precipitación en la región Lima-Callao en Perú. De acuerdo a este autor, estas investigaciones permiten comprender mejor las variaciones del agua total almacenada, incluyendo fundamentalmente el agua subterránea, y su relación con eventos hidrológicos extremos como el fenómeno denominado El Niño - Oscilación Sur (ENOS). El conocimiento del almacenamiento de agua subterránea ayuda a comprender el ciclo hidrológico de manera integral en relación al cambio climático (Chen, Li, Zhang y Ni, 2014).

Si bien la medición de este tipo de fenómenos es compleja por la gran cantidad de variables que intervienen en el proceso, gracias a la misión GRACE, la medición de la gravedad a través de gravimetría satelital se ha convertido en una herramienta exitosa para cuantificar cambios en el almacenamiento de agua terrestre a gran escala.

Los procesos antropogénicos y los procesos naturales como los cambios de estación, el estado del tiempo y los reajustes de la Tierra, pueden modificar el estado, los niveles y el curso del agua, y con ello alterar la intensidad de los campos gravitatorios.

Las implicancias de este tipo de análisis, no sólo sirven como herramienta en la gestión global del cambio climático, sino que además posee ventajas en el análisis de la incidencia económica y ambiental sobre los sectores económicos, por ejemplo, el sector agropecuario (Mohamed, 2020) y las comunidades rurales que necesitan de tan preciado recurso, vital para la subsistencia humana y de las especies vegetales y animales.

Implicaciones de los cambios en el Clima y la Gravedad sobre los Sectores Energéticos

En el campo de la energía, podemos observar cómo influyen las variaciones espacio-temporales del campo gravitacional sobre la gestión energética de represas hidroeléctricas o centrales de energía mareomotriz. El análisis en el manto de la Tierra, y cómo se distribuye la gravedad intraterrena en las profundidades de la tierra podría servirnos para indagar en las posibilidades de generación de energía geotérmica.

Además, los cambios acontecidos en el sector agropecuario como consecuencia de fenómenos climáticos, también influyen en la oferta de recursos destinados a la producción de biocombustibles, tales como, biodiesel, bioalcoholes (bioetanol, biometanol, biobutanol), biogás, gas de síntesis, biocombustibles sólidos (madera, carbón vegetal y aserrín). Los cambios en el clima y las mediciones de la gravedad nos brindan información sobre la capacidad de generación de energía en los sectores involucrados y en el precio de los recursos y derivados energéticos.

El cambio climático genera cambios en la morfología del planeta Tierra, y dichos cambios pueden observarse en la modificación de la

intensidad gravitatoria. En consecuencia, tanto los cambios naturales como los cambios producidos por actividades antropogénicas, generan perturbaciones en la gravedad y en la estructura espacio-tiempo de la Tierra.

El análisis de la gravedad permite desarrollar sistemas de gestión de la energía más integrales y eficientes compatibles con el clima de la Tierra, así como también mejorar la asignación de recursos en los distintos sectores económicos.

TEORÍA DE LA RELATIVIDAD GENERAL

En 1915, Einstein a través de la Teoría de la Relatividad General (TRG) sembró la semilla de un gran árbol de conocimientos que nunca dejó de crecer con cada constatación científica, cual capullo de una flor que nace y renace en cada primavera. La TRG cambió la forma de concebir el Cosmos, pero no sólo eso, sino también cambió la forma de concebir la relación entre la Tierra y los elementos que habitan en la vastedad del Cosmos (Romero, 2015). Nuevamente, Einstein introdujo cambios notables en la interpretación del tiempo, el espacio, los cuerpos, la gravedad y la energía (Bernal y Sánchez Caja, 2015). La TRG conecta la curva espacio-tiempo con la distribución de materia y energía existente en él.

Para Einstein, los objetos del cosmos que contienen materia y energía generan un campo electromagnético y gravitatorio a su alrededor, lo que genera modificaciones en lo que conocemos como estructura espacio-tiempo. Cuanto mayor es la cantidad de materia y energía que contiene y libera dicho objeto, tanto mayor es la intensidad del campo gravitatorio, en consecuencia, tanto mayor es la deformación de la curvatura espacio-tiempo alrededor del objeto.

Al aplicar el principio de equivalencia, la luz se desvía de la trayectoria recta ante la presencia de la gravedad. La luz sigue un camino determinado por líneas geodésicas. Por ejemplo, las trayectorias elípticas que poseen los planetas en su proceso de traslación alrededor del sol, son

rutas geodésicas compatibles con un espacio-tiempo curvo. Desde esta perspectiva Einsteiniana, la geometría del Cosmos no es compatible con la geometría Euclidiana. En este sentido, la geometría del espacio-tiempo no se encuentra fija, por el contrario, es un ejido con cierto grado de flexibilidad y elasticidad asociado con la distribución de materia y energía que poseen los distintos sistemas físicos (Maldacena, 2005).

Para resumir, la ecuación de Einstein se trata de un sistema de diez ecuaciones diferenciales no lineales en derivadas parciales, que pueden sintetizarse a través de la siguiente expresión (3):

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = T_{\mu\nu} \quad (3)$$

Donde, el término de la derecha $T_{\mu\nu}$ contiene una expresión matemática del contenido de energía e impulso de cualquier sistema material cuyos efectos gravitacionales se quieren conocer. El lado izquierdo de la fórmula, contiene la representación de la gravedad como un campo, el campo métrico g , y complejas relaciones entre las variaciones de ese campo codificadas a través de R , el denominado tensor de Ricci.

Einstein, ante las críticas de sus colegas, defensores de la teoría newtoniana, afirmaba que la gravedad es una fuerza que distorsiona el ejido espacio-tiempo introducido por Hermann Minkowski en 1907. Esa distorsión es causada por cualquier sistema físico con energía.

En la Teoría Especial de la Relatividad, Einstein había demostrado que el espacio-tiempo no es absoluto, y que depende de factores como el estado del movimiento del sistema físico u objeto en estudio. No obstante, en la TRG se amplía y completa la TER afirmando que no sólo el movimiento afecta el espacio-tiempo, sino el mero hecho que exista un cuerpo o sistema con energía.

Einstein, luego de publicar sus ecuaciones básicas demostró que, si el campo gravitacional se perturba, la perturbación se propaga a la velocidad de luz en forma de onda. Como la gravitación es el campo métrico que determina la separación de eventos o sucesos en el espacio-tiempo, la onda es una onda de espacio-tiempo que contrae y dilata longitudes e intervalos a su paso.

De acuerdo a Galindo Tixaire (2006), numerosos experimentos y observaciones astrofísicas comprueban la RG, entre ellos podemos mencionar los siguientes:

- i) La producción de partículas elementales en los grandes aceleradores y su fenomenología de alta precisión a través del modelo estándar.
- ii) La desviación y retraso de la luz en campos gravitatorios.
- iii) El avance de periastrós.
- iv) La dilatación gravitacional del tiempo.
- v) Estallidos de rayos gamma, cuásares, supernovas, agujeros negros, etc.

ONDAS GRAVITACIONALES

Las Ondas Gravitacionales (OG) constituyen una de las predicciones más importantes de la Teoría de la Relatividad General. La constatación de este fenómeno, no sólo ha sido un resultado trascendente en el campo de la física y la cosmología, sino que además constituye una certeza para la humanidad que comprueba que las causas de determinados eventos a millones de años luz en el Cosmos, de una u otra manera, repercuten en el planeta Tierra. Desde una perspectiva Einsteiniana, nada de lo que sucede en el Cosmos es ajeno a lo que sucede en la Tierra, y nada de lo que sucede en la Tierra es

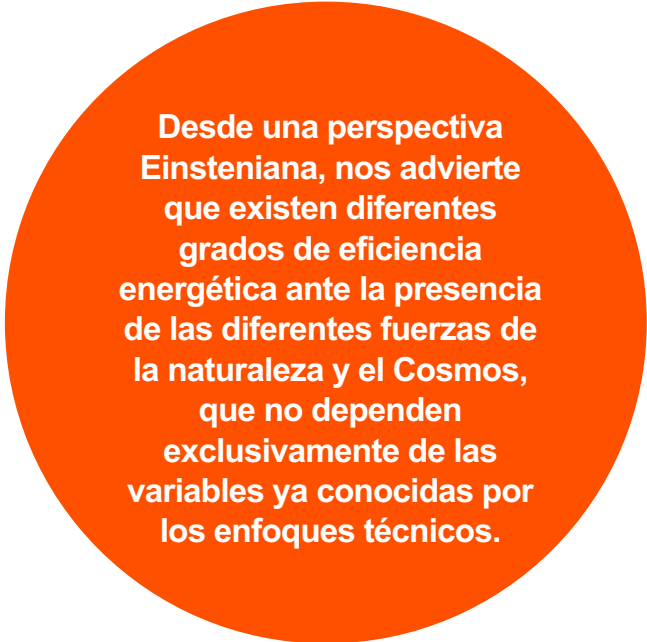
ajeno a lo que sucede en el Cosmos. Existe, de alguna manera y con cierto grado de reciprocidad entre los elementos del Cosmos una relación dinámica que se encuentra impregnada a través del fluido energético universal o materia cósmica.

En el campo de la física una onda consiste en la propagación de una perturbación de alguna propiedad del espacio, por ejemplo, la densidad, la presión, el campo eléctrico, y el campo magnético, desde un punto del espacio-tiempo hacia otro punto del espacio-tiempo. Según Moreno, García, Lara y Ramírez (2008), el movimiento ondulatorio se manifiesta en casi todas las ramas de la física, por ejemplo, en la mecánica, el electromagnetismo, la gravitación y la mecánica cuántica.

Las OG son producidas por masas en movimiento, de manera similar a las ondas electromagnéticas que se generan por cargas en movimiento. De las cuatro interacciones fundamentales, la electromagnética, la fuerza débil y la fuerte, la gravedad es la más débil de todas, por lo que las ondas gravitacionales son muy pequeñas. De ahí, que la identificación de las mismas llevó prácticamente un siglo, hasta que la mente humana y la tecnología estuvieron en condiciones de hacerlo. En términos físicos, una OG intensa produciría desplazamientos del orden de 10-18 metros, una cantidad mil veces más pequeña al diámetro de un protón.

Para Einstein los fenómenos más intensos del Cosmos, como la explosión de una supernova, de una estrella de neutrones, o el colapso o fusiones de agujeros negros, liberan gran cantidad de energía en forma de ondas gravitacionales que se propagan en el espacio-tiempo a la velocidad de la luz (Baker, Centrella, Choi, Koppitz y van Meter, 2006; Sotani y Dohi, 2022; Suvorova, Powel y Melatos, 2019). Dado que este descubrimiento fue hace más de cien años, no existía la tecnología para captar dichas señales que llegaban a la Tierra en forma muy débil.

En el año 1992 el físico Kip Thorne y Ronald Drever de Caltech, junto a Rainer Weiss del MIT, fundaron un nuevo experimento destinado a detectar y medir ondas gravitacionales. El proyecto se llamó LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory). Es un instrumento en forma de "L", que consta de dos interferómetros situados a 3000 km de distancia uno de otro, uno ubicado en Hanford (Washington) y el otro en Livingston (Louisiana). Cada brazo posee 4 km de distancia. Dado que las ondas gravitacionales cuando interactúan con la materia comprimen los objetos en una dirección, y lo estiran en una dirección perpendicular, los brazos tienen forma de "L".



Desde una perspectiva Einsteiniana, nos advierte que existen diferentes grados de eficiencia energética ante la presencia de las diferentes fuerzas de la naturaleza y el Cosmos, que no dependen exclusivamente de las variables ya conocidas por los enfoques técnicos.

El 14 de septiembre de 2015, los detectores de LIGO captaron la primera señal de una OG producida por la colisión de dos agujeros negros decenas de veces más grandes que el sol. La onda expansiva viajó 1300 millones de años luz hasta ser captada. El tamaño de la señal era aproximadamente 1000 veces más pequeño que el diámetro de un protón. Este hallazgo, significó un esfuerzo de casi medio siglo con la participación de 1200 científicos e ingenieros de la colaboración LIGO/Virgo (Thorne, 2018).

Tal es la importancia de este acontecimiento, que en 2017 la Real Academia de Suecia otorgó el Premio Nobel de Física a Rainer Weiss, Barry Barish y Kip Thorne, por la observación y detección de ondas gravitacionales.

La detección de OG, es un claro fenómeno asociado a las fuerzas del universo que se manifiestan en la Tierra a pesar de las distancias siderales; constituye sólo un mero ejemplo que pone al descubierto que el evento más desconocido para el vulgo, es una consecuencia plausible de la interacción recíproca entre los diferentes elementos del Cosmos. Dicho hallazgo científico, concebido intelectualmente por Einstein y corroborado un siglo después, nos invita a repensar los enfoques de gestión existentes en nuestro planeta que consideran una Tierra aislada del Cosmos, fundamentalmente en el campo de la gestión energética.

IMPLICACIONES DE LA RELATIVIDAD DE EINSTEIN SOBRE EL DISEÑO DE MECANISMOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Actualmente, vestigios del espacio tiempo absoluto e independientes pueden observarse en la literatura académica en numerosos trabajos de investigación. El análisis de los sectores económicos y energéticos no es la excepción. Por ejemplo, si observamos cualquier gráfico donde se pretende representar la producción de energía, el consumo energético, la evolución de la intensidad energética, etc. se notará que, en el eje de abscisas de un sistema de coordenadas cartesiano, siempre se representa el tiempo con el símbolo t , mientras que la energía, como cualquier indicador resultante de ella, se tratan de variables que fluyen en una cierta dimensión espacio-tiempo. Existe una clara disociación del espacio y el tiempo por medio del cual fluye la energía. La nomenclatura más acertada sería aquella que considera que cualquier manifestación de energía, ya sea que haya sido generada por recursos fósiles, energía solar, eólica, hidroeléctrica, mareo-

motriz, geotermia, etc., transita en una cierta dimensión espacio-tiempo entrelazada y continua, a la que podríamos denotar con la expresión $d_i (e_i - t_i)$.

Esta simple pero evidente situación, demuestra claramente que gran parte de la medición de indicadores energéticos y/o construcción de escenarios energéticos, omiten conceptos fundamentales provenientes de otras disciplinas científicas que tratan de representar el verdadero comportamiento de los elementos de la naturaleza y el Cosmos.

Otro aspecto fundamental, es la ausencia del análisis de la gravedad y sus correspondientes implicancias sobre los modelos de optimización energéticos y los mecanismos de eficiencia energética (y/o energías renovables), que pretenden minimizar el consumo de energía y las emisiones de carbono en entornos dinámicos afectados por el cambio climático. No se contempla la incidencia de la fuerza de gravedad y sus respectivas variaciones, como consecuencia del calentamiento global, sobre la energía que producimos, transportamos, distribuimos y consumimos en cada punto georreferencial de la Tierra.

Desde un enfoque Einsteiniano, si la fuerza de gravedad genera distorsiones en el ejido espacio-temporal, y además sabemos que la gravedad en la Tierra no se distribuye de manera uniforme, pues entonces estamos en condiciones de afirmar que la energía creada por el hombre en la Tierra fluye con diversos grados de intensidad sujetos a ciertas condiciones. Esas condiciones, se relacionan con la intensidad de los campos gravitatorios, las características topográficas de la superficie terrestre, los materiales o minerales intraterrenos, los niveles de magnetismo, la profundidad respecto al núcleo de la Tierra y los movimientos de la Tierra en su proceso de rotación y traslación en relación a otros planetas y cuerpos celestes de la/s galaxia/s, entre otros factores.

Una primera aproximación al diseño de mecanismos de eficiencia energética desde una perspectiva Einsteiniana, nos advierte que existen diferentes grados de eficiencia energética ante la presencia de las diferentes fuerzas de la naturaleza y el Cosmos, que no dependen exclusivamente de las variables ya conocidas por los enfoques técnicos, como los precios de la energía y la tecnología, los impuestos y subsidios energéticos, los avances técnicos, los niveles de educación y capacitación, las redes de aprendizaje, etc.

Un enfoque Einsteiniano o Relativista de la energía nos permite construir en cada punto de georreferenciación de la Tierra, distintos escenarios energéticos donde se manifiesten diferentes niveles de eficiencia energética gravitatoria. La eficiencia energética gravitatoria es una condición natural inherente a la morfología del planeta Tierra en su relación intrínseca con los elementos del Cosmos.

Recordemos, que esta eficiencia energética gravitatoria si bien es una condición natural bajo estrictas condiciones morfológicas asociadas a la evolución del planeta, puede muy bien mutar, debido a las actividades antropogénicas y a las implicaciones procedentes del cambio climático.

De acuerdo al trabajo de Martínez Naveira (2007), el mundo en el que vivimos y los modelos matemáticos que se construyeron para describir ciertos objetos geométricos y físicos, no pueden explicarse a través de modelos y teorías lineales. Este hecho es de suma importancia en la mecánica relativista del universo, dado que la energía no sigue recorridos lineales ante la presencia de la fuerza de gravedad. De acuerdo a Einstein, el movimiento de un cuerpo, así como la trayectoria de un haz de luz en un campo gravitacional, puede identificarse y medirse a través de la curvatura del espacio-tiempo. En este sentido, para Osserman (1990), el análisis de la curvatura se trata de un concepto trascendental en el campo de la geometría diferencial. Desde esta perspectiva,

podremos observar diferentes matices en cada una de las regiones, donde la energía sufrirá una mayor o menor distorsión. Dentro de cada región, a su vez existirán subregiones, segmentos, puntos georreferenciales donde dicho fenómeno se manifestará con diversos grados de intensidad, ante una distribución heterogénea de la gravedad y una Tierra en constante movilidad y reciprocidad con el Cosmos.

El Dilema del Espacio-Tiempo Energético y las Tecnologías de Eficiencia Energética

En esta instancia, sabemos que la gravedad, el tiempo y la energía son variables entrelazadas. A partir de estas relaciones, se presenta un ejemplo para analizar las implicaciones teóricas del espacio-tiempo energético sobre la medición del consumo energético y la construcción de indicadores y escenarios energéticos a través de las tecnologías de eficiencia energética. Dado que el tiempo fluye más lentamente en los campos gravitatorios más intensos, podemos afirmar que cuanto mayor sea el grado de intensidad del campo gravitatorio, tanto mayor será la lentitud del tiempo (Galindo Tixaire, 2006). A mayor gravedad, mayor distorsión del espacio-tiempo energético.

En estas condiciones, supongamos que queremos controlar el tiempo que transcurre en la generación de un cierto nivel de energía solar bajo criterios de eficiencia económica y energética en tres regiones distintas de Chile. A partir de estos datos se construyen indicadores que permiten analizar la capacidad de generación, los costes económicos, las ganancias y pérdidas energéticas por unidad de tiempo, entre otros indicadores.

Las mediciones se realizan en la Región de Coquimbo (R_1), a una altitud promedio de 380 metros sobre el nivel del mar; en la Región de Atacama (R_2), a una altitud promedio de 1800 metros sobre el nivel del mar; y en la Región de Antofagasta (R_3), a una altitud promedio de 2500 metros sobre el nivel del mar.

En términos generales, la gravedad en Coquimbo (g_1) es mayor que la gravedad en Atacama (g_2), y esta a su vez es superior a la gravedad en Antofagasta (g_3). De forma tal que $g_1 > g_2 > g_3$. Supongamos además que el coste económico de generación (CEG₁) en R₁ es igual al (CEG₂) en R₂ y al (CEG₃) en R₃. Además, el grado de eficiencia energética de los equipos (GEE₁) en R₁, es exactamente igual a GEE₂ en R₂ y GEE₃ en R₃.

Ahora bien, imaginemos que nos situamos en Atacama con tres relojes sincronizados a la perfección r_1 , r_2 y r_3 respectivamente, a los efectos de realizar dos pruebas. En la primera prueba, llevamos a r_3 a la región de Antofagasta donde la gravedad es menor respecto a Atacama, por lo tanto, el ritmo del reloj se avivará, razón por la cual cuando luego de un cierto tiempo regresemos al punto de partida y comparemos nuevamente los relojes observaremos que r_3 se habrá adelantado respecto a r_2 . En la segunda prueba, ahora trasladamos r_1 hacia la región de Coquimbo donde la gravedad es mayor, en esta nueva situación el ritmo del reloj se lentificará y cuando lo traslademos nuevamente hasta Atacama y lo comparemos con r_2 , los resultados demostrarán que r_1 se habrá atrasado respecto a r_2 .

Esta situación plantea una controversia a la hora de construir indicadores económicos y energéticos por unidad de tiempo, que permitan diseñar un sistema de información destinado al proceso de toma de decisiones. Podríamos denominar a esta situación el dilema del espacio-tiempo energético en la actividad energética. Cabe mencionar, que las diferencias, aunque extremadamente pequeñas, existen, pueden observarse y cuantificarse. El efecto sin lugar a dudas será más visible, si consideramos todas las actividades económicas y energéticas que se realizan en la Tierra en un horizonte espacio-temporal extenso. Cualquier afirmación basada en auditorías de un sistema de gestión de la energía, donde se concluye que una determi-

nada región, organización o proyecto se encuentra en un óptimo energético donde se maximiza el rendimiento energético pero que se abstiene de considerar los efectos de las fuerzas de la naturaleza y el universo constituye una afirmación incompleta y perfectamente revocable, ya que no se encuentra sometida al examen de un enfoque holístico de la gestión energética del cual existen pruebas científicas irrefutables que confirman la influencia de la gravedad sobre el espacio-tiempo, la materia y la energía.

Bondades del Enfoque Einsteniano en el Diseño de Mecanismos de Eficiencia Energética

Las bondades del enfoque Einsteniano en el contexto de los sistemas de gestión de la energía, puede aplicarse tanto al diseño de mecanismos de eficiencia energética como al diseño de mecanismos de energías renovables. Además, se puede integrar en un análisis sobre la competitividad natural de los mercados de bienes y servicios.

A continuación, se presentan una serie de bondades cuya enumeración no es taxativa:

i) Comprensión Holística: Permite una comprensión abarcativa del conjunto de variables que afectan a un sistema de gestión de la energía, ya que el análisis de las fuerzas de la naturaleza y el universo no excluye al resto de variables tradicionales.

ii) Integración Cosmológica: Partiendo de la premisa que la Tierra es un planeta en constante interacción y reciprocidad con el resto de elementos del Cosmos, el análisis cosmológico permite diseñar una metodología de trabajo que integre nuevas variables que inciden en la energía de la Tierra.

iii) Mecanismos de Inclusión Relativista: La inclusión de la mecánica relativista, aporta un contenido más amplio sobre el verdadero comportamiento de la energía no

sólo en la Tierra sino en el espacio. La mecánica relativista nos brinda un gran conocimiento sobre el diseño de mecanismos de eficiencia energética en varios sectores, por ejemplo, el sector aeroespacial y el sector de telecomunicaciones.

iv) Geografía Energética Gravitatoria: El análisis relativista de la gestión energética permite identificar regiones, subregiones, puntos georreferenciales donde existen diferentes grados de intensidad de eficiencia energética gravitatoria. La geografía energética gravitatoria, es un instrumento útil para diseñar una hoja de ruta de la eficiencia energética gravitatoria. A través de esta herramienta de gestión identificaríamos lugares más o menos aptos para la instalación de parques de energía solar, eólica, geotermia, mareomotriz, reservas hidroeléctricas, parques industriales, puertos, aeropuertos, rutas comerciales, y cualquier tipo de actividad económica, ya sea de producción, transporte y/o distribución.

v) Adaptabilidad Tecnológica: La medición de la actividad energética cualquiera sea su objeto, en los distintos puntos de georreferenciación necesita contar con las herramientas tecnológicas necesarias para subsanar las diferencias espacio-temporales.

vi) Variables Energéticas Ocultas: La incorporación de nuevas variables que antes permanecían ocultas (o inexistentes) en los modelos o enfoques técnicos sobre gestión energética, pueden conducirnos a identificar posibles pérdidas de energía (antes no contempladas o bien contempladas equivocadamente bajo diagnósticos energéticos incorrectos) en distintas etapas de la cadena de valor energética.

vii) Efectividad Energética: El enfoque Einsteiniano permite una gestión más adecuada y efectiva de la energía, logrando mejorar las decisiones tendientes a incremen-

tar la eficiencia económica y energética en distintos puntos de la cadena de valor energética.

CONCLUSIONES

A través del desarrollo del trabajo se han presentado brevemente las principales variables asociadas a la Relatividad de Einstein (especial y general) y a la relación que la gravedad posee con el cambio climático. Existe abundante evidencia empírica, presentada aquí sólo parcialmente, que explica cómo los cambios en el clima de la Tierra, ya sea por factores naturales o principalmente antropogénicos, condicionan la gravedad. A partir de la constatación de las ondas gravitacionales, se concluye que las fuerzas del Cosmos, las fuerzas de la naturaleza, la energía, el espacio-tiempo, el clima de la Tierra y los mecanismos destinados a reducir el consumo de energía y las emisiones de carbono de alguna manera se encuentran entrelazados.

Un enfoque de la gestión energética que sólo contemple variables de índole técnica, considerando parcialmente las fuerzas del Cosmos o de la naturaleza, o peor aún, ante la ausencia de las mismas, puede considerarse un enfoque cerrado que supone que cualquier manifestación de energía es completamente independiente de lo que sucede en el Cosmos.

Por el contrario, un enfoque Einsteiniano o Relativista de la energía considera que la energía creada y utilizada por el hombre para múltiples usos y fines energéticos, no sólo es afectada por variables de índole técnica, sino por otras fuerzas invisibles para el ojo humano, pero que sin lugar a dudas se encuentran tan presentes como cualquier otra y generan repercusiones con efectos plausibles y cuantificables.

Se cumple con el objetivo de presentar un enfoque holístico de la gestión de la energía, donde se demuestra la importancia de contemplar las

relaciones entre el clima de la Tierra, la gravedad, el espacio-tiempo y la energía brindando una primera aproximación al diseño de mecanismos de eficiencia energética desde una perspectiva Einsteiniana.

Cuando el hombre conozca verdaderamente su lugar en la Tierra y el Cosmos, y los mecanismos inherentes a la diversidad de fuerzas que operan entre ellos, las políticas de Estado y los modelos de gestión tanto energéticos como climáticos serán más próximos a la realidad. ■

REFERENCIAS

- Agencia Internacional de Energía (AIE) (2015). Recomendaciones de Políticas de Eficiencia Energética Regionales. AIE, 1-12.
- Allen, M. R. et al. (2009). Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. *Nature*, 458 (7242), 1163-1166. DOI: 10.1038/naturaleza08019
- Abdelmalik, K. W. y Abdelmohsen, K. (2019). GRACE and TRMM mission: The role of remote sensing techniques for monitoring spatio-temporal change in total water mass, Nile basin. *Journal of African Earth Sciences*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103596>
- AUTOR (2020). La Gobernanza de la Eficiencia Energética: una Política Pública efectiva para fortalecer la Transición Energética hacia modelos de Desarrollo Económico Sustentable. *Administración Pública y Sociedad*, 9, 153-180. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/APyS/article/view/25184>
- AUTOR (2021). El Rol de las Políticas de Eficiencia Energética en la República Argentina y su importancia en el Proceso de Descarbonización del Acuerdo de París. *Actualidad Económica*, 31(105), 23-36. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/acteconómica/article/view/36496>
- Baker, D. (2000). Effects of the Sun on the Earth's environment. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 62(17-18), 1669-1681. [https://doi.org/10.1016/S1364-6826\(00\)00119-X](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(00)00119-X)
- Baker, J. G., Centrella, J., Choi, D., Koppitz, M. y van Meter, J. (2006). Gravitational-Wave Extraction from an Inspiral Configuration of Merging Black Holes. *Physical Review Letters*, 96. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.96.111102>
- Bergin, A., Chapman, S. C., Moloney, N. R. y Watkins, N. W. (2022). Variation of Geomagnetic Index Empirical Distribution and Burst Statistics Across Successive Solar Cycles. *JGR Space Physics*, 127(1), 1-19. <https://doi.org/10.1029/2021JA029986>
- Bernal, A. N. y Sánchez Caja, M. (2015). Un paseo por las geometrías del espaciotiempo en el centenario de la Relatividad General. *La Gaceta de la RSME*, 18(3), 1111-11132.
- Bouille, D. (1999). Lineamientos para la regulación del uso eficiente de la energía en Argentina. *Serie Medio Ambiente y Desarrollo, CEPAL*, 16, 1-71.
- Canadell, J. G. et al. (2007). Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(47), 18866-18870. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702737104>
- Carpio, C. y Coviello, M. F. (2014). Eficiencia Energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, 1-12
- Chen, J. L., Li, J., Zhang, Z. y Ni, S. (2014). Long-term groundwater variations in Northwest India from satellite gravity measurements. *Global and Planetary Change*, 116, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.02.007>
- Chen, J. L., Wilson, C. R., Blankenship, D. y Tapley, B. D. (2009). Accelerated Antarctic ice loss from satellite gravity measurements. *Nature Geoscience*, 2, 859-862. <https://doi.org/10.1038/ngeo694>

- Chen, J. L., Wilson, C. R. y Tapley, B. D. (2006). Satellite gravity measurements confirm accelerated melting of Greenland ice sheet. *Science*, 313(5795), 1958-1960. DOI: 10.1126/science.1129007
- Clarke, L., Edmonds, J., Krey, V., Richels, R., Rose, S. y Tavoni, M. (2009). International climate policy architectures: Overview of the EMF 22 International Scenarios. *Energy Economics*, 31, S2, S64-S81. 10.1016/j.eneco.2009.10.013
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2015). La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible. CEPAL, Santiago de Chile, 1-95.
- Delgado Noboa, D. (2019). Barómetro de la Energía de América latina y el Caribe 2019: Energía Renovable y Eficiencia Energética. Las Perspectivas del Desarrollo Energético en la Región. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), 1-15.
- Fathy, K., Zahran, K. H., Radwan, A. H., Sabet, H. S. y Hamed, D. (2013). Gravity observations at Sinai Peninsula and its geophysical and geodetic applications. *Journal of Astronomy and Geophysics*, 2(2), 223-233. <https://doi.org/10.1016/j.nrjag.2013.12.003>
- Galindo Tixaire, A. (2006). Relatividad, Tiempo y Asuntos de Gravedad. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 100(1), 141-155.
- González, W. D., Tsurutani, B. T., Clúa de González, A. L. (1999). Interplanetary origin of geomagnetic storms. *Space Science Reviews*, 88(3), 529-562. <https://doi.org/10.1023/a:1005160129098>
- González Sierra, H., Valcárcel Montañez, J. P. y Cristancho Fierro, J. M. (2009). Procesos de Interacción Materia-Energía a partir de la masa equivalente de los fotones. *Entornos*, 22, 151-158. <https://doi.org/10.25054/01247905.421>
- Haigh, J. D. (1996). The Impact of Solar Variability on Climate. *Science*, 272(5264), 981-984. DOI: 10.1126/science.272.5264.981
- Haines, C., Owens, M. J., Barnard, L., Lockwood, M. y Ruffenach, A. (2019). The Variation of Geomagnetic Storm Duration with Intensity. *Solar Physics*, 294(11), 154. <https://doi.org/10.1007/s11207-019-1546-z>
- Iyemori, T. (1990). Storm-Time Magnetospheric Currents Inferred from Mid-Latitude Geomagnetic Field Variations. *Journal of geomagnetism and geoelectricity*, 42(11), 1249-1265. <https://doi.org/10.5636/jgg.42.1249>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2022). Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers. Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1-35.
- Kardec, A. (2017). La Génesis. Los Milagros y las Predicciones según el espiritismo. En Gustavo N. Martínez (trad.), Confederación Espírita Argentina (CEA), Buenos Aires, Argentina.
- Knutti, R. y Hegerl, G. C. (2008). The Equilibrium sensitivity of the Earth's temperature to radiation changes. *Nature Geoscience*, 1, 735-743. DOI: 10.1038/ngeo337
- Maldacena, J. M. (2005). Agujeros negros, cuerdas y gravedad cuántica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 18(1), 105-110.
- Marquart, G. y Schmeling, H. (2004). A dynamic model for the Iceland Plume and the North Atlantic based on tomography and gravity data. *Geophysical Journal International*, 159(1), 40-52. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02398.x>
- Martínez Naveira, A. (2007). La curvatura de Riemann a través de la historia. *Miscelánea Matemática*, 44, 29-52.
- Mendoza Nolorbe, J. N. (2021). Anomalías del campo gravitacional en la Región Lima y Callao. Informe Final del Proyecto de Investigación, Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú, 1-59.

- Mohamed, A. (2020). Gravity based estimates of modern recharge of the Sudanese area. *Journal of African Earth Sciences*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103740>
- Moreno, C., García-Salcedo, R., Lara, A. y Ramírez, J. (2008). Introducción a las Ondas Gravitacionales. *Revista Latinoamericana de Educación Física*, 2(3), 311-319.
- Nesme-Ribes, E., Ferreira, E. N., Sadourny, R., Le Treut, H. y Li, Z. X. (1993). Solar dynamics and its impact on solar irradiance and the terrestrial climate. *Journal of Geophysical Research-Space Physics*, 98(A11), 18923-18935. <https://doi.org/10.1029/93JA00305>
- Nordhaus, W. (2018). Projections and Uncertainties about Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies. *American Economic Journal: Economic Policy*, 10(3), 333-360. DOI: 10.1257/pol.20170046
- Osserman, R. (1990). Curvature in the Eighties. *The American Mathematical Monthly*, 97(8), 731-756.
- Romero, G. E. (2015). Un siglo de Relatividad General. *Boletín de Divulgación Científica y Tecnológica del Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR)*, 14(51), 1-9.
- Soon, W., Connolly, R. y Connolly, M. (2015). Re-evaluating the role of solar variability on Northern Hemisphere temperature trends since the 19th century. *Earth-Science Reviews*, 150, 409-452. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.08.010>
- Sotani, H. y Dohi, A. (2022). Gravitational wave asteroseismology on cooling neutron stars. *Physical Review D*, 105(2). DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.023007>
- Suvorova, S., Powel, J. y Melatos, A. (2019). Reconstructing gravitational wave core-collapse supernova signals with dynamic time warping. *Physical Review D*, 99(12). DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.99.123012>
- Thorne, K. S. (2018). Nobel Lecture: LIGO and gravitational waves III. *Reviews of Modern Physics*, 90(4), 040503-1 - 040503-20. DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.90.040503>
- Zhao, X., Soon, W. y Velasco Herrera, V. M. (2021). Holocene Millennial-Scale Solar Variability and the Climatic Responses on Earth. *Universe*, 7(2), 1-11. <https://doi.org/10.3390/universe7020036>

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ETIQUETADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LOS CONSUMIDORES DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES (ARGENTINA) COMO HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ENERGY EFFICIENCY LABELING ON CONSUMERS' BEHAVIOR IN THE CITY OF BUENOS AIRES (ARGENTINA) AS AN TOOL FOR THE MITIGATION OF CLIMATE CHANGE

Claudio Iglesias Darriba ¹

Recibido: 19/04/2022 y Aceptado: 25/10/2022
ENERLAC. Volumen VI. Número 2. Diciembre, 2022 (94 - 109)
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Engin Akyurt de Unsplash.

1 Universidad Nacional de José C. Paz (UNPAZ).
Argentina.
claudio.iglesias@docentes.unpaz.edu.ar
<https://orcid.org/0000-0001-6376-0005>

RESUMEN

El uso de la energía es parte de la naturaleza humana. Sin embargo, su uso intensivo ha tenido ciertos efectos adversos sobre el planeta, como ha sido su contribución al cambio climático. En este trabajo se examinará el uso de las etiquetas de eficiencia energética en la ciudad de Buenos Aires, Argentina, como una herramienta eficaz para la mitigación del cambio climático. En dicho contexto, se verá cómo, las mencionadas etiquetas influyen sobre los consumidores, permitiendo así superar asimetrías de información que podrían conducir a fallas de mercado. Para ello, se expondrán los principales hallazgos de una investigación realizada en el 2021 entre los consumidores de electrodomésticos de la citada ciudad. De igual manera, se examinará cómo dichos consumidores toman decisiones de compra de productos de mayor eficiencia energética, y cómo las etiquetas analizadas afectan esas decisiones. Para finalizar, se arribará a una serie de breves conclusiones y recomendaciones.

Palabras clave: Brecha de Información, Consumidores-Conducta, Electrodomésticos, Cambios Climáticos, Conciencia Ambiental.

ABSTRACT

The use of energy is part of human nature. Although its intensive use has had some adverse effects on the planet, such as contributing to climate change. The purpose of the paper is to examine the use of energy efficiency labels in Buenos Aires, Argentina, as an effective tool for mitigating climate change. In this context, we will demonstrate how the aforementioned labels influence consumers, thus preventing information asymmetries that could cause market failures. To accomplish this, the primary findings of an investigation conducted in 2021 among consumers of household ap-



pliances in the aforementioned city will be presented. We will also examine how consumers make purchasing decisions for energy-efficient products, and how labels affect those decisions. We will conclude with a few conclusions and recommendations.

Keywords: *Information Gap, Consumers' Behavior, Household Appliances, Climate Change, Environmental Awareness.*

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por objeto exponer los principales resultados de una investigación llevada a cabo en 2021, sobre consumidores de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. El objetivo general de dicha investigación consistió en analizar la influencia de las etiquetas de eficiencia energética (EEE) sobre ciertos consumidores de electrodomésticos de la mencionada ciudad, como mecanismo para la mitigación del cambio climático (CC). Para tal fin se propusieron tres objetivos específicos: (i) examinar el conocimiento y preocupación de los consumidores por la problemática del CC; (ii) conocer su disposición a pagar un precio mayor por electrodomésticos de mayor eficiencia energética; y (iii) estudiar el uso de EEE por parte de dichos consumidores en sus decisiones de compra. Lamentablemente, debido a las limitaciones de este trabajo, sólo podrán exponerse algunos de sus principales resultados.

La referida investigación empleó una metodología cualitativa, la cual se encuentra alineada con las exploraciones orientadas a la comprensión de estados, procesos y fenómenos. Dicha metodología demostró ser particularmente eficaz para explorar las percepciones de los consumidores en la Ciudad de Buenos Aires, así como para identificar factores importantes que podían no aparecer en los análisis cuanti-

tativos deductivos. Entre las diferentes opciones disponibles, para la mencionada encuesta, se utilizó una estrategia de encuesta por muestreo no probabilístico de tipo casual o fortuito. El muestreo causal es utilizado comúnmente en estudios sobre CC (tanto cualitativos como cuantitativos).

Se ha considerado importante el tema bajo estudio, toda vez que, de acuerdo con el último informe del IPCC (2021), la influencia humana ya ha producido un aumento de la temperatura del planeta a un ritmo sin precedentes en al menos los últimos 2000 años, siendo que, la temperatura superficial global, en las dos primeras décadas del siglo XXI (2001-2020), fue 0,99° [0.84 to 1.10]° C superior a la observada en el período 1850-1900¹. También señala que, el calentamiento global de 1,5 °C y 2 °C, se superará durante el siglo XXI, a menos que se produzcan reducciones profundas de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero (GEI) en las próximas décadas (IPCC, 2021, pp. 5, 7, 14).

En dicho contexto, la *eficiencia energética* (EE) cobra cada vez más preponderancia a nivel mundial, al tiempo que se convierte en un instrumento clave para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París (2015)², e impulsar el desarrollo sostenible. En tal sentido, la EE es (y será) de particular relevancia en América Latina y el Caribe, una región donde se espera que la demanda de servicios energéticos se duplique para 2040, y donde -además- el sector energético puede generar importantes beneficios ambientales, económicos y sociales (Bouille, Daniel (coordinador), Aliosha Behnisch, Gonzalo Bravo et al., 2021, pp. 232 y ss.).

1 El lapso 1850-1900 representa el período más temprano de observaciones suficientemente completas a nivel mundial para estimar la temperatura global de la superficie, y se utiliza como una aproximación para el conocimiento de las condiciones preindustriales (conf. IPCC, 2021, p. 4) (IPCC, 2021).

2 Ratificado por la Argentina mediante la Ley N° 27.270.

Por su parte, el *etiquetado de eficiencia energética* -en combinación con otras políticas- es una herramienta de mitigación de GEI destacada por múltiples autores (Heinzle & Wüstenhagen, 2012, pp. 62 y ss.; Recalde et al., 2018, pp. 91 y ss.; Shen & Saijo, 2009, pp. 3563 y ss.). A su vez, es importante recordar que, para 2100, varios escenarios predicen una población mundial de 9 a 15 mil millones de personas. Esta situación, sumada a las expectativas de crecimiento económico de los países en desarrollo, ejercerá especial presión sobre sus acciones de mitigación (Recalde et al., 2018, p. 79). Entre dichas acciones, suele asignarse especial relevancia a la adquisición de electrodomésticos energéticamente eficientes (de Ayala & Foudi, 2021, pp. 7, 10; Shen & Saijo, 2009, p. 3561). En Argentina, Bouille et al. (2020) calculan que habrá 18.430.811 hogares urbanos para 2040 (Bouille, et al. 2021, p. 335). Este número debe compararse con el actual, que es de 12.551.545 viviendas urbanas (ENGHo, 2019).

Desde ya, se espera que el presente estudio (aunque limitado a las circunstancias de tiempo y lugar en las que la investigación se concretó) sirva de base para futuras investigaciones, cualitativas o cuantitativas sobre el tema, no sólo en Argentina sino, además, en otros países con sistemas similares de etiquetado, especialmente en América Latina. Resulta importante aclarar también que, a esta altura, no se han encontrado otros estudios de mayor precisión referidos al tema bajo análisis, por lo que se ha considerado necesario hacer un aporte propio al respecto. En particular, en lo que hace al estudio de mercado realizado por el Programa Top Ten (2017), al cual se hará referencia en diversas ocasiones, dicho estudio arriba a conclusiones diferentes sobre algunos temas (FVSA, 2017c, 2017a, 2017b) y no exhibe la *disposición a pagar* (DAP) de los consumidores estudiados.

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Múltiples estudios han examinado la influencia de las EEE en el comportamiento de los consu-

midores y su influencia en la compra de electrodomésticos energéticamente eficientes. Una importante corriente literaria sostiene que las EEE juegan un papel directo en la provisión de soluciones a la crisis ambiental y del CC (Heinzle & Wüstenhagen, 2012, pp. 61, 68). Además, se ha sostenido que estas etiquetas son especialmente importantes para los consumidores cuando consideran el factor *ahorro de energía* al elegir electrodomésticos (Mills & Schleich, 2010, pp. 814, 823; Shen & Saijo, 2009, p. 3562)³.

En general, las EEE son vistas como *herramientas de información* destinadas a subsanar la *información asimétrica* resultante de las *fallas del mercado*, las cuales no permiten a los consumidores recibir información suficiente sobre un aspecto oculto (o poco conocido) de un producto, como es la *eficiencia energética* (de Ayala & Foudi, 2021, pp. 1, 10; Sammer & Wüstenhagen, 2006, p. 186; Shen & Saijo, 2009, p. 3562). Importantes estudios han examinado, en particular, la influencia de cierta información concreta (contenida en las EEE) en el momento de la compra de electrodomésticos, como el *consumo* o el *precio de la energía* (de Ayala & Foudi, 2021 pp. 10, 11; Shen & Saijo, 2009, pp. 3562, 3571). Finalmente, es importante destacar que, la literatura previa también encontró la existencia de una disposición a pagar un precio mayor por electrodomésticos más eficientes desde el punto de vista energético por parte de ciertos consumidores (Alberini et al., 2018, p. 178; Ward et al., 2011, p. 1457; Zhang et al., 2020, pp. 1, 2, 8).

GRUPO OBJETIVO, MUESTRA, Y CASO DE ESTUDIO

El *grupo objetivo* fue la población adulta de la ciudad de Buenos Aires que, usuario de los tres electrodomésticos comprendidos en la muestra. La *muestra* fue extraída de consumi-

³ El factor “ahorro de energía” también tiene una incidencia directa en la solución de la crisis climática.

dores mayores de edad de aquella ciudad, con el objetivo de analizar, entre otros parámetros: (i) examinar el conocimiento y preocupación de los consumidores por la problemática del CC; (ii) conocer su *disposición a pagar* un precio mayor por electrodomésticos de mayor eficiencia energética; y (iii) estudiar el uso de EEE por parte de dichos consumidores en sus decisiones de compra.⁴ Las *unidades de muestreo* fueron los mencionados consumidores de la ciudad que utilizaban los electrodomésticos incluidos en la muestra (refrigeradores, lavarropas domésticos y acondicionadores de aire). La literatura previa ha utilizado mayoritariamente encuestas con fines de investigación similares (Alberini et al., 2018, p. 172; Damigos et al., 2020, p. 2; Heinzle & Wüstenhagen, 2012, p. 62; Sammer & Wüstenhagen, 2006, p. 188). A nivel local de Argentina, estudios anteriores también han utilizado la encuesta como instrumento de muestreo. Así, por ejemplo, la *Encuesta Permanente de Gastos de los Hogares* (ENGHo_2017-2018, 2019), y el *análisis de mercado del Programa TopTen de la Fundación Vida Silvestre Argentina* (FVSA, 2017a, 2017b, 2017c).

La Ciudad Autónoma de Buenos Aires, por su parte, es la capital de Argentina, y tiene un alto nivel de consumo. La Ciudad tenía en 2020 una población estimada de 2.890.151 personas. Se ha elegido dicha ciudad como caso de estudio debido a que la misma presentaba una gran disponibilidad de datos en materia de consumo residencial. En tal sentido, los datos del Gobierno de la Ciudad exhiben que, de un total de 1.747.763 consumidores de energía eléctrica, 1.514.970 son usuarios residenciales, lo que muestra la importancia del mencionado sector (G.C.A.B.A., n.d.).

4 Esto mismo se mencionó en la introducción a este trabajo.

ELECCIÓN DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS Y SUS CARACTERÍSTICAS

Varias razones avalan la decisión de utilizar electrodomésticos para la muestra. En primer lugar, los electrodomésticos son los responsables de una parte importante del consumo energético de los hogares argentinos.⁵ Además, su potencial de mejora en términos de eficiencia energética es alto: un electrodoméstico energéticamente eficiente puede consumir varias veces menos energía que uno ineficiente. Además, el uso de EEE podría paliar fallas comunes de mercado que impiden la difusión de electrodomésticos de bajo consumo. Se seleccionaron tres electrodomésticos típicos de los hogares de Buenos Aires: refrigeradores domésticos, acondicionadores de aire y lavadoras domésticas. Estos electrodomésticos también fueron utilizados en la muestra tomada por la Encuesta Nacional de Gastos de los Hogares (2019) para evaluar el conocimiento y uso de los encuestados sobre eficiencia energética y etiquetas energéticas (ENGHo_2017-2018, 2019, p. 140).

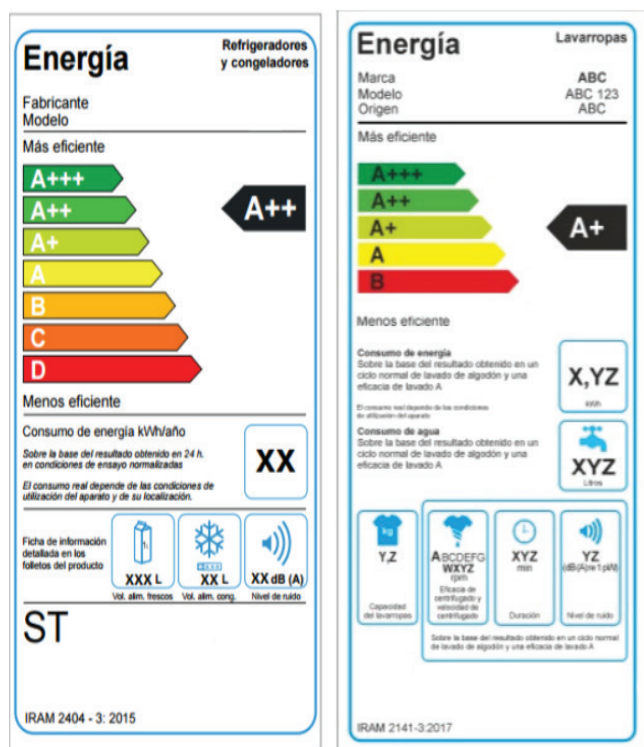
Para los refrigeradores, la norma de etiquetado vigente es la IRAM 2404-3:2015 (Etiquetado de eficiencia energética para aparatos de refrigeración domésticos. Parte 3 - Etiqueta, revisada 2015). Su clasificación energética va de la "A+++ a D" (IRAM, n.d.-b).⁶ La misma puede observarse en la Figura 1. A su vez, para las lavadoras domésticas, la norma vigente

5 Los refrigeradores de 20 a 30% (FVSA, 2017c) Los lavarropas, si se lava con agua fría, un lavarropas de 5 kg consume 500 Wh, pero si se lava con caliente, consume 2500 Wh (FVSA, 2017a, p. 3). Los acondicionadores de aire tienen un consumo muy variados: los equipos más eficientes van desde aquellos que consumen 400 kWh a aquellos más grandes que consumen 900 kWh (FVSA, 2017a, p. 20).

6 Esta EEE pasó a ser obligatoria el 25/03/2007 para refrigeradores y el 25/09/2008 para congeladores, por Disposición 732/2005 de la ex Por Disposición de la ex Dirección Nacional de Comercio Interior (DNCI) de Argentina (Disposición 732/2005, 2005).

para su etiquetado es la IRAM 2141-3:2017 (Lavadoras eléctricas - Parte 3 - Etiquetado de Eficiencia Energética) (IRAM, n.d.-c).⁷ Su clasificación energética va de la “A+++ a B”, lo que podría generar alguna confusión con las EEE de refrigeradores domésticos. La escala de colores de su EEE también es diferente de la escala de colores de los refrigeradores. Su EEE también puede verse en la figura 1.

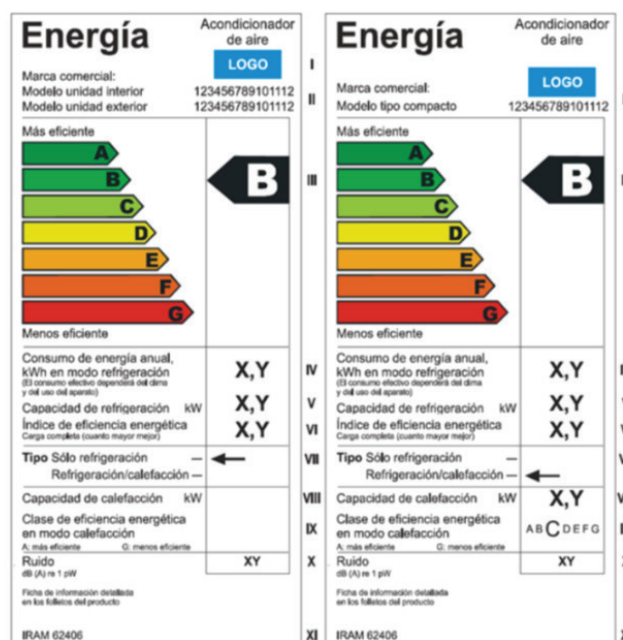
Figura 1. Etiqueta de eficiencia energética de refrigeradores domésticos (izquierda) y etiqueta de eficiencia energética de lavadoras (derecha). Ambos de Argentina



Fuente: Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM (IRAM, n.d.-b, n.d.-c)

Los acondicionadores de aire, por su parte, se rigen por la norma IRAM 62406, la cual establece una clasificación de eficiencia energética con letras de la “A a la G”. Esta clasificación es diferente, a su vez, de la escala utilizada para las dos EEE mencionadas previamente (IRAM, n.d.-a).⁸ La EEE de acondicionadores de aire es la siguiente, en sus dos variantes:

Figura 2. Etiqueta de eficiencia energética de los acondicionadores de aire. Para equipos “solo frío” (izquierda) y para equipos “frío-calor” (derecha) de Argentina



Fuente: Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM (IRAM, n.d.-a)

La simple comparación de las figuras 1 (EEE de refrigeradores y de lavadoras) y 2 (EEE de acondicionadores de aire) permite ver no sólo la complejidad de sus respectivos diseños, sino (además), las importantes diferencias entre

⁷ Esta EEE entró en vigencia la Disposición N° 761/2010 de la ex DNCI de Argentina, que exigió el etiquetado obligatorio de las lavadoras.

⁸ Esta EEE pasó a ser obligatoria por Disposición de la ex DNCI N° 859/2008, que entró en vigencia el 18/10/2009 para equipos tipo split y el 17/12/2009 para equipos compactos.

ellos. En este punto ha de recordarse que la bibliografía previa ha encontrado una posible confusión causada por las EEE a los consumidores europeos (Heinzle & Wüstenhagen, 2012). Este tema se tratará de manera más detallada en la encuesta que se analizará en el punto 5 de este artículo. Para ello, en 2017 se introdujo una simplificación en el diseño de las EEE de la UE.⁹

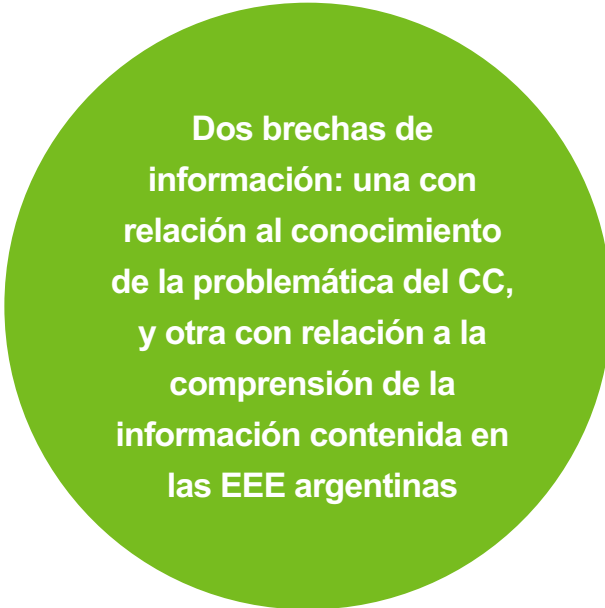
RESULTADOS Y PRINCIPALES HALLAZGOS

La encuesta mencionada en el punto 1 se realizó entre el 15 y el 28 de febrero de 2021. Se desarrollaron una serie de preguntas y enunciados presentados en idioma español coloquial. El cuestionario estuvo dirigido a personas mayores de 18 años. Se presentaron a los participantes diversas imágenes, incluidas EEE de refrigeradores, lavadoras y acondicionadores de aire. Además, se les mostró una EEE de naturaleza genérica (que contenía sólo las clases energéticas), así como las etiquetas *Energy Guide* y *Energy Star* de los Estados Unidos en dos preguntas, y etiquetas ecológicas. Durante el período antes mencionado se elaboró una versión en línea del cuestionario y se envió por correo electrónico utilizando los servicios de *Typeform.com*.¹⁰ En enero de 2021, siguiendo las reglas de estilo, se había realizado una encuesta piloto. Se recibieron un total de 415 respuestas, incluyendo aquellas no relacionadas con la zona geográfica analizada y otras que fueron eliminadas por estar incompletas. Se revisaron las respuestas y se obtuvo una muestra final de 216 encuestados. Se verán algunos de los principales resultados.

⁹ Ello, mediante el Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2017, por el que se establece un marco para el etiquetado energético (Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de julio de 2017. Establecimiento de un marco para el etiquetado energético y derogación de la Directiva 2010/30/UE, 2017).

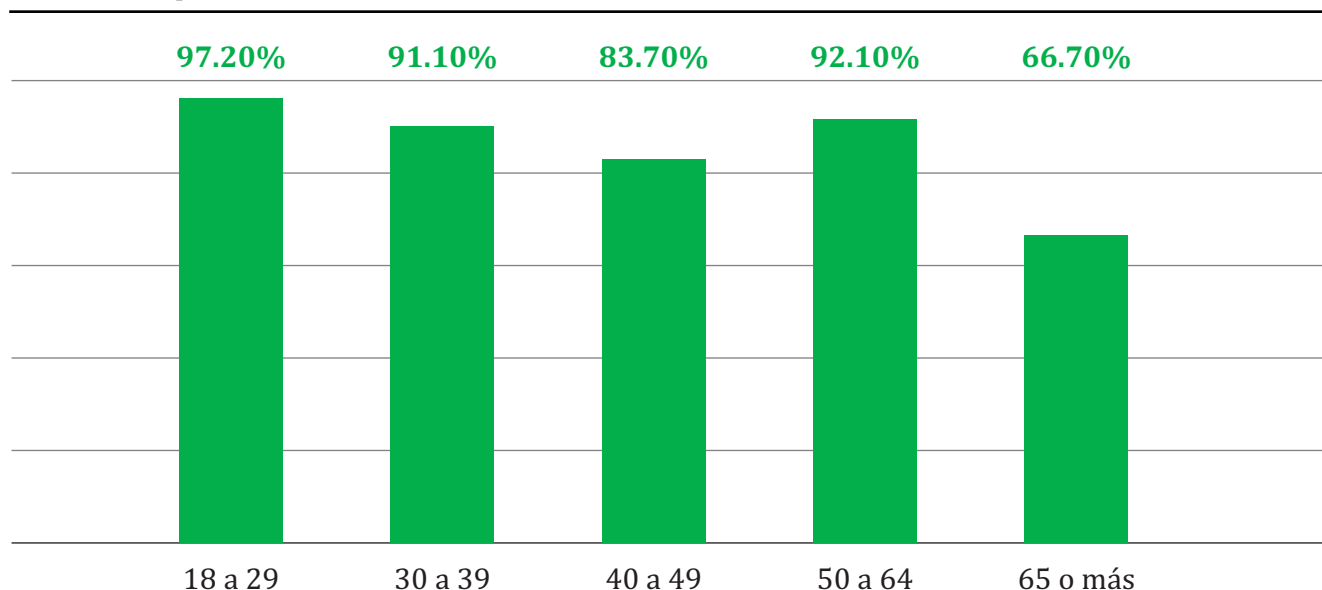
¹⁰ Typeform es una plataforma especializada en entrevistas web asistidas por computadora (computer-assisted web interviewing).

La influencia de la edad. La *edad* pareció tener un impacto negativo en el conocimiento de diversas variables como, por ejemplo, el conocimiento (y conciencia) del cambio climático. Vale decir que, a medida que la edad aumentaba, el conocimiento de dicho tema disminuía. Estos resultados fueron consistentes con la literatura previa que muestra que, los más jóvenes, suelen tener una mayor *conciencia* del medio ambiente, y que esta conciencia puede disminuir en la edad adulta. Sin embargo, en nuestra investigación, el grupo etario de 50 a 64 años demostró un mayor conocimiento del cambio climático. Esto se ilustra en la figura 1. Nuestros resultados respecto de esa franja etaria (50-64 años) también han sido consistentes con una importante bibliografía previa. En tal sentido, Mills et al. (2010) encontraron que las personas mayores (en su caso, los jubilados) tenían una DAP más alta por los refrigeradores energéticamente eficientes (Mills & Schleich, 2010, p. 819), Wang et al. (2020), encontraron resultados similares entre los jubilados urbanos chinos (X. Wang et al., 2020). Por su parte, una reciente encuesta de Mercado Libre (2021) encontró que los adultos en Argentina estaban más dispuestos a pagar por productos *de impacto positivo* más que los jóvenes (Mercado Libre, 2021).



Dos brechas de información: una con relación al conocimiento de la problemática del CC, y otra con relación a la comprensión de la información contenida en las EEE argentinas

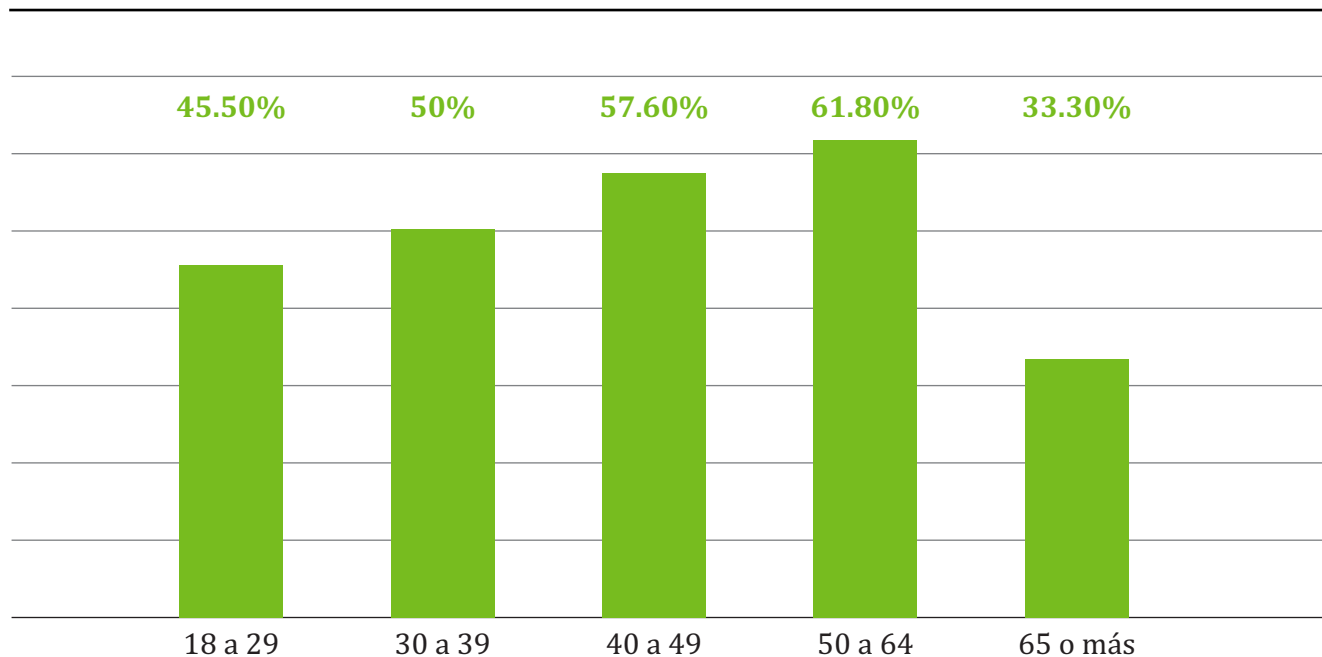
Figura 1. Respuestas afirmativas a la pregunta: “¿Conoces el problema del cambio climático?” distribuidos por edades.



Fuente: Elaboración propia

A su vez, cuando se les preguntó si pensaban que las EEE argentinas contenían información clara, la edad jugó un papel positivo y favorable en sus percepciones, salvo para la franja etaria de 65 años o más. Esto puede verse en la figura 2.

Figura 2. Respuestas afirmativas a la pregunta: “¿Cree que la información que se proporciona en las etiquetas energéticas de los electrodomésticos es clara?” distribuidos por edad



Fuente: Elaboración propia

En nuestra opinión, las respuestas demostradas en las figuras 1 y 2 fueron importantes porque podrían indicar la existencia de una *brecha de información* que afectaría -principalmente- a los consumidores de 65 años o más. En nuestro caso, la brecha se debió a una dificultad para: 1) conocer la problemática del CC; y 2) comprender la información transmitida por las EEE. Esto último es particularmente grave dado que el objetivo de las EEE es -justamente- eliminar o al menos paliar los efectos de las brechas de información entre compradores y vendedores. La literatura previa identifica este tipo de brecha de información como *potencialmente negativa* para la toma de decisiones energéticamente eficientes al comprar electrodomésticos (Damigos et al., 2020, pp. 7 y ss.; De Ayala & Foudi, 2021, p. 10; Heinzle & Wüstenhagen, 2012, p. 62). Sobre este tema, Heinzle & Wüstenhagen (2012) concluyen que las EEE (de la UE (analizadas al año 2011) debían ofrecer a los consumidores una reducción sustancial de la complejidad para transmitir información precisa a los consumidores (Heinzle & Wüstenhagen, 2012).

La influencia de la educación. Se ha considerado importante este tema debido a que la literatura previa asigna un papel significativo a esta variable sociodemográfica en términos de comprensión, conocimiento y conciencia de los problemas climáticos y energéticos (Alberini et al. al., 2018, p. 175; Mills & Schleich, 2010, p. 823).

En primer lugar, cuando se analizó la *influencia de la educación sobre la preocupación por el ahorro de energía*, se encontró que quienes tenían una educación universitaria aparecieron como los más preocupados (96,1%), seguidos de quienes tenían estudios primarios (81,9%). Respecto de quienes tenían estudios universitarios, los resultados fueron consistentes con la literatura previa (Damigos et al., 2020, p. 4; Mills & Schleich, 2010, p. 823). Respecto del alto porcentaje de respuestas positivas entre quienes tenían estudios primarios completos, también fue consistente con estudios previos.

En tal sentido, Ward et al. (2011) encontraron que las personas con menor educación tenían preferencias más fuertes por los refrigeradores con etiqueta “Energy Star” (Ward, et al. 2011, p. 1455).

A su turno, cuando se analizó la *influencia de la educación sobre el conocimiento de los encuestados del sistema de EEE de artefactos eléctricos de Argentina*, se encontró que, quienes mejor conocían el sistema de EEE eran quienes poseían estudios terciarios y/o universitarios (72,4%). Sin embargo, quienes les siguieron fueron quienes tenían estudios primarios completos (69,2%). Estos resultados también fueron consistentes con cierta bibliografía previa en lo que se refiere a las personas con mayor nivel de educación (Damigos et al, 2019). Pero también fueron consistentes respecto de quienes presentaban niveles de educación más bajos. En este sentido, Zha et al. (2020) encontraron que compradores con baja educación sabían más sobre el uso de la energía de sus electrodomésticos que compradores con mejor educación (Zha et al., 2020).

La influencia del género. En cuanto a la influencia del género, se encontró que los hombres presentaban una mayor disposición a pagar (81,40%) por electrodomésticos de mayor eficiencia energética que las mujeres (78,30%). Dicha DAP resultó, en ambos casos, muy elevada. Estos hallazgos fueron consistentes con algunas investigaciones previas (Ward et al., 2011, p. 1455).¹¹ Sin embargo, los resultados fueron sorprendentes ya que, la literatura previa, generalmente atribuye un mayor comportamiento proambiental a las mujeres que a los hombres en lo que respecta a la *eficiencia energética* y la *conservación de la energía* (Damigos et al., 2020, p. 6; Newell, 2014, p. 586). Las diferencias encontradas en nuestra

11 En sentido similar, Ward et al (2010) encuentran que la etiqueta Energy Star podría tener una mayor influencia positiva entre los hombres debido a su combinación de beneficios públicos y privados (Ward et al., 2011, p. 1455).

encuesta (aunque solamente de 3,1%) podrían explicarse por el hecho de que, en Argentina, las mujeres ganan, en promedio, un 29% menos que los hombres. A su vez, esta brecha se amplía para las asalariadas informales, alcanzando un 35,6% (MECON, 2020, pp. 6, 8).¹² Todo lo dicho podría explicar que las mujeres (en el marco de investigación mencionada) tuviesen menos recursos económicos para acceder a electrodomésticos de mayor EE, que son -justamente- los más caros.

En el mismo sentido, diversos autores coinciden con que la DAP se acrecienta directamente con los niveles de ingresos (Alberini et al., 2018, pp. 117 y 179; Damigos et al., 2020, p. 8) y que los hogares parecen estar dispuestos a pagar un precio mayor por equipos de bajo consumo tan pronto como puedan hacer frente a sus otros gastos y vivir cómodamente con sus ingresos (Niamir et al., 2020, p. 6).

Conocimiento del problema del cambio climático y su influencia general sobre los consumidores. Cuando se les preguntó si conocían el problema del CC, el 91,7% de los participantes respondió que sí. Sin embargo, solamente el 47% de los encuestados conocía el vínculo entre CC y el consumo de energía, y sólo el 33,3% sabía que el consumo de energía era la principal causa de las emisiones de GEI. Es posible que estas diferencias en el conocimiento de las características del CC (al menos, con respecto a su relación con la energía) indiquen una *brecha de conocimiento* así como una *brecha de información*.¹³

¹² Recientemente, la OECD (2021) sostuvo que la pobreza energética es un fenómeno mundial, aunque es más intenso en los países en vías de desarrollo y afecta especialmente a las mujeres, que son las principales usuarias de energía doméstica (OECD, 2021).

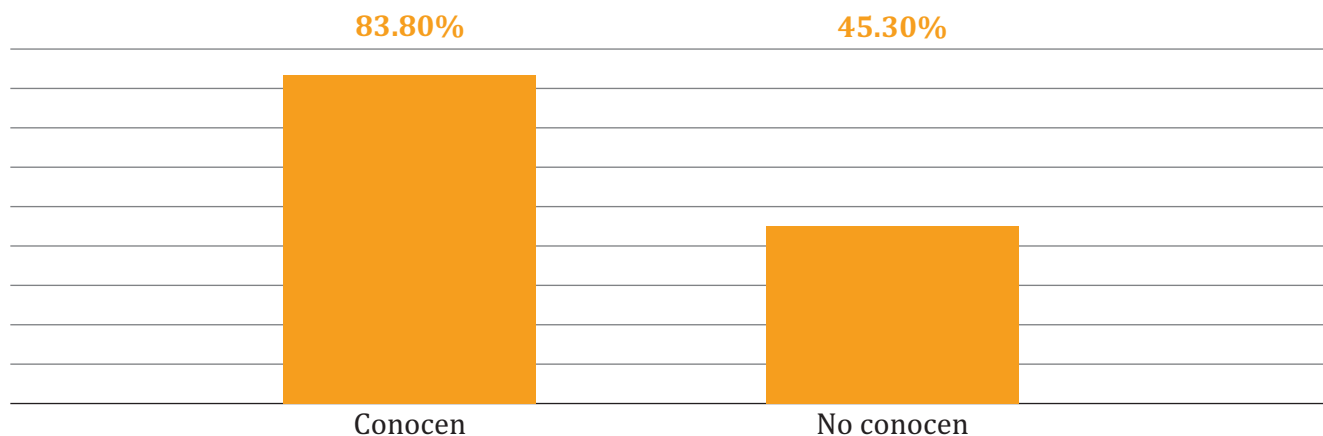
¹³ En este caso, la brecha del conocimiento haría referencia, en este caso, a una distribución desigual del conocimiento dentro de la sociedad.

Además, cuando se relacionó el “conocimiento” o “desconocimiento” del problema CC con la DAP de los encuestados por electrodomésticos de mayor eficiencia energética, el resultado fue el siguiente: para quienes conocían el problema del CC, la disposición a pagar fue del 83,80%; para quienes no conocían este problema, la DAP fue de solamente el 45,30%. Estos resultados se muestran en la figura 3.



Foto de Planet Care de Unsplash.

Figura 3. Disposición a pagar por un electrodoméstico de mayor eficiencia energética por parte de quienes “conocen” y de quienes “no conocen” el problema del cambio climático

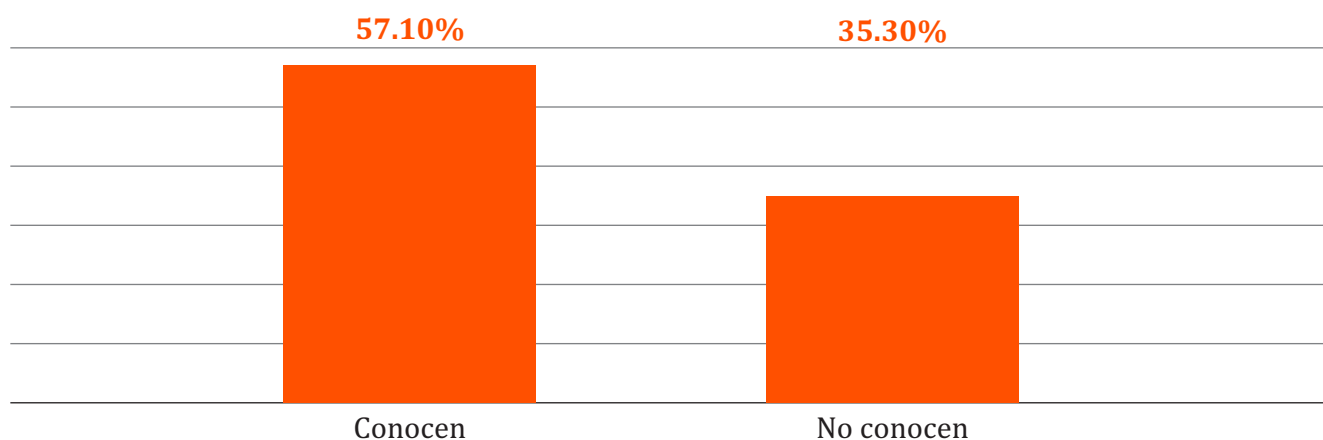


Fuente: Elaboración propia

Cuando se aplicó el conocimiento o no del cambio climático para medir la “claridad” de la información contenida en las EEE argentinas, el resultado fue el siguiente: el 57,10% de los que conocían el problema percibían que la información era clara; para quienes conocían el problema del CC, la información de las EEE era clara en un 57,10%; para quienes no conocían

el problema, la claridad de la información se reducía al 35,30%. Evidentemente quienes conocían y/o se preocupaban por el problema climático tenían una mayor percepción de claridad, posiblemente derivada de su actitud pro ambiental o pro climática. Esto puede demostrar una mayor preocupación por el tema del etiquetado. Ver figura 4.

Figura 4. Respuestas afirmativas a la pregunta “¿Consideras que la información contenida en las etiquetas energéticas de los electrodomésticos es clara?”, distribuidas entre quienes “conocen” y quienes “no conocen” el problema del cambio climático



Fuente: Elaboración propia

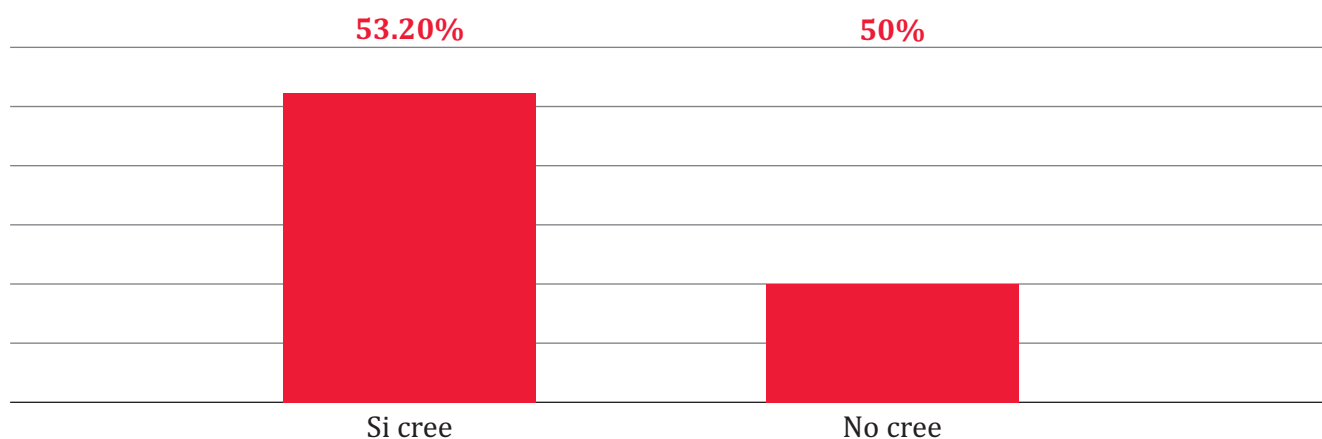
Creencia en la necesidad de ahorrar energía.

Cuando se les preguntó si creían en la necesidad de reducir el consumo de energía (promoviendo el ahorro de energía), el 88% de los encuestados respondieron afirmativamente. Dado que la encuesta fue diseñada para un público no experto, el ahorro de energía se entiende en un sentido amplio, como una manera de captar su *percepción* a favor de la “eficiencia energética.” El porcentaje de encuestados que presentaban esta creencia resultó elevado. Este resultado también mostró una tendencia a actitudes *pro eficiencia energética*, lo que podría estar asociado, finalmente, con actitudes a favor de la mitigación del CC. Estos resultados fueron también sorprendentes

por su alto porcentaje afirmativo. Además, las respuestas fueron consistentes con la literatura previa (Damigos et al., 2020, pp. 5, 8; Neves & Oliveira, 2021; Zhang et al., 2020, pp. 4, 11).

Por su parte, cuando se analizó la *influencia de la creencia (o no) de los consumidores en la necesidad de ahorrar energía sobre la claridad de la información contenida en las EEE argentinas*, resultó que: quienes creían en la necesidad de ahorrar energía calificaron la información como *clara* en un 53,3% de los casos. Sin embargo, para quienes no creían en la necesidad de ahorrar energía, el grado de *claridad* de la información se redujo al 50%. Véase la figura 5.

Figura 5. Respuestas afirmativas a la pregunta: “¿Consideras que la información contenida en las etiquetas energéticas de los electrodomésticos es clara?” distribuidas entre quienes “creen” y quienes “no creen” en la necesidad de ahorrar energía



Fuente: Elaboración propia

Esta diferencia podría explicarse (en este escenario) por la influencia de las actitudes pro ambientales y/o pro climáticas de ciertos consumidores (que creían en la necesidad de ahorrar energía y/o actuar de manera eficiente) frente a otros que no tenían esta conciencia. Estos resultados fueron importantes ya que -una vez más- podrían revelar la existencia de una *brecha de información* en cuanto a la *comprensión* de las EEE argentinas.¹⁴ Podría

decirse que, el 50% de quienes “no creen” en dicha necesidad podría estar mostrando una cierta ineficacia del sistema de etiquetado de EE. Cabe recordar que, en Argentina, el 36,5% de la población vive bajo la línea de pobreza (INDEC, 2022), por lo que dicha situación podría incidir en las respuestas que han tenido un fundamento netamente *pro económico*, como es la creencia en el ahorro de energía.

14 Esta brecha de información se ha mencionado en numerosas ocasiones por la literatura previa, incluidos de Ayala & Foudi, 2021; Heinzle y Wüstenhagen, 2012; Sammer y Wüstenhagen, 2006.

Conocimiento y uso de las EEE argentinas.

Cuando se les preguntó si conocían el sistema de etiquetado de artefactos eléctricos y electrodomésticos de Argentina, el 60,2% de los encuestados manifestó que lo conocía¹⁵, mientras que el 46,8% manifestó que no lo conocía. Este desconocimiento del sistema de EEE, también podría indicar la presencia de una brecha de información.

Por su parte, cuando se les preguntó si creían que la información contenida en las EEE era “clara”, la mayoría de los encuestados encontraron que las EEE argentinas contenían información clara (53,2%), aunque un alto porcentaje encontró que no lo era (43,1%). Quienes no encontraban “clara” la información contenida en las EEE, también podrían encontrarse afectados por una brecha de información.

Atributos de los electrodomésticos. Cuando se les preguntó *cuáles eran los principales atributos o características que preferían al momento de comprar una heladera, lavadora o aire acondicionado*, el principal atributo considerado fue la *eficiencia energética* (52,3%), seguido del *precio* (27,8%). Los resultados coincidieron en parte con estudios previos. Así, en la encuesta del Programa Top Ten (2017), para los mismos electrodomésticos, el “precio” fue el primer atributo que consideraron los consumidores, y en la nuestra, fue el segundo, lo que demuestra su importancia. Sin embargo, en la encuesta de Top Ten (2017), la EE ocupó el séptimo lugar (FVSA, 2017, p. 27). Es por ello que los resultados obtenidos en nuestra investigación fueron sorprendentes.

A su vez, los encuestados indicaron que su principal motivación para considerar el atributo *“eficiencia energética”* fue *“el medio ambiente y CC”* (60,2%), seguido de *“el ahorro de dinero en la factura de electricidad”* (20,3%) y, en tercer lugar, *“el ahorro de energía en general”* (19,5%). Puede decirse que quienes optaron

por esto último (como diferente del “ahorro de dinero”), exhibieron un comportamiento claramente *pro climático*, lo que coincide con estudios previos sobre el tema (Neves & Oliveira, 2021). Por otro lado, las respuestas de quienes optaron por *ahorrar dinero en la factura de electricidad* también fueron consistentes con la literatura previa (Damigos et al., 2020, pp. 2, 5; Shen & Saijo, 2009, pp. 3562, 3572).

Disposición a pagar por electrodomésticos de mayor eficiencia energética.

Cuando se les preguntó si *estaban dispuestos a pagar un precio más alto por un electrodoméstico de mayor EE*, el porcentaje de respuestas afirmativas también fue sorprendentemente alto: El 79,60% consideró que sí lo haría. Estas respuestas fueron importantes ya que también podrían indicar una presencia masiva de consumidores con actitudes pro climáticas entre los encuestados. Estos resultados fueron consistentes con estudios previos que encontraron una DAP de los consumidores por este tipo de electrodomésticos a favor de la mitigación de CC y/o de la eficiencia energética (Alberini et al., 2018; Damigos et al., 2020; Heinzle & Wüstenhagen, 2012; Sammer & Wüstenhagen, 2006; Zhang et al., 2020, pp. 1, 2, 8). Esto se mencionó en el marco teórico de este trabajo (página 97).

Finalmente, cuando se les preguntó *“cuánto estarían dispuestos a pagar por ese tipo de electrodoméstico en beneficio del medio ambiente y el clima*, las respuestas fueron diversas, aunque la mayoría optó por pagar “hasta un 15% por sobre el precio de mercado” de un producto similar, pero menos eficiente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Puede decirse que, el estudio que se presentó en este breve artículo (aunque limitado al caso estudiado) resultó ser un enfoque fructífero para investigar las preferencias de los consumidores de refrigeradores, lavadoras y acondicionadores de aire domésticos, mediante

15 Se les exhibieron diversas EEE argentinas y extranjeras.

el uso de EEE, en la Ciudad de Buenos Aires. Especialmente porque, a través de él, se presentó un análisis cualitativo sobre los factores que podrían influir en la disposición a pagar de ciertos consumidores, así como la influencia de las EEE en dicha disposición.

Se observó un alto porcentaje de respuestas pro climáticas (y/o pro ambientales) basadas, de manera preminente, en la conciencia ambiental de los encuestados. Esto se explicó al analizar las respectivas respuestas. Se pudo apreciar este tipo de conciencia en las respuestas referidas al conocimiento de la problemática del cambio climático o de la claridad de la información contenida en las EEE.¹⁶

Asimismo, resulta importante destacar que -como surge del análisis expuesto en la página 100 (Resultados y principales hallazgos)- se han encontrado (al menos) dos *brechas de información*: una con relación al conocimiento de la problemática del CC¹⁷, y otra con relación a la comprensión de la información contenida en las EEE argentinas¹⁸, y que afectarían principalmente a las personas de 65 años o más¹⁹. Por otra parte, no puede descartarse que las mencionadas brechas estén relacionadas entre sí.

En particular, la brecha que afectaría la comprensión de las EEE estaría mostrando una situación grave para los consumidores argentinos, toda vez que, como se dijo en este trabajo, las EEE tienen por finalidad -justamente- *paliar* las brechas de información existentes en el mercado, (como una manera de lograr un comportamiento energéticamente eficiente y mitigar el CC)²⁰. En consecuencia, en el caso de las EEE argentinas²¹,

en principio, no estarían cumpliendo -al menos completamente- con dicha finalidad.

Sería recomendable para los responsables de políticas analizar la posibilidad de *simplificar y/o unificar el diseño* de las actuales EEE argentinas. La nueva EEE reescalada de la Unión Europea, que se modificó en 2017 y entró en vigor en marzo de 2021²², proporciona un ejemplo de simplificación que podría ayudar a una mejor comprensión por parte de los consumidores argentinos.

LIMITACIONES

Como se adelantó reiteradas veces en este trabajo, los resultados obtenidos en el presente análisis son un valioso aporte para conocer las preferencias de ciertos consumidores de la Ciudad de Buenos Aires, pero no deben ser considerados como una muestra representativa de toda la Ciudad. Las conclusiones extraídas, sin embargo, pretenden contribuir, de manera seria y constructiva, a la escasa literatura argentina y extranjera preexistente, y a futuras investigaciones sobre el tema de la eficiencia energética y el etiquetado. Se sugiere confirmar los resultados por estudios cuantitativos posteriores. ■

DECLARACIÓN DE INTERÉS

El autor declara que no tiene intereses financieros en competencia ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo que se informa en este documento.

16 Al respecto, ver figuras 1 y 5.

17 Al respecto, ver figura 1.

18 Al respecto, ver figura 2, y Conocimiento y uso de las EEE argentinas (p. 34).

19 Como se dijo, ambas brechas afectarían a dicho segmento etario. Al respecto, ver gráficos 1 y 2.

20 Al respecto, ver lo dicho en los puntos 4 y 5.1

21 Esta conclusión, sin embargo, debe limitarse a las tres

EEE analizadas.

22 Al respecto, ver lo dicho en la p. 7, respecto del Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2017, por el que se establece un marco para el etiquetado energético (Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de julio de 2017.

REFERENCIAS

- Alberini, A., Bigano, A., Ščasný, M., & Zvěřinová, I. (2018). Preferences for Energy Efficiency vs. Renewables: What Is the Willingness to Pay to Reduce CO₂ Emissions? *Ecological Economics*, 144, 171–185. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.009>
- Bouille, Daniel (coordinador), Aliosha Behnisch, Gonzalo Bravo, N. di, Sbroiavacca, Hilda Dubrovsky, Francisco Lallana, Gustavo Nadal, Hector Pistonesi; Marina Recalde, Beno Ruchansky, Raúl Landaveri, Alejandra Romano, e I., & Sagardoy. (2021). *Propuesta del plan nacional de eficiencia energética de Argentina*. https://www.eficienciaenergetica.net.ar/img_publicaciones/09011503_PropuestaPlaNEEAR.pdf
- Damigos, D., Kontogianni, A., Tourkolias, C., & Skourtos, M. (2020). Behind the scenes: Why are energy efficient home appliances such a hard sell? *Resources, Conservation and Recycling*, 158, 104761. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104761>
- de Ayala, A., & Foudi, S. (2021). Consumers' preferences regarding energy efficiency: a qualitative analysis based on the household and services sectors in Spain. *Energy Efficiency*, 14(1). <https://doi.org/10.1007/s12053-020-09921-0>
- ENGHo_2017-2018. (2019). *Encuesta Nacional de Gastos de los Hogares 2017-2018*. moz-extension://b7278ad6-5477-4c0f-9e4e-81dd14818060/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fwww.indec.gob.ar%2Fftp%2Fcuadros%2Fsociedad%2Fengho_2017_2018_informe_gastos.pdf
- Disposición 732/2005*, (2005) (testimony of Ex DNCI). <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/110000-114999/110980/norma.htm>
- FVSA. (2017a). Análisis del mercado de acondicionadores de aire. Informe no publicado. In FVSA.
- FVSA. (2017b). *Análisis del mercado de lavarropas*. Informe no publicado.
- FVSA. (2017c). *Análisis del mercado de refrigeradores*. Informe no publicado.
- G.C.A.B.A. (n.d.). *Usuarios de energía eléctrica por tipo de usuario. Ciudad de Buenos Aires. Años 1996/2019 | Estadística y Censos*. 2019. Retrieved January 13, 2021, from <https://www.estadisticaciudad.gob.ar/eyc/?p=29128>
- Heinzle, S.L., & Wüstenhagen, R. (2012). Dynamic adjustment of eco-labeling schemes and consumer choice - the revision of the EU energy label as a missed opportunity? *Business Strategy and the Environment*, 21(1), 60–70. <https://doi.org/10.1002/bse.722>
- INDEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina. (n.d.). Retrieved October 20, 2022, from <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel3-Tema-4-46>
- IPCC. (2021). *The Physical Science Basis Summary for Policymakers Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IRAM. (n.d.-a). *Etiqueta de Eficiencia Energética de Aires Acondicionados*. IRAM. Retrieved April 5, 2021, from <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/eficiencia-energetica/cuidemos-la-energia-en-nuestro-hogar/las-distintas-etiquetas/aire-acondicionado>
- IRAM. (n.d.-b). *Etiqueta de Eficiencia Energética de Heladeras*. In IRAM. Retrieved April 5, 2021, from <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/eficiencia-energetica/cuidemos-la-energia-en-nuestro-hogar/las-distintas-etiquetas/la-heladera>
- IRAM. (n.d.-c). *Etiqueta de Eficiencia Energética de lavarropas*. IRAM. Retrieved April 5, 2021, from <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/eficiencia-energetica/cuidemos-la-energia-en-nuestro-hogar/las-distintas-etiquetas/el-lavarropas>
- MECON. (2020). *Las brechas de género en la Argentina Estado de situación y desafíos*. moz-extension://b7278ad6-5477-4c0f-9e4e-81dd14818060/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fwww.argentina.gob.ar%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fflas_brechas_de_genero_en_la_argentina_0.pdf

POTENCIAL DE GENERACIÓN DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA FLOTANTE EN MÉXICO

GENERATION POTENTIAL OF FLOATING PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY IN MEXICO

Ojilve Ramón Medrano Pérez ¹, Alejandra Carrera Cadena ², Laura Patricia Méndez López ³

Recibido: 11/07/2022 y Aceptado: 19/01/2023
ENERLAC. Volumen VI. Número 2. Diciembre, 2022 (110 - 128)
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Markus Spiske de Unsplash.

1 Cátedra CONACYT-Centro del Cambio Global y la
Sustentabilidad, A.C. (CCGS). México
ojilve.medrano@ccgs.mx
<https://orcid.org/0000-0002-5445-1136>

2 División de Ingeniería, Ingeniería en Energía y Desarrollo
Sustentable, Universidad del Valle de México. México
alejandra.carrera30@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8974-1993>

3 División de Ingeniería, Ingeniería en Energía y Desarrollo
Sustentable, Universidad del Valle de México. México
laura_mendezl@my.uvm.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-7511-1467>

RESUMEN

Los sistemas fotovoltaicos flotantes (FPV, por sus siglas en inglés) se describen como paneles solares montados sobre cuerpos de agua para aprovechar el coeficiente térmico negativo del panel. La FPV es una tecnología emergente y en crecimiento, hasta el momento no existe una evaluación del potencial de generación de dicho sistema en México. El objetivo de esta investigación se centra en determinar el potencial de generación del sistema FPV en México; además de analizar las perspectivas de implementación de estos sistemas. Para ello, se seleccionaron los embalses de potencial generación mediante parámetros y criterios de factibilidad señalados en la literatura, como la superficie del cuerpo de agua y embalse, la disponibilidad del recurso solar, la profundidad, entre otros. Derivado de ello, se selec-

cionaron 429 sitios para una capacidad total instalada de 97,238.06 MWp y un potencial total de generación de 145,307.96 GWh, siendo San Luis Potosí con 69,363.94 GWh y Veracruz con 54,924.78 GWh los estados de mayor potencial de generación al registrar el 85.5% del potencial total de generación FPV. En este contexto, esta investigación favorece la discusión, el conocimiento, y la toma de decisión en torno a los FPV.

Palabras clave: Energía fotovoltaica flotante, Energía fotovoltaica, Embalses, Energía hidroeléctrica, Potencial de generación.

ABSTRACT

FPV technology is described as solar panels mounted on bodies of water to take advantage of the panel's negative thermal coefficient. FPV is an emerging and growing technology, and so far, there is no evaluation of the generation potential of such a system in Mexico. The objective of this research is to determine the generation potential of the floating photovoltaic system (FPV) in Mexico. In turn, in analyzing the perspectives of the implementation of FPV systems in the country. To this end, reservoirs with potential generation were selected using parameters and feasibility criteria indicated in the literature, such as the surface of the body of water and reservoir, the availability of the solar resource, and the depth, among others. As a result, 429 sites were selected for a total installed capacity of 97,238.06 MWp and a total generation potential of 145,307.96 GWh, with San Luis Potosí with 69,363.94 GWh and Veracruz with 54,924.78 GWh being the states with the highest generation potential, registering 85.5% of the total FPV generation potential. In this context, this research seeks to contribute to the discussion and knowledge of this technology, and to decision-making around these issues.

Keywords: *Floating photovoltaic energy, Photovoltaic energy, Reservoirs, Hydroelectric power, Generation potential.*

INTRODUCCIÓN

Las matrices energéticas en muchos países alrededor del mundo han tenido como meta principal alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) asociadas a este sector (ODS 7: “Energía Sostenible para Todos”), además de buscar cumplir tratados internacionales como el Acuerdo de París que implica limitar el calentamiento global, siendo clave que a nivel mundial se alcance la transición energética. En el contexto, la transición hacia modelos con bajas emisiones de carbono en sectores como el energético, el transporte, las ciudades, las manufacturas y la producción de alimentos, juegan un papel determinante para la consecución de este objetivo. Asimismo, se considera fundamental que, junto a la transición hacia modelos energéticos climáticamente amigables al medio ambiente, la necesidad de avanzar hacia soluciones que propicien una recuperación que sea más justa, más segura y sostenible. Desde esta perspectiva, la generación energética global ha avanzado en las últimas décadas hacia sistemas de energía sostenible como respuesta a los problemas ambientales y a la urgencia climática mundial (efecto invernadero, el calentamiento global, la contaminación, etc.).

En alrededor del mundo se han implementado diversos proyectos renovables (solar, eólico, hidráulico, etc.), teniendo en el 2020 las energías hidroeléctrica, eólica y fotovoltaica una participación del 46.5%, 23.9% y 23.8% del total de fuentes de energía instaladas, respectivamente (Vo et al., 2021). Si bien la energía hidroeléctrica posee un mayor porcentaje de generación, la energía fotovoltaica ha ido tomando mayor participación en el mercado frente a las hidroeléctricas y eólicas (IRENA, 2020), y se espera que esta tecnología continúe consolidando su participación en la matriz de generación (Yousuf et al., 2020). Sin embargo, cabe mencionar que el incremento de la energía fotovoltaica mundial esta relacionada a la disminución de los costos de los paneles, mientras que las

hidroeléctricas es una tecnología que viene en desarrollo desde la explotación del petróleo, por lo cual no se pretende una comparación entre ambas tecnologías, pues existen entre ellas impactos ambientales y sociales diferentes; además de aspectos técnicos y legales totalmente distintos.

Si bien la energía fotovoltaica es considerada una de las fuentes de energía renovable más grandes, eficientes y limpias usadas en la producción de energía (Dixit, 2020), es tecnología posee algunos impactos negativos asociados al uso de la tierra y la falta de normativa para el reciclaje de los paneles solares al alcanzar su vida útil. Esta tecnología es de uso extendido en diferentes sectores (residencial, comercial, agrícola, industrial y educativo), siendo muy común la instalación de paneles fotovoltaicos en techos de edificios (principalmente, en Europa) o como parte de granjas solares (Agostinelli, 2020). Asimismo, recientemente se ha estado promoviendo la integración de esta tecnología en otros ámbitos (Dixit, 2020), en cierta medida impulsada por la limitante del uso de grandes superficies y la pérdida de competitividad de otras tecnologías (p. ej.: hidroelectricidad). Un ejemplo de ello lo representan los aprovechamientos llamados agro-fotovoltaica que promueven cultivar bajo los paneles solares aprovechando el efecto sombra para el aumento del rendimiento de los cultivos y su consumo de agua (Gascueña, 2019). Esta tecnología incipiente se ha puesto en marcha de manera experimental en cultivos como la patata (papas), uvas (viñedos), albaricoque, etc. Este tipo de aprovechamientos permiten a los productores reducir los costos y alcanzar la autosuficiencia, esto debido a que permiten crear puntos de carga para la conexión de equipos agrícolas, por ejemplo, de cámaras frigoríficas donde se almacenan las cosechas. Sin embargo, cabe mencionar que normalmente los parques solares son instalados próximos a líneas de transmisión y subestaciones, además de que se requieren grandes extensiones de tierra, lo cual, entre otros aspectos, ha reducido las proyecciones de crecimiento de la tecnología solar puesta en

tierra. En este contexto de innovación, desarrollo y obstáculos, otra alternativa a las plantas fotovoltaicas puestas en tierra son las plantas fotovoltaicas flotantes (FPV, por sus siglas en inglés), las cuales buscan optimizar el uso del suelo destinado para uso agrícola e inmobiliario (Kumar et al., 2021).

Los proyectos de FPV pueden ser definidos como paneles solares “tradicionales” montados sobre cuerpos de agua para aprovechar el coeficiente térmico negativo del panel (Solomin et al., 2021), los cuales se tratan de una aplicación reciente de la fotovoltaica que está dando sus primeros pasos y se espera tenga un crecimiento sostenido ante las limitantes de la fotovoltaica tradicional. No obstante, esta tecnología se ha desarrollado principalmente en países asiáticos como China, Singapur, Taiwán, Corea del Sur, e India, además de en países europeos como Países Bajos. En la actualidad, de acuerdo con Muhammad et al. (2021) los FPV se perfilan como una de las soluciones competitivas a los problemas energéticos actuales en todo el mundo. A nivel internacional, estos se pueden desarrollar en superficies como plantas de tratamiento de aguas residuales, embalses hidroeléctricos, canales de riego, estanques y lagunas (Patil et al., 2017). El mercado de la energía solar flotante surge en 2007 con la construcción del primer FPV en Aichi, Japón, siendo un punto de partida para el desarrollo de esta tecnología en otros países con sistemas a pequeña escala para investigación y demostración. No obstante, ya para el año 2008 se instala la tecnología fotovoltaica tradicional en superficies de agua la primera planta comercial con capacidad de 175 kWp en California, y en 2013 las plantas mayores a 1 MWp comenzaron a tener más auge, concentrándose el mercado en Japón, Corea y Estados Unidos. Actualmente, China es el principal actor en tecnología FPV, donde se han desarrollado plantas de más de 10 MWp en 2016 y una de 150 MWp en 2018 (World Bank Group et al., 2018), seguido por países como Australia, Brasil, Canadá, Francia e India (Vo et al., 2021).

En este contexto, la mayoría de estas instalaciones se han realizado en cuencas industriales, reservorios de agua potable o estanques de riego. La integración de FPV en ambientes con infraestructuras de aprovechamiento energético ya existentes, como centrales hidroeléctricas, aprovechan los equipos y conexiones cercanas a la red, además de mejorar la producción de energía y de reducir los costos y tiempos de instalación (Rosa-Clot & Marco Tina, 2020), y minimizar la evaporación en los cuerpos de agua (Yousuf et al., 2020). Sin embargo, cabe mencionar que las principales preocupaciones en torno al desarrollo de proyectos FPV están asociados a problemas medioambientales, como el deterioro en la calidad del agua y afectaciones al ecosistema y la biodiversidad acuática (Patil et al., 2017; Yousuf et al., 2020; Ma et al., 2021; Vo et al., 2021).

Estudios recientes han evaluado las FPV y presentado las diferentes características y componentes de estos sistemas fotovoltaicos flotantes (Sahu et al., 2016; Patil et al., 2017; Yousuf et al., 2020; Ramasamy & Margolis, 2021; Kumar et al., 2021; Ahn et al., 2021). Las FPV se han implementado en reservorios de agua e irrigación (Ferrer-Gisbert et al., 2013; Redón-Santafé et al., 2014; Patil et al., 2017), así como reportado diferentes experiencias en países, como Estados Unidos (Ramasamy & Margolis, 2021), Corea (Kim et al., 2019), China (World Bank Group et al., 2018), además de Australia, Canadá, India, Japón y Portugal (Vo et al., 2021). Igualmente, en otros países europeos y del sureste asiático (Patil et al., 2017). En el caso de países latinoamericanos, los proyectos FPV han sido desarrollados en Brasil y Panamá, además se están considerando su desarrollo en Colombia (Vo et al., 2021). Sin embargo, al ser una tecnología en desarrollo, en países con un potencial solar importante, como México, este tipo de aprovechamientos no se encuentran en desarrollo.

México se ubica en la porción norte del continente americano, limitando al norte con Estados Unidos y

al sur con Guatemala y Belice. Posee una superficie continental aproximada de 1,960 millones de km², y está dividido administrativamente en 32 estados federales. Por su ubicación geográfica, se caracteriza por su alta biodiversidad natural y la riqueza de recursos energéticos renovables como el viento y el sol, además de importantes sistemas hidroeléctricos. En la actualidad, el 25.64% de la generación eléctrica del país está basada en energías limpias (SENER, 2021).

El objetivo de esta investigación se centra en determinar el potencial de generación del sistema fotovoltaico flotante (FPV, por sus siglas en inglés) en México. A su vez, analizar y examinar las perspectivas de implementación de los sistemas FPV en el país. Por tanto, se busca contribuir al conocimiento y a la toma de decisión en torno a estos temas.

CONTEXTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO

De acuerdo con las cifras de la Agencia Internacional de Energía (EIA, por sus siglas en inglés) México registró en 2019 una generación total de 56,055.3 GWh en energías renovables, liderada por la energía hidroeléctrica con un 42.1% del total, la energía eólica con un 29.8% y la solar fotovoltaica con un 13.1%. La energía geotérmica, los biocombustibles y el biogás representaron los porcentajes menores en la participación (IRENA, 2019).

Hasta el momento se cuenta con un total de 731 centrales hidroeléctricas concentradas en 17 estados del país con una capacidad instalada total de 12,614 MW. En 2021, estas centrales generaron un total de 51,845.5 GWh, donde tan solo el sistema de presas del río Grijalva en el estado de Chiapas generó 10,690 GWh (OISE, 2021). El parque hidroeléctrico mexicano tiene una antigüedad de más de 30 años, enfocándose en aumentar la capacidad hidroeléctrica a través de la rehabilitación y modernización de las centrales y represas de riego.

A pesar de que la generación hidroeléctrica representa el mayor porcentaje de participación en energías renovables, la energía fotovoltaica ha mantenido una tendencia de crecimiento, incrementando su participación en un 19% del 2018 al 2021. En consecuencia, en la generación distribuida los sistemas fotovoltaicos son claves en la integración de proyectos de centrales eléctricas (CENACE, 2021). En este sentido, la política de Transición Energética de México ha avanzado en generación de energías renovables, permitiendo abastecer el suministro de electricidad de todos los sectores, garantizando el aprovechamiento de los recursos energéticos, así como la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), con el objetivo de preservar la soberanía y seguridad energética del país. En 2021 se reconoció un 29.5% de generación eléctrica a partir de fuentes limpias, como parte de las metas de la Ley de Transición Energética (Ley DOF 24-12-2015). Esta ley tiene como objeto “regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos”. Sin embargo, sigue siendo necesario la incorporación de nuevas tecnologías en la producción, transmisión y distribución de la electricidad, así como mejorar la eficiencia en los procesos que garanticen la confiabilidad del suministro eléctrico, logrando las metas en materia de energía limpia y eficiencia energética (CENACE, 2021).

En este sentido, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) han acordado que durante el sexenio de actual (2018-2024) se logre equipar 15 represas de riego para la generación de energía hidroeléctrica de 200 MW de capacidad instalada adicionales, con planes para incorporar 10 represas adicionales (IHA, 2021). En la actualidad, los planes de la administración federal actual (2018-2024) no contemplan la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas, centrándose en la modernización y rehabilitación de las centrales existentes.

Desde esta perspectiva, los proyectos de FPV han mostrado cierto crecimiento en países asiáticos principalmente (China, Corea, India, etc.), y algunos casos experimentales en Europa (Países Bajos) y Latinoamérica (Brasil). Sin embargo, en otros países latinoamericanos como México estos nacientes aprovechamientos no se han impulsado, en parte, debido a las limitaciones relativas al desarrollo de la fotovoltaica puesta en tierra.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó una revisión documental del tema y metodológica para determinar el potencial de generación de los proyectos FPV. En este contexto, se partió de los datos de ubicación de presas, embalses y cuerpos de agua para determinar el potencial de generación vinculado a esta tecnología.

Datos de ubicación de presas y embalses

Para este estudio se utilizó la base de datos de “México-Presas” obtenida a través de la plataforma *Humanitarian Data Exchange* v1.62.1, donde se encuentran de manera libre (Humdata, 2021). Esta base de datos contiene información referenciada geográficamente en formato shapefile sobre las presas en México, y de acuerdo con la metadata fue elaborada en octubre del año 2015 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), y contiene 4,897 sitios con características (nombre, latitud, longitud, altura máxima de corona, nivel máximo ordinario, etc.) de presas, embalses y cuerpos lacustres, los cuales tienen como propósito el almacenamiento, la derivación conducción, regulación y control, protección contra inundaciones, recarga de acuífero, y otros fines. A su vez, estas se agrupan en diferentes usos como agua potable, riego, generación de energía, acuicultura y pesca, fundamentalmente.

A partir de esta base de datos, se seleccionaron los embalses y cuerpos de agua con mayor potencial de generación de energía, esto a partir de criterios como la disponibilidad del recurso solar, la

profundidad, el uso de la presa y la cobertura del área de la superficie del embalse, etc.

Determinación del potencial de generación

El potencial de generación corresponde al total de generación de energía que cada sitio representa, esto a partir de la ubicación y la radiación solar correspondiente.

Parámetros clave:

A partir de los datos obtenidos en la base de datos sobre los sitios con características de presas, embalses y cuerpos lacustres, se seleccionaron 429 sitios en todo el país mediante diferentes criterios y parámetros considerados relevantes para el establecimiento de proyectos FPV (Figura 1), como la disponibilidad del recurso solar, la profundidad, uso de la presa y cobertura del área de la superficie del embalse, detallados a continuación.

En primera instancia se aplicaron restricciones en embalses que puedan presentar sequía, empleándose solo en embalses de presas de riego, agua potable y generación eléctrica. Sin embargo, es necesario considerar las potenciales restricciones vinculadas a las fuentes de agua potable, pues su funcionamiento esencial es la provisión de este servicio.

Posterior a ello, según el estudio de Spencer et al. (2018) se utilizó como criterio una superficie mínima de 4,000 m² y profundidades mínimas de 2 m. De acuerdo con Kumar et al. (2021) se colocó un límite a la profundidad promedio del cuerpo de agua debido a que existen soluciones rentables para cuerpos de agua con una profundidad inferior a 80 m. La profundidad del embalse se tomó de la sección “altura de la cortina”, proporcionada en la base de datos antes mencionada, cotejado con el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) en el apartado

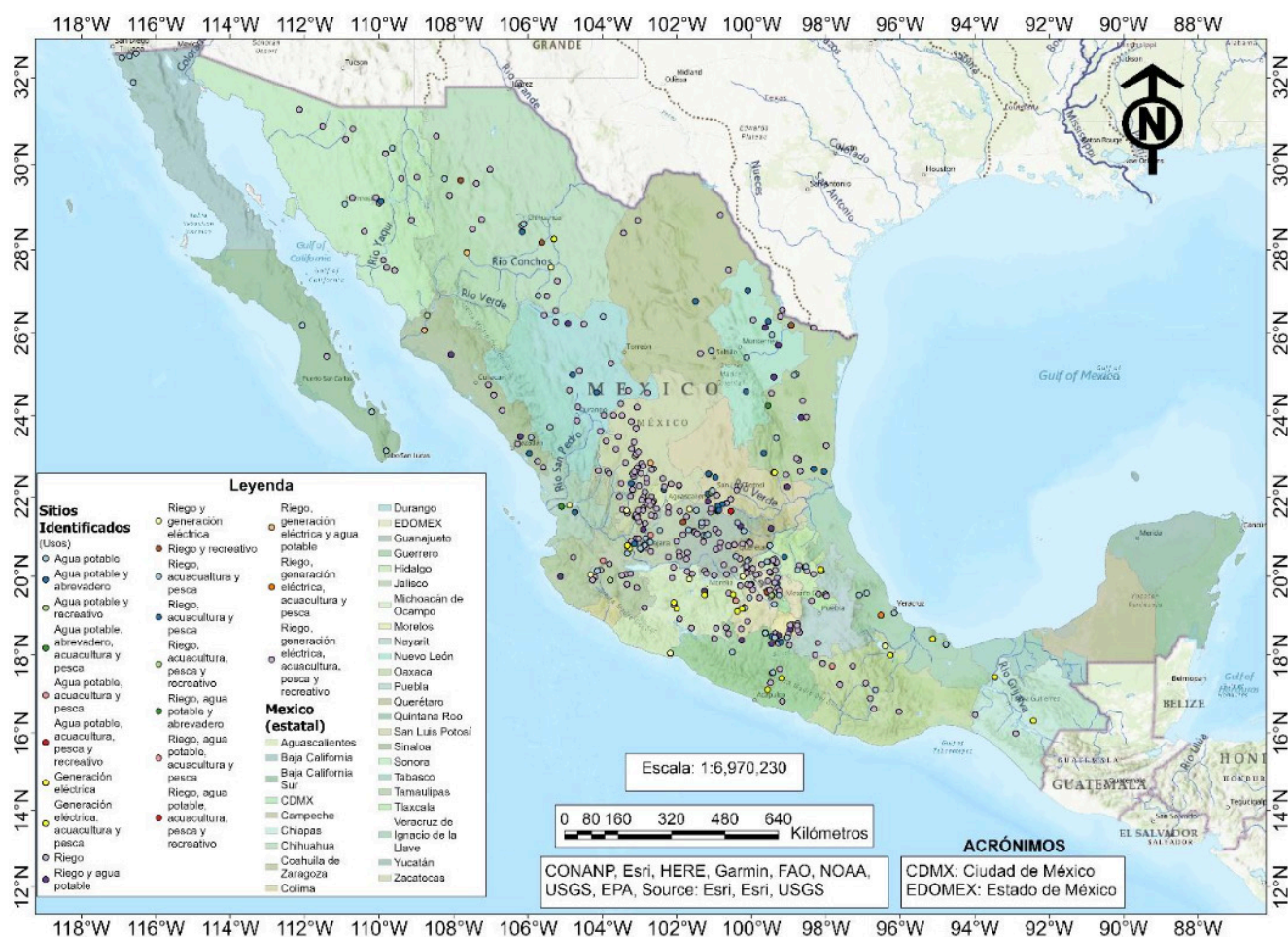
de Monitoreo de Presas Hidroeléctricas. Mientras que la superficie del embalse se determinó de forma manual mediante *Google Earth* para cada uno de los cuerpos de agua analizados. Por tanto, se advierte que deben tenerse en cuenta los errores de precisión que tiene *Google Earth*, siendo clave en futuros estudios estimaciones con mayor precisión para la determinación del potencial de generación de energía en los cuerpos de agua.

Subsecuentemente se consideraron los cuerpos de agua con una disponibilidad anual de Irradiación Global Horizontal (GHI,

por sus siglas en inglés) mayor o igual a 1,800 kWh/m² (Kumar et al., 2021). Estos datos fueron recabados de la base de datos del Atlas Solar Global (GSA, por sus siglas en inglés) mediante las coordenadas geográficas de cada embalse.

Por último, para determinar el potencial del despliegue de un sistema FPV se ha considerado una cobertura mínima de la superficie del embalse correspondiente al 10%, cifra establecida como punto de partida y área del embalse aprovechable considerada común en proyectos previos (Kim et al., 2019).

Figura 1. Área de estudio y sitios de interés.



Fuente: pendiente

La cantidad de sitios que cumplieron con los criterios y parámetros seleccionados fue de 429, distribuidos en 26 estados (Tabla 1).

Tabla 1. Número de embalses por estado factibles para instalación FPV.

Estado	Sitios identificados				Superficie potencial (km ²)	Superficie aprovechable (km ²)
	Uso de la presa					
	Riego	Agua potable	Generación eléctrica	Total		
Aguascalientes	12			12	25.68	0.34
Baja California		4		4	47.56	0.24
Baja California Sur	1	3		4	99.60	0.09
Chiapas	2		2	4	62.42	2.57
Chihuahua	11	5	3	19	72.05	4.76
Coahuila	5	2		7	98.44	9.96
Durango	13	4		17	49.24	6.24
Estado de México	19	6	2	27	31.10	7.21
Guanajuato	29	13		42	73.61	9.84
Guerrero	11	9	2	22	101.44	4.92
Hidalgo	14	3	2	19	2.11	3.11
Jalisco	31	12	4	47	1.74	7.36
Michoacán	14		7	21	98.00	10.14
Morelos	12		1	13	524.72	0.21
Nayarit	1	1	1	3	1.05	0.17
Nuevo León	5	4		9	10.51	9.80
Oaxaca	8	1	2	11	6,931.25	52.47
Puebla	3			3	69.41	0.11
Querétaro	11	3		14	17.58	1.05
San Luis Potosí	7	9	2	18	581.40	693.12
Sinaloa	10	1	1	12	11.29	6.94
Sonora	15	3		18	5,769.89	1.76
Tamaulipas	13	6	1	20	46.25	58.14
Tlaxcala	4			4	14,733.04	1.13
Veracruz		4	3	7		576.99
Zacatecas	50		2	52	0.92	4.63
Total	301	93	35	429	0.92	1,473.30

Potencia del sistema FPV

De acuerdo con Kumar et al. (2018) el área requerida por MWp para los proyectos FPV es de aproximadamente 10,000 m². Esta también se conoce como la densidad de capacidad promedio del sistema, siendo determinada por Spencer et al. (2018) a partir de la evaluación de 51 proyectos en todo el mundo, considerándose mucho mayor a la de los sistemas terrestres.

Sin embargo, de acuerdo con Rodríguez et al. (2020) el 34% del área a cubrir debe destinarse al espacio entre los flotadores para el movimiento de los técnicos y no presentar factor de sombras entre los paneles. Así, el 66% de la superficie destinada a cubrirse del embalse estaría realmente ocupada por los paneles fotovoltaicos.

La generación hidroeléctrica representa el mayor porcentaje de participación en energías renovables, sin embargo la energía fotovoltaica ha mantenido una tendencia de crecimiento. En consecuencia, en la generación distribuida los sistemas fotovoltaicos son claves en la integración de proyectos de centrales eléctricas.

Por lo tanto, el potencial del sistema FPV sobre un cuerpo de agua se estimó a partir de la ecuación 1 ajustada a la propuesta por Kumar et al. (2018):

$$P_{FPV} = \text{área cubierta por el panel (\%)} \times \frac{\text{Superficie a cubrir del cuerpo de agua (m}^2\text{)}}{\text{Área del proyecto FPV (m}^2\text{/MWp)}} \quad (1)$$

Generación de energía del sistema FPV

Para determinar la generación de energía de un sistema fotovoltaico se requiere conocer la potencia de los paneles o del sistema completo (en Watts) y las Horas Pico Sol (HPS) del lugar. Las HPS son el promedio de horas al día o año donde se recibe energía bajo una radiación de 1 kW/m². Se estiman a partir de los datos de radiación del lugar mediante la ecuación 2.

$$E = W \times HPS \quad (2)$$

Sin embargo, un sistema fotovoltaico presenta diferentes pérdidas y por ende su eficiencia disminuye, presentando un factor de degradación. En este proyecto de investigación se opta por considerar las pérdidas proporcionadas por el Atlas Solar Global (Tabla 2), ya que presenta una configuración de “sistemas flotantes a

gran escala” donde se realiza una simulación de sistemas fotovoltaicos cubriendo grandes instalaciones solares flotantes (Global Solar Atlas, n.d.).

Tabla 2. Pérdidas en el sistema FPV

Tipo	Pérdida (%)
Suciedad (DC)	6
Cableado (DC)	2.5
Mismatch (DC)*	6.5
Transformador (AC)	1
Cableado (AC)	2
Inversor	3

Fuente: Global Solar Atlas (n.d.). Nota. *El efecto Mismatching o de acoplamiento en fotovoltaica.

El desajuste (*mismatch*) entre los módulos de una cadena es alto ya que es inducido por las olas, así como las pérdidas por suciedad debido a los excrementos de pájaros y el polvo arrastrado por el aire y el movimiento del agua en los paneles. En la simulación se consideran los inversores de cadena con un parámetro de eficiencia europea (97%) utilizado en la simulación para las pérdidas de conversión de corriente directa (DC) a corriente alterna (AC), y el transformador de distribución (Global Solar Atlas, n.d.).

Sumando todas las pérdidas se tiene un total de 21%, por lo que el factor de degradación sería del 79%. Este factor se agrega a la producción de energía, teniendo como resultado (ecuación 3):

$$E = W \times HPS \times 0,79 \quad E = W \times HPS \times 0,79 \quad (3)$$

DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

La FPV está compuesta fundamentalmente por (Figura 2):

1. Pontón: es la estructura flotante donde se instala el sistema fotovoltaico, con la flotabilidad suficiente para aguantar carga pesada, diseñado para el número adecuado de módulos y disponibilidad del espacio. Los que se encuentran en el mercado son los flotadores con huecos de plástico, mayormente hechos de polietileno de alta densidad (*HDPE*, por sus siglas en inglés) (Sahu et al., 2016) o de polietileno de media densidad (*MDPE*, por sus siglas en inglés) (Solomin et al., 2021).

2. Sistema de amarre: este sistema se utiliza para mantener los paneles en la misma posición, evitando que giren o floten. El sistema de amarre se compone de una cuerda de amarre, anclaje y conexiones (Solomin et al., 2021). Se puede asegurar a un contenedor como muelles, boyas de anclaje y boyas de amarre, siendo su instalación un gran desafío en aguas profundas (Sahu et al., 2016). Por seguridad, la estructura flotante debería ubicarse en el medio del embalse, facilitando significativamente el sistema de amarre

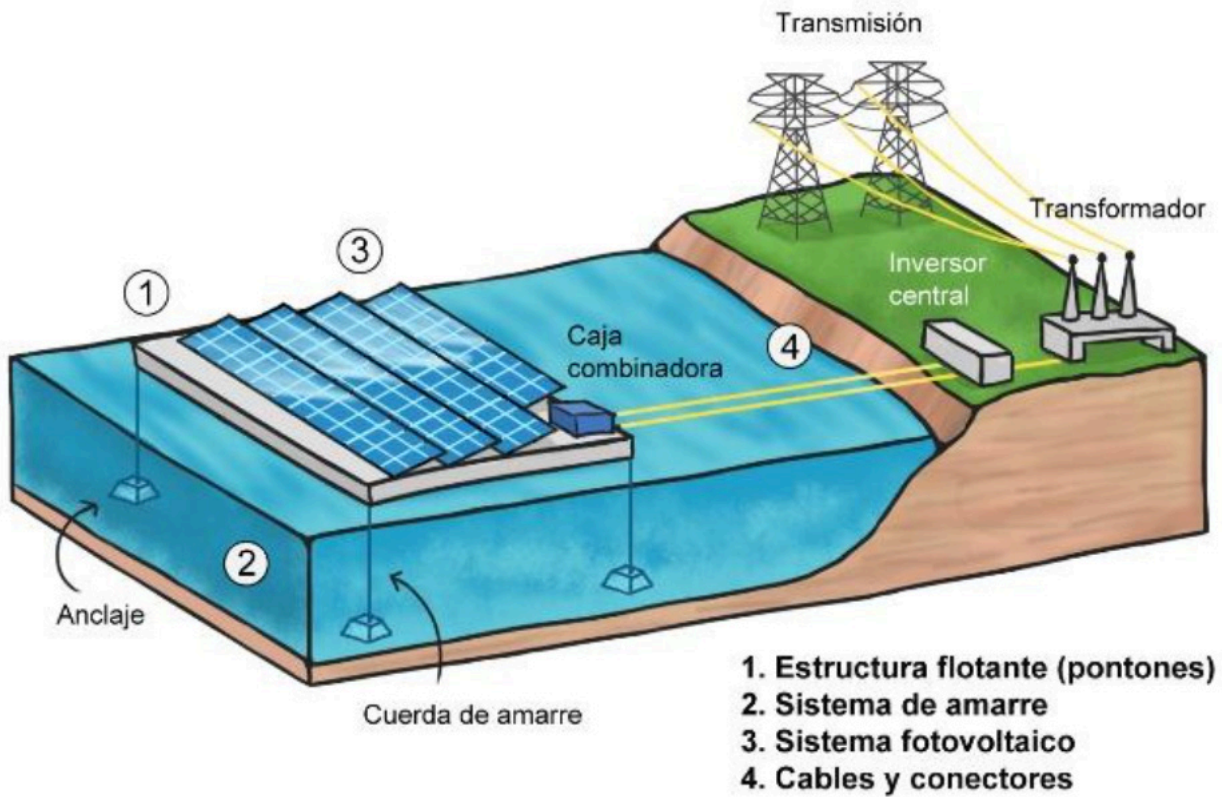
de la planta (Barbuscia, 2018), además el sistema de anclaje debe diseñarse con variaciones en el nivel del agua del embalse durante todo el año (Esteves-Galindo & de Almeida-Olivieri, 2017).

3. Sistema fotovoltaico: los paneles usados en estas instalaciones son de tipo estándar comercial (utilizados en sistemas terrestres), formando una matriz fotovoltaica montada en la plataforma flotante. Actualmente, la investigación solar-fotovoltaica también se ha aplicado a los sistemas flotantes con módulos fotovoltaicos flexibles y células solares mediante películas delgadas (Solomin et al., 2021).

4. Cables y conectores: la energía generada llega a la subestación mediante cables subterráneos, bajo agua o por flotadores (Solomin et al., 2021) los cuáles deben ser resistentes a altas temperaturas, impermeables y gruesos, con la clasificación adecuada junto a la caja de conexiones adecuada, ambos certificados con IP67, a prueba de agua. Elementos como el inversor o baterías se instalan en la costa, como los sistemas terrestres (Sahu et al., 2016).

Los proyectos de FPV pueden representar una variable adicional de diversificación de la matriz energética del SEN de México, al mismo tiempo que se protegen los recursos hídricos.

Figura 2. Esquema de un sistema FPV con sus componentes.



Los sistemas FPV se clasifican en tres grupos principales según sus estructuras de soporte. El primero es mediante arreglos de inclinación fija donde se requieren pontones rígidos. El segundo es con sistema de seguimiento, el cual se puede instalar con o sin pontón, y, por último, están los arreglos flexibles que, por su bajo peso, no se necesita una estructura de soporte en forma de pontón. También se pueden clasificar según la escala implementada; pequeña escala (kW), mediana escala (kW a MW) y gran escala (MW a GW) (Solomin et al., 2021).

RESULTADOS

El potencial total de generación de los sistemas FPV obtenido para México es de 145,307.96 GWh. El desglose a nivel estatal de este potencial se muestra en la Tabla 3, siendo San Luis Potosí con 69,363.94 GWh y Veracruz con 54,924.78 GWh

los estados de mayor potencial de generación al registrar el 85.5% del potencial total de generación FPV. A este liderazgo predominante, le siguen en tercer y cuarto lugar los estados de Tamaulipas con 5,719.83 GWh y Oaxaca con 5,097.65 GWh, respectivamente.

En detalles, cabe señalar que de los 429 sitios identificados se obtuvo una capacidad instalada de 97,238.06 MWp con un potencial de generación anual de 145,307.96 GWh. El estado con mayor generación es San Luis Potosí, con 18 sitios identificados tiene un potencial de 69,363.94 GWh, mientras que el estado con menor aportación es Baja California Sur con 4 sitios identificados para un potencial de 10.62 GWh. La presa con mayor aportación es la derivadora “El salto I”, con una generación de 69,278.05 GWh; ubicada en el estado de San Luis Potosí, cabe destacar que el uso de esta presa es para riego y generación eléctrica.

Tabla 3. Potencial de generación y capacidad instalada por estado.

Región	Estado	Capacidad instalada (MWp)	Generación FPV (GWh)	Sitios identificados
Centro	Aguascalientes	22.16	38.98	12
	Estado de México	475.53	807.21	27
	Guanajuato	649.73	1,143.43	42
	Hidalgo	205.25	345.77	19
	Jalisco	485.83	828.27	47
	Michoacán	669.50	1,145.21	21
	Morelos	13.93	25.07	13
	Puebla	6.93	12.55	3
	Querétaro	69.35	120.04	14
	San Luis Potosí	45,746.24	69,363.94	18
	Tlaxcala	74.51	130.80	4
Norte	Baja California	16.01	26.24	4
	Baja California Sur	6.05	10.62	4
	Chihuahua	313.92	535.98	19
	Coahuila	657.34	1,003.95	7
	Durango	411.97	717.77	17
	Nayarit	11.48	19.45	3
	Nuevo León	646.81	975.41	9
	Sinaloa	458.13	764.40	12
	Sonora	116.01	197.73	18
	Tamaulipas	3,837.23	5,719.83	20
	Zacatecas	305.25	537.42	52
Sur	Chiapas	169.47	254.57	4
	Guerrero	324.95	560.89	22
	Oaxaca	3,463.18	5,097.65	11
	Veracruz	38,081.30	54,924.78	7
Total		97,238.06	145,307.96	429

Los estados que presentan mayor potencial de generación se encuentran en el centro del país con 73,961.28 GWh (220 sitios) influenciado por el alto porcentaje del estado de San Luis Potosí. A su vez, le sigue la región sur con 60,837.89 GWh de generación (44 sitios), siendo influenciado por el alto potencial de generación del estado de Veracruz. Aunque se esperaría que los estados del norte dominen por la abundancia

del recurso solar o los estados del sur por la abundancia del recurso hídrico; los estados en el centro del país tienen un potencial de generación mayor como resultado de una mayor disponibilidad de superficie de cuerpos de agua factibles para el desarrollo de proyectos FPV. En detalle, se muestran en la Figura 3 los resultados obtenidos por estado y región.

Figura 3. Potencial de generación FPV: a) estatal; b) regional; c) total de sitios identificados por región; y, d) distribución espacial del potencial de generación.



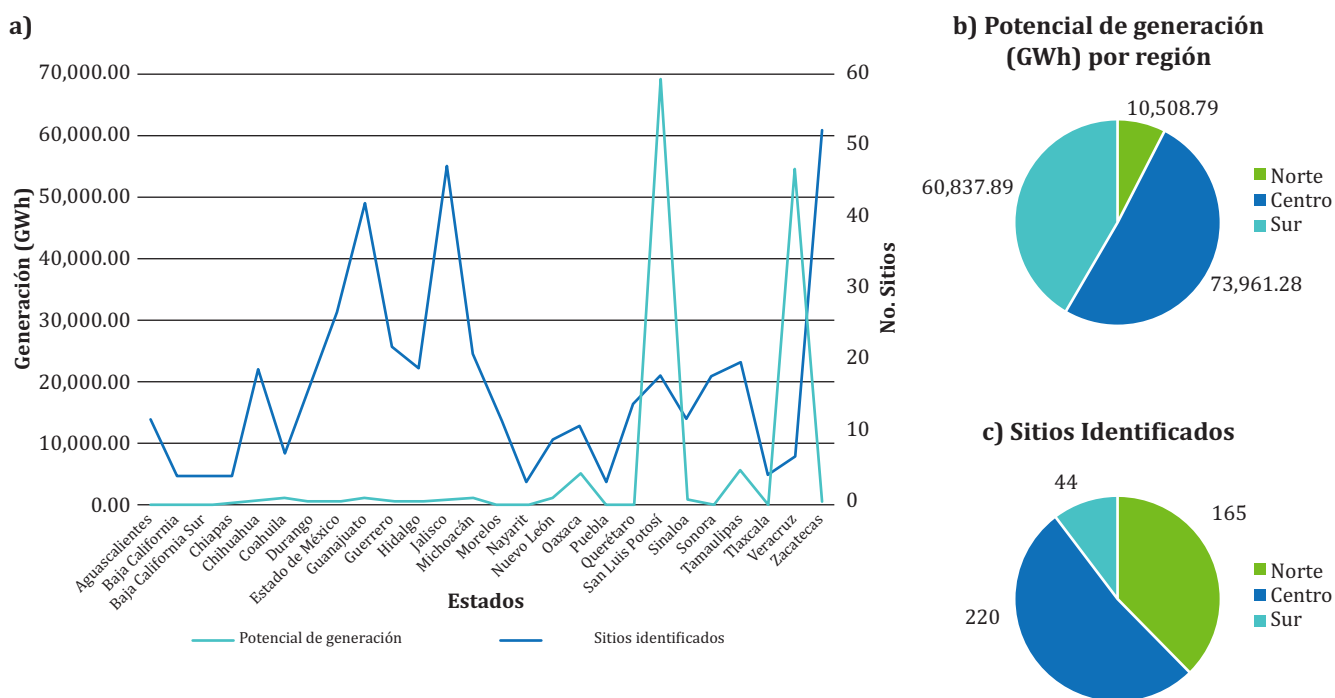
ACRÓNIMOS

CDMX: Ciudad de México
 EDOMEX: Estado de México

CONANP, Esri, HERE, Garmin,
 FAO, NOAA, USGS, EPA

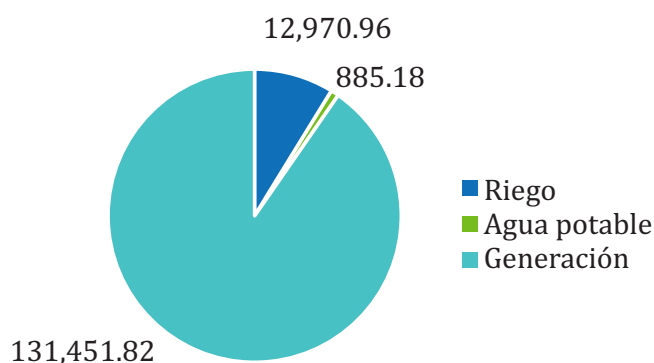
Leyenda

□ México (Estatal)	19.45	764.4
México (regiones)	25.07	807.21
▒ Centro	26.24	828.27
▒ Norte	38.98	975.41
▒ Sur	120.04	1003.95
Potencial de Generación (GWh)	130.8	1143.43
10.62	197.73	1145.21
12.55	254.57	5097.65
	345.77	5719.83
	535.98	54924.78
	537.42	69363.94
	560.89	
	717.77	



La viabilidad de implementar tecnologías híbridas puede depender de los usos y propósitos principales que tengan las presas. El potencial de FPV de los embalses de riego como propósito principal se distribuyen de manera uniforme con 301 sitios identificados en todo el país, mientras que el potencial FPV de los embalses de suministro de agua potable (94 sitios) e hidroeléctricos (34 sitios), se distribuyen de manera más dispersa en el país. Sin embargo, en cuanto al potencial de generación FPV por usos y propósitos principales, la generación eléctrica lidera la generación con 90.5%, seguida por el riego con 8.9% y agua potable con 0.6% (Figura 4).

Figura 4. Generación FPV por uso de las presas.



DISCUSIÓN

El potencial total de FPV para los 429 sitios identificados en México registra una capacidad instalada de 97,238.06 MWp y una total de generación de 145,307.96 GWh, el cual se sitúa en niveles de potencial de aprovechamiento muy alto respecto a otras zonas del mundo. En particular, Kim et al. (2019) reporta que Corea del Sur se consideraron 1,134 embalses

(>100 kW o superior de capacidad instalada) con una capacidad instalada total de 2,103 MW y una generación de energía de 2,932 GWh. Por otra parte, Kumar et al. (2021) estimó en India un potencial de 111,900 MWp aplicando las condiciones de superficie aprovechable, profundidad y radiación máxima permitida presentadas en este proyecto. En cuanto al estudio de Spencer et al. (2018) realizado en Estados Unidos se seleccionaron 24,419 cuerpos de agua, teniendo

una capacidad instalada de 2,116,000 MW con una cobertura del 27% de la superficie de los embalses, produciendo 786,000 GWh. Por lo tanto, el aprovechamiento FPV en México, representa un potencial elevado para el crecimiento del sector eléctrico mediante la implementación de nuevas tecnologías que contribuyan a la generación de energía de forma limpia y sostenible.

En términos generales, la generación FPV adicional al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) de México la electricidad necesaria para abastecer alrededor de 39 millones de hogares, y a su vez, podría impactar en el consumo de electricidad de sectores como la agricultura (p.ej.: bombeo en los distritos agrícolas) y el abastecimiento de agua potable a centros urbanos (p.ej.: bombeo y tratamiento de agua). En adición a ello, se tienen los beneficios ambientales que se obtendrían al dejar de emitir los GEI que se producirían al generar energía con otras fuentes más contaminantes. En particular, con el potencial de generación FPV se dejarían de emitir 64,153,910 toneladas al año de GEI en México, lo que equivale a las emisiones de GEI de 7 millones de vehículos, aproximadamente.

Cabe mencionar que los proyectos FPV presentan diversas ventajas, como el hecho de que son reversibles al no tener estructuras fijas como un anclaje terrestre (Rosa-Clot & Marco-Tina, 2020), además de tener una eficiencia de 10-15% mayor que los sistemas puestos a tierra (Solomin et al., 2021). En embalses hidroeléctricos, el sistema FPV permite reducir el estrés en las turbinas generadoras de energía y aumenta la vida útil de la central (Rauf et al., 2020). En temas ambientales previene el crecimiento de algas tóxicas al controlar la luz de manera adecuada (Rauf et al., 2020), mejorando la calidad del agua, además de disminuir la evaporación en el embalse (Esteves-Galindo & de Almeida-Olivieri, 2017). Un sistema FPV presenta mayor potencial en la disminución de emisiones de CO₂ que las plantas solares en tierra (Solomin et al., 2021). En cuanto a aspectos económicos reduce los costos en la integración a la red eléctrica debido

a que la energía generada hace uso de potenciales infraestructuras eléctricas existentes (Solomin et al., 2021). Sin embargo, entre sus desventajas se tienen factores climatológicos como el viento, olas, corrientes y nieves con efectos significativos sobre la estabilidad y rendimiento a largo plazo (Solomin et al., 2021), y si hay un exceso de sombra se podrían reducir los productores primarios (microalgas) del agua, impactando en su cadena alimentaria (Haas et al., 2020).

Ante ello, se presenta como una alternativa emergente para su desarrollo en los sitios que se consideren factibles económicamente, y con ello complementar los requerimientos crecientes de energía a nivel nacional. No obstante, cabe señalar que se tiene información limitada en aspectos como el impacto ambiental del sistema en los cuerpos de agua (Haas et al., 2020), instalación más especializada con un marco regulatorio que lo respalde (Solomin et al., 2021), lo cual representa una limitación importante para la toma de decisión en torno al desarrollo de estos proyectos. Por tanto, resulta relevante para el desarrollo de los proyectos FPV a corto plazo un mayor nivel de investigación y desarrollo centrado en el diseño, la elección y tamaño óptimo de la estructura flotante con un sistema de amarre eficiente y la dinámica en el cuerpo de agua de dicho sistema.

En este contexto de la tecnología, recientemente en España, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha sometido a consulta pública un proyecto de Real Decreto-Ley (6/2022 (RDL 6/2022)), publicado en el Boletín Oficial del Estado (BOE, 30/03/2022), para regular la instalación de plantas fotovoltaicas flotantes en el dominio público hidráulico (DPH). No obstante, las plantas fotovoltaicas flotantes estarán sujetas a la evaluación de impacto ambiental y a la modalidad de concesión, basándose en los principios de objetividad, transparencia, concurrencia y no discriminación y se otorgará con carácter temporal y plazo máximo de duración (incluye las prórrogas

<25 años). Igualmente, las autorizaciones de FPV estarán sujetas al marco normativo y a criterios técnicos del sector eléctrico (i.e.: sobrecarga en redes y nudos eléctricos). En consecuencia, si bien este Real Decreto-Ley busca impulsar las energías renovables y la integración de las FPV a la matriz de generación eléctrica, cabe mencionar que este incorpora un conjunto de previsiones ambientales y técnicas para una implantación prudente y armoniosa de estas tecnologías.

Desde esta perspectiva, los proyectos de FPV pueden representar una variable adicional de diversificación de la matriz energética del SEN de México, al mismo tiempo que se protegen los recursos hídricos; además, podría contribuir la política de Transición Energética del país, siempre que se tenga un marco normativo, la inversión, la planificación e investigación que apoye la implementación de esta tecnología. Por lo tanto, es fundamental tener en cuenta los impactos sobre el potencial ecológico de las masas de agua y sus ecosistemas asociados para un desarrollo armónico con el ambiente de los proyectos FPV.

CONCLUSIÓN

Este proyecto de investigación se centró en la revisión de literatura para conocer los aspectos fundamentales de un sistema FPV y de un sistema híbrido. Se estableció una metodología para estimar la generación de energía de un sistema FPV instalado en los embalses de diversas cuencas en todo el país. Los resultados obtenidos arrojan un total de 429 sitios para una capacidad total instalada de 97,238.06 MWp y un potencial total de generación de 145,307.96 GWh. Los estados de San Luis Potosí (69,363.94 GWh) y Veracruz (54,924.78 GWh) concentran el 85.5% del potencial total de generación FPV del país. Desde el punto de vista técnico, al tener un potencial de generación alto y aprovechando toda su capacidad instalada y superficie disponible, esta tecnología se muestra factible para su implementación.

Para estudios futuros se podría añadir la reducción de pérdidas por evaporación en el embalse y una evaluación ambiental respecto a la incidencia de la luz en el agua, el crecimiento de algas, la oxigenación y la vulnerabilidad hidrometeorológica. Igualmente, se podrían evaluar la implantación de las FPV en canales u otras obras hidráulicas. De igual forma, realizar un estudio de batimetría en el área de estudio ayudaría a la toma de decisión, y así determinar con mayor precisión la profundidad del embalse y sus variaciones a lo largo del año, además de estimar las distancias mínimas y máximas a la orilla del embalse, y la ubicación de las FPV. Continuar con la investigación de estos sistemas contribuye a la consolidación de este tipo de aprovechamiento y futura integración al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Además, se presenta como relevante identificar los sitios potenciales para la instalación piloto de este tipo de proyectos; además de considerar el uso primario de embalse ante cualquier impacto ambiental asociado a la calidad del agua.

Se estima necesario un marco normativo que permita un desarrollo armónico con el medio natural y de certezas y organización a los proyectos; además es clave tener instalaciones pilotos para evaluar los aspectos técnicos, económicos y ambientales asociados a la implantación de los FPV en las masas de agua. Por tanto, será necesario estudiar a fondo cada proyecto y los impactos ambientales asociados para validar sus efectos en el medio natural y el alcance de los beneficios de esta tecnología y la fiabilidad de su integración a SEN. ■

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A. C. (CCGS) por las facilidades durante la realización de esta investigación, así como a los revisores anónimos por los comentarios y recomendaciones.

REFERENCIAS

- Agostinelli, G. (2020, Mayo 01). *Emerging Energy Solutions: Floating Solar Photovoltaic on the Rise (English)*. World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/437981596176722170/Emerging-Energy-Solutions-Floating-Solar-Photovoltaic-on-the-Rise>
- Ahn, C.M.; Joo, J.C.; Kim, J.H.; Choi, S.H.; Jang, J.S.; and Go, H.W. (2021). Review of Installation Status and Major Environmental Issues of Floating Photovoltaic Power Plants (FPVs). *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 43 (4): 286-298. doi: 10.4491/KSEE.2021.43.4.286
- Barbuscia, M. (2018, Enero). Economic viability assessment of floating photovoltaic energy. *Research Gate*. https://www.researchgate.net/profile/Michele-Barbuscia/publication/322364592_Economic_viability_assessment_of_floating_photovoltaic_energy/links/5a561991aca272bb6963bd12/Economic-viability-assessment-of-floating-photovoltaic-energy.pdf
- BOE (Boletín Oficial del Estado). Real Decreto-ley 6/2022, de 29 de marzo, por el que se adoptan medidas urgentes en el marco del Plan Nacional de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la guerra en Ucrania. Jefatura del Estado, BOE, núm. 76, de 30/03/2022. Madrid, España. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rdl/2022/03/29/6/con>
- CENACE. (2022). Centro Nacional de Control de Energía. *Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2022-2036*. <https://www.gob.mx/cenace/documentos/programa-para-el-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2022-2036>
- Ciel & Terre. (2019, Octubre 15). Solar & hydro hybridization: ciel & terre's floating pv plant on sobradinho hydroelectric dam. Ciel & Terre. <https://www.ciel-et-terre.net/solar-hydro-hybridization-ciel-terres-floating-pv-plant-on-sobradinho-hydroelectric-dam/>
- Dixit, S. (2020). Solartechnologies and their implementations: a review. *Materials Today: Proceedings*, 28, 2137-2148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.134>
- Esteves Galindo, M. A., & de Almeida Olivieri, M. M. (2017). Some Remarks about the Deployment of Floating PV Systems in Brazil. *Journal of Electrical Engineering*. 10.17265/2328-2223/2017.01.002
- Farfan, J., & Breyer, C. (2018, Noviembre). Combining Floating Solar Photovoltaic Power Plants and Hydropower Reservoirs: A Virtual Battery of Great Global Potential. *Energy Procedia*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.038>
- Ferrer-Gisbert, C., Ferrán-Gozálviz, J. J., Redón-Santafé, M., Ferrer-Gisbert, P., Sánchez-Romero, F. J., & Torregrosa-Soler, J. B. (2013). A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs. *Renewable energy*, 60, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.04.007>
- Gascueña, D. (2019, Junio 19). *Cuatro tecnologías que prometen revolucionar la energía solar fotovoltaica*. Open Mind BBVA. <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/cuatro-tecnologias-que-prometen-revolucionar-la-energia-solar-fotovoltaica/>
- Global Solar Atlas. (n.d.). *Methodology*. Global Solar Atlas. Retrieved Octubre, 2021, from <https://globalsolaratlas.info/support/methodology>
- Haas, J., Khalighi, J., de la Fuente, A., Gerbersdorf, S.U., Nowak, W., & Chen, P.-J. (2020). Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. *Energy Conversion and Management*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112414>
- HumData (Humanitarian Data Exchange v1.62.1). (2021). México - Presas. Elaborada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI). Disponible en: <https://data.humdata.org/dataset/mexico-presas>
- IHA. (2021). International Hydropower Association. Hydropower Status Report (2020). <https://www.hydropower.org/publications/2021-hydropower-status-report>
- IRENA. (2018). International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/>

- IRENA. (2020). International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/>
- Kim, S.-M., Oh, M., & Park, H.-D. (2019). Analysis and Prioritization of the Floating Photovoltaic System Potential for Reservoirs in Korea. *Applied Sciences*, 9(3), 395. <http://dx.doi.org/10.3390/app9030395>
- Kumar, A., Purohit, I., and Kandpal, T.C. (2021) Assessment of Floating Solar Photovoltaic (FSPV) Potential in India. In: Bose M., Modi A. (eds) *Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Energy Research*. Springer Proceedings in Energy. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5955-6_93
- Lee, N., Grunwald, U., Rosenlieb, E., Mirlletz, H., Aznar, A., Spencer, R., & Cox, S. (2020). Hybrid floating solar photovoltaics-hydropower systems: Benefits and global assessment of technical potential. *Renewable Energy*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.080>
- Ma, C., Wu, R., and Su, H. (2021). Design of floating photovoltaic power plant and its environmental effects in different stages: A review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 13, 062701. <https://doi.org/10.1063/5.0065845>
- Muhammad, A., Muhammad, U., & Abid, Z. (2021). Potential of floating photovoltaic technology in Pakistan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43, 100976. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100976>
- OISE. (2021). Observatorio de Inteligencia del Sector Energético. *Energía Hidroeléctrica*. <https://www.oise.mx/hidraulica>
- Osborne, M. (2017, Julio 27). *First ever hydro-electric and floating solar project operating in Portugal*. PV Tech. <https://www.pv-tech.org/first-ever-hydro-electric-and-floating-solar-project-operating-in-portugal/>
- Patil, S.S.; Wagh, M.M.; Shinde, N.N. A. (2017). A review on floating solar photovoltaic power plants. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(6), 789. <https://www.ijser.org/researchpaper/A-Review-on-Floating-Solar-Photovoltaic-Power-Plants.pdf>
- Petrushevskaja, D. (2021, Junio 28). *Ocean Sun repairing damage to Statkraft's floating solar plant in Albania*. Renewables Now. <https://renewablesnow.com/news/ocean-sun-repairing-damage-to-statkrafts-floating-solar-plant-in-albania-745727/>
- Ramasamy, V. and Margolis, R. (2021). Floating Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2021 Installations on Artificial Water Bodies. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-7A40-80695. <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/80695.pdf>
- Rauf, H., Shuzub Gull, M., & Arshad, N. (2020, Diciembre). Complementing hydroelectric power with floating solar PV for daytime peak electricity demand. *Renewable Energy*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.017>
- Redón-Santafé, M., Ferrer-Gisbert, P. S., Sánchez-Romero, F. J., Torregrosa Soler, J. B., Ferran Gozalvez, J. J., & Ferrer Gisbert, C. M. (2014). Implementation of a photovoltaic floating cover for irrigation reservoirs. *Journal of cleaner production*, 66, 568-570. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.006>
- Rosa-Clot, M., & Marco Tina, G. (2020). Chapter 8 - Integration of PV Floating With Hydroelectric Power Plants (HPPs). *Floating PV Plants*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817061-8.00008-7>
- Rosa-Clot, M., & Marco Tina, G. (2020). Integration of PV Floating With Hydroelectric Power Plants (HPPs). *Floating PV Plants*, 12. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817061-8.00008-7>
- Sahu, A., Yadav, N., & Sudhakar, K. (2016). Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 66, 815-824. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>
- Sahu, A., Yadav, N., & Sudhakar, K. (2016). Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>

- SENER. (2021). *Secretaría de Energía. Balance Nacional de Energía 2020*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707654/BALANCE_NACIONAL_ENERGIA_0403.pdf
- Solomin, E., Sirotkin, E., Cuce, E., Selvanathan, S. P., & Kumarasamy, S. (2021, Mayo 11). Hybrid Floating Solar Plant Designs: A Review. *Energies*, 14(2751), 25. MDPI. <https://doi.org/10.3390/en14102751>
- Spencer, R. S., Macknick, J., Aznar, A., Warren, A., & Reese, M. O. (2018, Diciembre 11). Floating Photovoltaic Systems: Assessing the Technical Potential of Photovoltaic Systems on Man-Made Water Bodies in the Continental United States. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04735>
- Statkraft. (2020). *Banja floating solar plant*. Statkraft. <https://www.statkraft.com/about-statkraft/where-we-operate/albania/banja-floating-solar-plant/>
- Statkraft AS. (2021, Junio 3). *First floating solar plant in Albania starts commercial operations*. Intrade Globe Newswire. [globenewswire.com/news-release/2021/06/03/2240945/0/en/First-floating-solar-plant-in-Albania-starts-commercial-operations.html](https://www.globenewswire.com/news-release/2021/06/03/2240945/0/en/First-floating-solar-plant-in-Albania-starts-commercial-operations.html)
- Vinagre, C. J. (2019, Noviembre 6). *Una fotovoltaica sobre un embalse como experimento*. HOY Provincia Cáceres. <https://www.hoy.es/prov-caceres/fotovoltaica-sobre-embalse-20191106214858-nt.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.hoy.es%2Fprov-caceres%2Ffotovoltaica-sobre-embalse-20191106214858-nt.html>
- Vo, T. T. E., Ko, H., Huh, J., & Park, N. (2021). Overview of Possibilities of Solar Floating Photovoltaic Systems in the OffShore Industry. *Energies*, 14(21), 6988. <http://dx.doi.org/10.3390/en14216988>
- World Bank Group, ESMAP, & SERIS. (2018). Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report - Executive Summary (English). *World Bank Group*, 1, 24. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-market-report-executive-summary>
- Xingua. (2019, Agosto 6). *Brasil inaugura su primera planta solar fotovoltaica flotante*. América economía. <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/brasil-inaugura-su-primera-planta-solar-fotovoltaica-flotante>
- Yousuf, H., Khokhar, M. Q., Zahid, M. A., Kim, J., Kim, Y., Cho, E.-C., ... Yi, J. (2020). A Review on Floating Photovoltaic Technology (FPVT). *Current Photovoltaic Research*, 8(3), 67–78. <https://doi.org/10.21218/CPR.2020.8.3.067>

ALGORITMO PARA LA CARGA INTELIGENTE DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS PARA UN SISTEMA ELÉCTRICO CON ALTA PENETRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

*ALGORITHM FOR SMART CHARGING OF ELECTRIC VEHICLES FOR AN ELECTRICITY
SYSTEM WITH HIGH PENETRATION OF RENEWABLE ENERGIES*

Diego Castro ¹, Alejandro Gutiérrez ², Andrés Cardozo ³

Recibido: 26/08/2022 y Aceptado: 20/11/2022
ENERLAC. Volumen VI. Número 2. Diciembre, 2022 (130 - 143)
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Chuttersnap de Unsplash.

1 Universidad de la República (UdelaR). Uruguay.
d.castro.santestevan@gmail.com

2 Universidad de la República (UdelaR). Uruguay.
aguti@fing.edu.uy
<https://orcid.org/0000-0002-0769-3861>

3 Universidad de la República (UdelaR). Uruguay.
andres.cardozo33@gmail.com

RESUMEN

En la última década se transformó la matriz eléctrica de Uruguay logrando incorporar un elevado porcentaje de energías renovables intermitentes. Esto generó desafíos para la operación del sistema. A su vez, la migración hacia la movilidad eléctrica tiende a profundizar estos desafíos. Los sistemas de gestión de la demanda son posibles soluciones a esta problemática, en particular la gestión de cargas de vehículos eléctricos (VE). En este trabajo se diseña un algoritmo basado en blockchain para la coordinación de cargas de VE y se muestran los beneficios energéticos de su implementación. A su vez, se estudia el impacto de la penetración de VE en el futuro y se simulan los resultados que se tendrían con el sistema de coordinación. Se concluye que se tendrán problemas en la red de distribución asociados a sesiones de cargas de VE con la actual infraestructura, y la gestión de cargas de VE sería una solución efectiva.

Palabras clave: Energía Renovable, Vehículos Eléctricos, Gestión de la Demanda, Blockchain

ABSTRACT

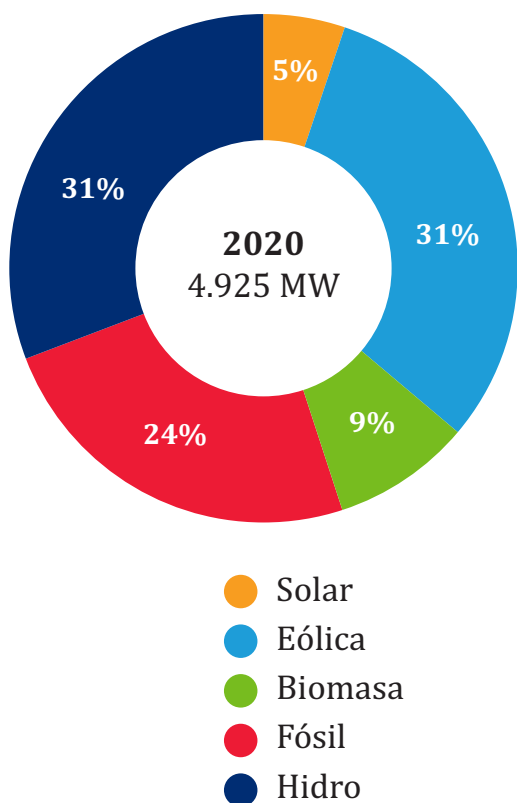
In the last decade, the electrical matrix of Uruguay was transformed, managing to incorporate a high percentage of intermittent renewable energies. In turn, the migration towards electric mobility tends to deepen these challenges. Demand response systems are possible solutions to this problem, in particular the management of electric vehicle (EV) charges. In this work, a blockchain-based algorithm for the coordination of EV loads is designed and the energy benefits of its implementation are shown. In turn, the impact of EV penetration in the future is studied and the results that would be obtained with the coordination system are simulated. It is concluded that there will be problems in the distribution network associated with EV charging sessions with the current infrastructure, and EV charging management would be an effective solution.

Keywords: Renewable Energy, Electric Vehicles, Demand Response, Blockchain

INTRODUCCIÓN

En Uruguay en los últimos años se ha transformado la matriz energética, de manera que actualmente predominan las fuentes autóctonas y renovables. Por ejemplo, en el 2018 el 97% de la energía eléctrica generada provino de fuentes renovables. En 2007 la potencia instalada de eólica y solar era prácticamente nula mientras que en 2020 la matriz es la que se muestra en la figura 1 (Balance Energético Nacional, 2020).

Figura 1. Potencia instalada en el sistema eléctrico uruguayo



Fuente: MIEM, 2020

La incorporación de este gran porcentaje de fuentes intermitentes fue posible debido a nuevas tecnologías para gestionar el despacho de estas fuentes. Para la energía eólica se desarrollaron herramientas de pronóstico de generación en distintas ventanas de tiempo para la planificación y operación del sistema

(Gutierrez et. al, 2018). A su vez, también se gestionó la variabilidad de generación con los embalses de las represas hidroeléctricas.

Existen varias alternativas para mitigar el efecto de la intermitencia, como por ejemplo, los sistemas de gestión de la demanda. Con el control de algunos dispositivos inteligentes e incentivos económicos se busca acompasar el consumo con la disponibilidad de generación. Un caso particular son los vehículos eléctricos (en adelante VE).

Blockchain es una estructura de datos digital, una base de datos compartida y distribuida que contiene transacciones guardadas en orden cronológico. Esta tecnología fue diseñada para facilitar transacciones distribuidas eliminando un administrador central. Como consecuencia, el *blockchain* puede ayudar a solucionar los desafíos que presentan los sistemas descentralizados de energía (Andoni et.al, 2019).

El presente trabajo tiene como objetivo cuantificar los beneficios de la gestión de carga de VE en el sistema eléctrico uruguayo, mediante una plataforma blockchain en donde los usuarios compartan la información referida a la carga de sus vehículos.

TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN

Según Pereira, Toscano y Villar la tecnología blockchain la definen como:

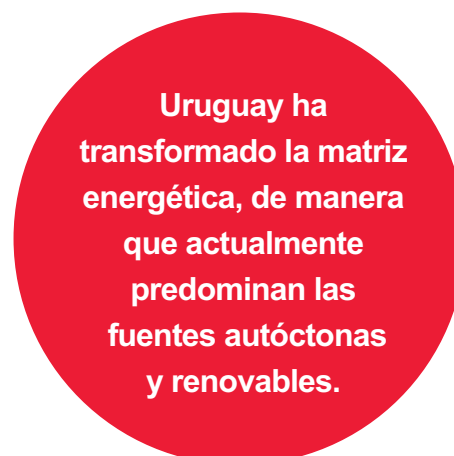
Una *blockchain* es un libro mayor, implementado como una base de datos distribuida en una red, la cual puede ser pública o privada. En ella, se almacenan de forma permanente (inmutable) un historial de transacciones mediante la utilización de nodos, los cuales pueden contar con diferentes permisos sobre la red. La *blockchain* garantiza la consistencia de los registros almacenados utilizando diferentes mecanismos de validación y consenso, actuando como una única fuente de verdad (canónica). (Pereira et. al., 2019, p. 10)

Los contratos inteligentes son programas ejecutables que realizan cambios en la plataforma blockchain y pueden ser ejecutados automáticamente una vez que se cumplen determinadas condiciones (Andoni et. al., 2019). Su utilización permite eliminar intermediarios y automatizar procesos reduciendo los costos de las transacciones. En los últimos años se han realizado varios estudios sobre la tecnología *blockchain* para aplicaciones de mecanismos de gestión de la demanda.

En (Inayata y Hwangb, 2018), se propone una arquitectura en base a *blockchain* con el fin de mover el consumo de las horas pico, a través de recompensas a los usuarios que lo hacen. En varios trabajos se proponen mercados locales entre usuarios con el fin de balancear las fuentes de energía renovables y los consumos (Guerrero et. al 2018, Hayes et. al. 2020, Horta 2018). En otro trabajo (Claudia Pop et.al., 2018), se propone un sistema de gestión de la demanda en tiempo real mediante la gestión de eventos de Respuesta de Demanda (DR) a través de contratos inteligentes.

HIPÓTESIS DE CRECIMIENTO DE VE URUGUAY

La carga de los VE es una de las principales demandas que pueden ser gestionadas con el objetivo de optimizar el funcionamiento del sistema eléctrico. En el marco del crecimiento del uso de VE, en esta sección se busca caracteri-



zar este sector en Uruguay. Para estimar la evolución de la demanda energética de la movilidad eléctrica en los próximos años, se utiliza el informe (MIEM, 2018) del 2018 elaborado por la Dirección Nacional de Energía del Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), en donde se realiza un estudio prospectivo de la evolución de la demanda energética uruguaya, en particular la demanda de los VE, para varios escenarios.

Para este estudio se considera el escenario más optimista del informe, en donde la penetración de VE es mayor. Luego, utilizando los rendimientos y recorridos medios diarios de los vehículos en base a varios estudios (MIEM 2013, MIEM 2018, IMM 2019, IMM 2020 y E2BIZ Consultores 2016) se determinan los consumos diarios de energía asociados a los VE, lo que se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Evolución y consumo energético de VE

Año	Cantidad de vehículos eléctricos				Eléctrico total (MWh)
	VE livianos	VE Buses	VE Birodados	VE Taxis	
2015	5	0	1,106	4	1
2020	156	34	2,214	220	21
2025	31,835	116	7,282	748	357
2030	59,308	292	17,300	1,521	691
2035	82,577	710	29,184	2,311	1,042

Fuente: Elaboración propia en base a datos de los informes (MIEM, 2013), (MIEM, 2018), (IMM, 2019), (IMM, 2020) y (E2BIZ Consultores, 2016)

Luego, se realiza una estimación de la distribución espacial de los cargadores en Montevideo, que es donde se deberían tener mayor cantidad de VE en función de la densidad de población. De acuerdo al porcentaje de población del departamento con respecto al total del país (40,1% según censo

2011, INE) y tomando como hipótesis que en la zona de estudio no existen cargadores de ómnibus y taxis se estima la distribución de cargadores en Montevideo de acuerdo a la cantidad de hogares por municipio y ponderado por el ingreso medio de dichos hogares, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Distribución de cargadores de VE en Montevideo según municipio

Municipios Montevideo	Hogares	% Hogares	Ingreso medio por hogar (\$)	Ponderación por ingreso	Distribución de EV
A	66,931	13.7%	50,455	0.7	9.8%
B	69,709	14.3%	73,437	1.0	14.9%
C	58,502	12.0%	74,914	1.1	12.7%
CH	70,196	14.4%	106,035	1.5	21.7%
D	59,720	12.3%	51,691	0.7	9.0%
E	57,118	11.7%	99,164	1.4	16.5%
F	54,301	11.1%	49,452	0.7	7.8%
G	50,621	10.4%	59,495	0.8	8.8%

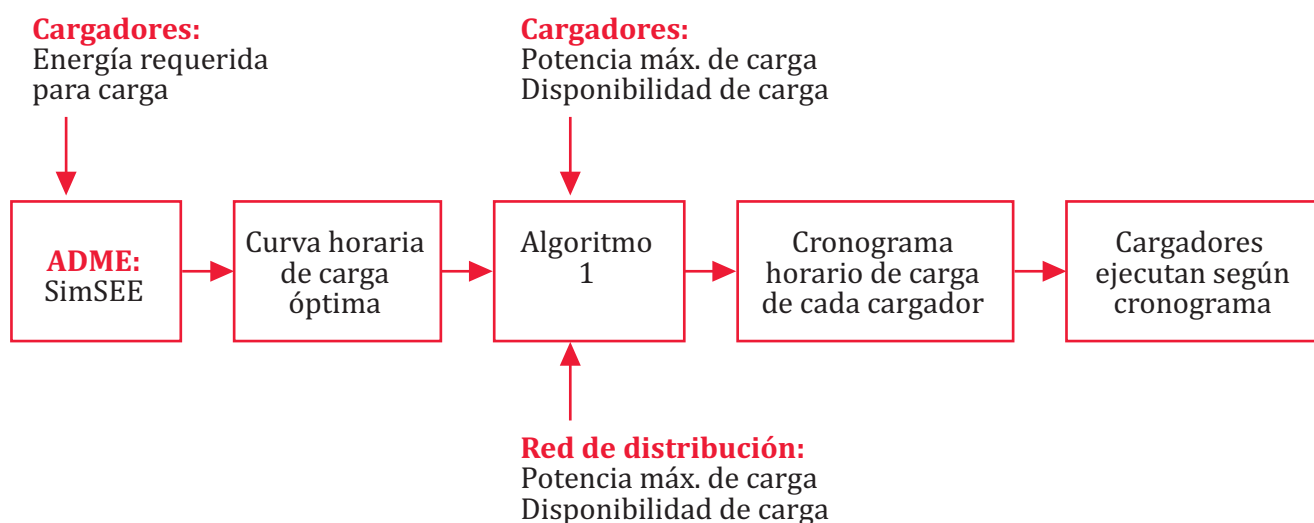
Fuente: Elaboración propia en base a datos de (IMM, 2018).

ESQUEMA GENERAL DEL ALGORITMO DE BLOCKCHAIN

En este trabajo se propone un sistema de coordinación de carga de VE, con el fin de incorporar las sesiones de carga en las horas del día en que es más conveniente para el sistema eléctrico, evitando o reduciendo los picos de consumo que se pueden generar en la red de distribución. Se desarrolla sobre un blockchain donde los nodos son UTE (empresa estatal de energía eléctrica), el Despacho de Cargas (operador del sistema) y los cargadores que quieran incorporarse. Las cargas se coordinan para el día siguiente, en base a una estimación del consumo. Mediante la utilización de una aplicación los usuarios de VE voluntariamente pueden compartir la información de carga de su VE con el sistema y tendrán bonificaciones económicas en la tarifa de carga.



Figura 2. Esquema del proceso de planificación de las sesiones de carga de VE



Fuente: Elaboración propia.

Cada cargador informa el horario en que estará disponible para cargar, su potencia máxima y la energía que consumirá en las próximas 24 horas. Esta información es levantada por el Despacho de Cargas y, junto con los pronósticos de generación y de la demanda, determina la carga en cada hora que minimizan el costo de abastecimiento de la demanda. Luego, mediante un algoritmo se asignan los cronogramas horarios de cada cargador en función de su disponibilidad para cargar, la energía que consumirá y un factor de simultaneidad para cada subestación de la que está alimentado el cargador. En la figura 2 se muestra un esquema simplificado del proceso de coordinación.

La información que se escribe en el *blockchain* es la asociada a los cronogramas de carga y la energía diaria que consumen realmente los cargadores. Se describen a continuación los pasos en el proceso para determinar el cronograma de carga de cada cargador.

1. Cada día cada cargador envía una transacción al contrato inteligente 1, en donde especifica energía a consumir y disponibilidad horaria para cargar el próximo día.

2. El contrato inteligente 1 guarda la energía que debe consumir cada cargador y la envía al contrato inteligente 2 (detallado más adelante), envía una transacción con la energía total a consumir al Despacho de Cargas, y queda a la espera de los pasos 3 y 4.

3. Con la demanda de carga total, el Despacho de Cargas determina, junto con los pronósticos de generación de eólica y solar, las cotas de las represas y el costo futuro del agua (precio que considera la optimización del despacho de las fuentes disponibles), la curva de carga que minimiza el costo de generación. Luego el Despacho de Cargas envía una transacción al contrato inteligente 1 con la curva de carga óptima.

4. El contrato inteligente 1 levanta la información de la red de distribución, la cual debe estar disponible en un servidor de UTE. Esta información tendrá la lista de los cargadores conectados a cada subestación de la red y un factor de simultaneidad (detallado en la página 138) máximo horario que deberá limitarse a cada subestación.

5. El contrato inteligente 1, una vez que tiene la información de 3 y 4, determina el cronograma horario que debe ejecutar cada cargador y se los envía. Para esto, primero se determina la energía que consumirá cada subestación mediante el óptimo que minimiza el error de la ecuación 1 y cumple las restricciones 2, 3 y 4. ΔE_i es la energía óptima de carga en cada hora i (determinado por el Despacho de Cargas), σ_{ij} es la energía asignada a la subestación j en la hora i , M es la cantidad de subestaciones, $P_{cargadores}$ la potencia de los cargadores (7,4 kW), f_{s_i} es el factor de simultaneidad horario de la subestación, $Disp_{ij}$ es la disponibilidad de carga en la hora i de la subestación j , la cual es la suma de las disponibilidades de cada cargador conectado a la subestación. E_{req_j} es la energía total requerida por la subestación j , la cual es lo declarado en el paso 1.

$$\min \{ \Delta E_i - \sum_j^M \sigma_{ij} \} i \in T \quad (1)$$

$$\sigma_{ij} \leq f_{s_i} \cdot P_{cargador} \quad (2)$$

$$\sigma_{ij} \leq Disp_{ij} \quad (3)$$

$$\sum_i^T \sigma_{ij} \leq E_{req_j} \quad (4)$$

Una vez determinada la energía de cada subestación, se busca el cronograma horario de cada cargador el cual es el óptimo de la ecuación 5 con las restricciones de las ecuaciones 6 y 7. $Disp_{ik}$ es la disponibilidad de carga en la hora i de cada cargador k . E_{req_k} es la energía total requerida por cada cargador k , la cual es lo declarado en el paso 1. N_j es la cantidad de cargadores asociados a cada subestación.

$$\min \{ \sigma_{ij} - \sum_k^{N_j} \delta_{ik} \} i \in T \quad (5)$$

$$\delta_{ik} \leq Disp_{ik} \quad (6)$$

$$\sum_i^T \delta_{ik} \leq E_{req_k} \quad (7)$$

En el caso que no se asigne toda la energía especificada en el punto 1, ya sea porque no existe disponibilidad de carga en los horarios óptimos determinados en 2, o porque se supera el factor de simultaneidad, se procede a asignar las cargas a partir de las 0 horas considerando la disponibilidad de carga y el factor de simultaneidad, sin tener en cuenta la curva de carga óptima.

6. Finalmente, los cargadores ejecutan la carga de acuerdo a lo enviado en 5.

Para el registro de la energía, cada cargador envía una transacción a un contrato inteligente 2 con la cantidad de energía consumida en cada hora y el cronograma de carga. El contrato inteligente 2 compara la energía consumida con el cronograma y determina el porcentaje de energía que efectivamente fue coordinada, es decir energía consumida en el horario determinado por el cronograma. Una vez que tiene la energía de las 24 horas, envía una transacción a UTE con el total de energía consumida en el horario determinado por el cronograma y el total de energía consumida fuera de dicho cronograma.

BENEFICIOS ENERGÉTICOS DE UNA CARGA COORDINADA DE LOS VE

Para analizar el impacto que puede tener el sistema de coordinación de cargas de VE se realizó una simulación en el programa SimSEE, el cual es un programa de simulación de sistemas de energía eléctrica desarrollado por la Facultad de Ingeniería de la Udelar¹. En este programa se pueden modelar todos los actores que participan en el sistema eléctrico uruguayo (demanda, generadores, exportación, etc.) y

1 simsee.org

realizar simulaciones para evaluar cómo se comporta el sistema. Se utiliza el OddFace², también desarrollado por la Facultad de Ingeniería de Udelar, el cual determina la configuración óptima de inversiones que minimizan el costo de abastecimiento de la demanda (CAD) en el período de optimización.

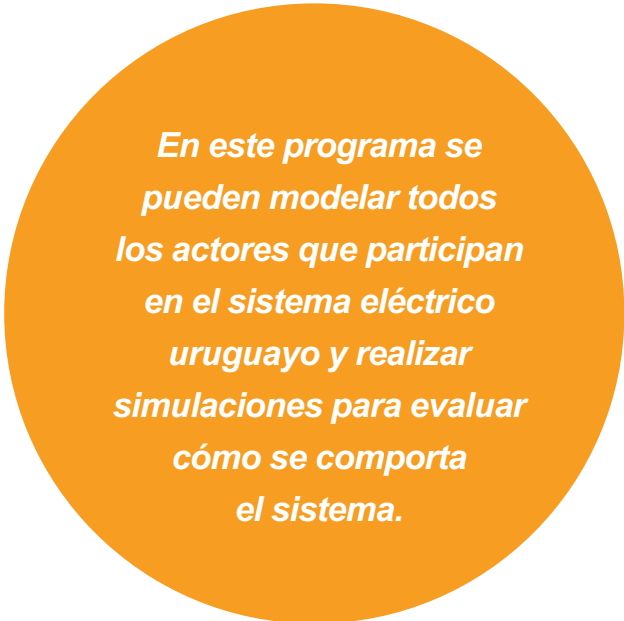
En primer lugar, se realizaron dos simulaciones en el OddFace. En el escenario base se toma como hipótesis que toda la carga diaria de VE comienza a las 0 horas (horario de 0 a 7 horas precio más bajo según la tarifa actual). En el segundo escenario se incorpora el sistema de coordinación de cargas, de esta manera se puede observar la diferencia entre el CAD y la matriz de generación necesaria para cada escenario.

Las simulaciones en el OddFace se realizan en el período comprendido entre el 2022 y el 2035. Para la demanda de energía del sistema se utiliza un perfil típico de Uruguay con un crecimiento anual de 2%. Como hipótesis se define que los excedentes de generación se exportan a 7 USD/MWh. Las tecnologías consideradas para la expansión son eólica, solar y turbinas de gas, con costos de inversión según los valores medios del informe Lazard (Lazard, 2020). Se utiliza una potencia de 7,4 kW para los vehículos livianos y birodados y 60 kW para los ómnibus. A su vez, se supone existe un cargador por cada VE. El sistema de coordinación de cargas se simula con el actor del SimSEE “demanda con respuesta”. Este actor distribuye una demanda determinada en las horas en donde el costo marginal de generación es menor.

Con la cantidad de VE en el 2035 se obtiene una potencia de carga total de VE de 887 MW. Se puede observar que si todas las cargas comienzan a las 0 horas, se generará un pico de 887 MW, en una demanda que aproximadamente tiene una potencia pico de 2500 MW, lo que es un aumento considerable.

En la tabla 3 se muestran los resultados de las potencias de expansión eólica, solar y térmica instaladas en el período de planificación, para cada escenario. Estas configuraciones de potencia de expansión son las que minimizan el costo de abastecimiento de la demanda (CAD) en el período, los que también se muestran en la tabla 3. Se puede observar que la coordinación de cargas de VE aumenta levemente la potencia instalada de energía eólica y solar. Por otro lado, la expansión de potencia térmica se reduce a la mitad. Consecuentemente, el valor esperado del CAD es un 1,8% menor con el sistema propuesto.

Una vez determinada la potencia instalada óptima en cada escenario, se procede a realizar una simulación en el año 2035 en el SimSEE, con el fin de evaluar el sistema únicamente en el año con mayor porcentaje de VE. Se realizan dos simulaciones de 10.000 crónicas del escenario base y el escenario 2. En la tabla 3 también se muestran los resultados de ambos escenarios. Se tiene un menor CAD y los excedentes son mayores en el escenario 2.



En este programa se pueden modelar todos los actores que participan en el sistema eléctrico uruguayo y realizar simulaciones para evaluar cómo se comporta el sistema.

2 adme.com.uy

Tabla 3. Resultados simulaciones OddFace y SimSEE

	Simulación período 2022-2035				Simulación año 2035		
	CAD (MUSD)	Pot eólica (MW)	Pot solar (MW)	Pot térmica (MW)	CAD (MUSD)	Excedentes (GWh)	Gen. térmica (GWh)
Escenario base	5,388	1,100	1,300	240	979	4,232	274
Escenario 2	5,293	1,150	1,400	120	971	4,440	203

Fuente: Elaboración propia.

A su vez, la potencia máxima demandada en el escenario base es de 2724 MW, mientras que en el escenario 2 es de 2651 MW. Esto implica un menor estrés a las redes eléctricas (transformadores, líneas, etc.) en el escenario con la coordinación de VE. Por lo tanto, la implementación de la coordinación de cargas de VE genera una reducción en valor esperado de unos 100 millones de dólares constantes del CAD en el período comprendido entre el 2022 y el 2035.

ANÁLISIS DE IMPACTOS EN LA RED ELÉCTRICA

En esta sección se analiza el impacto de la carga de VE en la red de distribución eléctrica y cómo influye la incorporación de un sistema de coordinación de cargas. Para esto se realiza un estudio en una parte de la red eléctrica de Montevideo. Se decide seleccionar una zona en donde se tendrá mayor cantidad de VE lo que implica un mayor impacto sobre la red de distribución. Según la cantidad de cargadores por municipio determinada en la sección 3, se selecciona como zona de estudio los municipios CH y E.

Análisis sesiones de carga descoordinadas

Para el estudio fueron aportados por UTE los datos de las subestaciones de media a baja tensión de los municipios elegidos, las cuales son

unas 1000 aproximadamente. A partir de esta información se determina una curva de carga horaria para cada municipio en base al día en donde se registró la potencia máxima de la serie de datos. A los datos se les aplica un aumento del 2% anual para escalarlos a la demanda del 2035. Luego se calcula la energía requerida por cada municipio y la curva de potencia de carga de acuerdo a la cantidad de cargadores en cada municipio, la potencia de los mismos (7,4 kW) y los consumos diarios de los vehículos. Según las hipótesis del escenario base, todas las cargas comienzan a las 0 horas.

Para el análisis se supone que todas las subestaciones tendrán el mismo porcentaje de carga y que los cargadores de VE estarán instalados de manera proporcional a la potencia nominal de cada subestación. Al incorporar la carga de VE existe un aumento significativo en los porcentajes de carga de las subestaciones pero igual se mantienen por debajo de los valores admisibles de los transformadores. Por lo tanto, se puede concluir que en base a las hipótesis consideradas no se tendrán problemas de sobrecargas de transformadores a nivel de media a baja tensión.

Para evaluar el impacto de la carga sin controlar de los VE en las líneas de distribución, aguas abajo de las subestaciones analizadas, se procede a calcular las caídas de tensión en las redes

de distribución de dos subestaciones específicas. Para tal fin, también se solicitó a UTE dos unifilares de dichas redes. Se analizan dos tipos de ramales de distribución que son típicos en los municipios considerados. Por un lado, se tiene una subestación con varios ramales que tienen un cable de unos 150 metros de largo aproximadamente que alimenta una carga puntual (situación típica en edificios del municipio CH). Por otro lado, para el municipio E se utiliza una subestación con una distribución típica en casas donde las cargas están más distribuidas. Se analiza sólo un ramal de 4 que tiene la subestación.

En el caso del CH, se analiza uno de los ramales que tiene un cable de 150 metros. La caída de tensión hasta los usuarios, ΔU , es la caída de tensión en el transformador, donde se tiene la corriente del consumo de todos los usuarios, $I_{usuarios}$, y la corriente de todas las cargas de VE, I_{EV} , sumado a la caída de tensión en el

cable del ramal en estudio, donde $I_{usuarios}$ se divide entre los ramales, R , y I_{EV} se divide entre la fracción de cargadores en dicho ramal n/N_T . Donde N_T es el total de cargadores de la subestación y n es la cantidad que se encuentran en el ramal de estudio. Esto se expresa en la ecuación 8. U_n es el voltaje de baja tensión (230V), Z_{trafo} es la impedancia del transformador (donde solo se consideró la impedancia inductiva) y Z_{cable} es la impedancia del cable. La potencia aparente demandada por todos los usuarios conectados a la subestación, $S_{usuarios}$, se calcula como el porcentaje de carga del municipio por la potencia nominal del transformador de la subestación (630 kVA). Se supone un factor de potencia de 0,92 y que la carga se distribuye de igual manera en cada ramal. Se asume que la corriente $I_{usuarios}$ no varía con la incorporación de la carga de VE. Los cargadores se suponen trifásicos con una potencia de 7,4 kW. y el factor de potencia se define en 1.

$$\Delta U = \frac{Z_{trafo}}{\sqrt{3}U_n} \cdot \left(S_{usuarios} + \frac{S_{EV}}{1 - \Delta U} \right) + \frac{Z_{cable}}{\sqrt{3}U_n} \cdot \left(\frac{S_{usuarios}}{R} + \frac{S_{EV}}{1 - \Delta U} \cdot \frac{n}{N_T} \right) \quad (8)$$

La cantidad de cargadores N_T de la subestación se define de manera proporcional a la relación entre la potencia del transformador de la subestación y la potencia total de las subestaciones del municipio CH. Esto da como resultado 22 cargadores. Para el cálculo de las caídas de tensión se consideran tres casos; uno donde los 22 cargadores se encuentran en el ramal en estudio, otro donde los 22 cargadores se reparten de igual manera en los 7 ramales (3 cargadores en cada ramal) y otro en donde 10 cargadores se ubican en el ramal de estudio.

Por otro lado, en el municipio E se tiene un caso tipo de carga distribuida y la cantidad de cargadores asociados a esta subestación es de 20. Se analiza una sola alimentación de las cuatro que tiene la subestación. Por lo tanto el circuito de estudio cuenta con un transformador de

630 kVA, un cable de 240 mm², un autotransformador de 50 kVA y derivaciones a 12 usuarios en cable de 95 mm². Se utiliza el modelo de una carga equivalente puntual, definiendo un cable de largo equivalente según la ecuación 9 para las cargas conectadas al cable de 95 mm². Donde S_i es la potencia de cada usuario, S_{EV_i} es la potencia de cada cargador y l_i es el largo del cable preensamblado.

$$L_{eq} = \frac{\sum_i l_i \cdot (S_i + S_{EV_i})}{\sum_i (S_i + S_{EV_i})} \quad (9)$$

Por lo tanto, análogamente a lo calculado en el municipio CH, se calcula la caída de tensión de la carga puntual equivalente para tres casos; uno en donde cada usuario tiene un cargador por lo que se tendrían 12 cargadores, otro en donde se tienen 5 cargadores en el ramal de estudio y

se instalan en los usuarios del 8 al 12 y otro en donde se tengan 9 cargadores en los usuarios del 4 al 12.

En la tabla 4 se muestran los resultados de la caída de tensión con respecto a la tensión

nominal en ambos municipios. Para el municipio CH en los casos con 22 y 10 cargadores, se tienen caídas de tensión mayores a la admisible en la hora 0 y 1 (mayor a 3%). En el municipio E también se supera la caída de tensión máxima admisible en todos los casos considerados.

Tabla 4. Caídas de tensión subestaciones del municipios CH y E

Hora	Caída de tensión (%)					
	Municipio CH			Municipio E		
	22 cargadores	10 cargadores	3 cargadores	12 cargadores	9 cargadores	5 cargadores
0	7.4	4.7	3.4	14.4	11.4	7.8
1	5.5	3.6	2.6	10.3	8.3	5.8
2	1.4	1.4	1.4	2.2	2.1	2.1
3	1.4	1.4	1.4	2.1	2	2
4	1.4	1.4	1.4	2.1	2	2
5	1.4	1.4	1.4	2.2	2.1	2.1

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las caídas de tensión calculadas se buscan los factores de simultaneidad que aseguran una caída de tensión menor o igual a 3%. En base a estos números se construye una curva de factores de simultaneidad los cuales se utilizan como insumo para el algoritmo de coordinación (se supone caso que todos los cargadores en funcionamiento simultáneo de la subestación están en el mismo ramal).

Simulación algoritmo de coordinación

Ahora se evalúan los parámetros discutidos en la sección anterior pero simulando que el sistema de coordinación está en funcionamiento. Para esto se debe determinar la curva de potencia de carga de VE que asignan los cronogramas de coordinación. Utilizando el SimSEE se obtiene la potencia óptima de carga de VE en cada hora del día. Como resultado se tiene que toda la carga debe realizarse entre las 0 y las 6 horas.

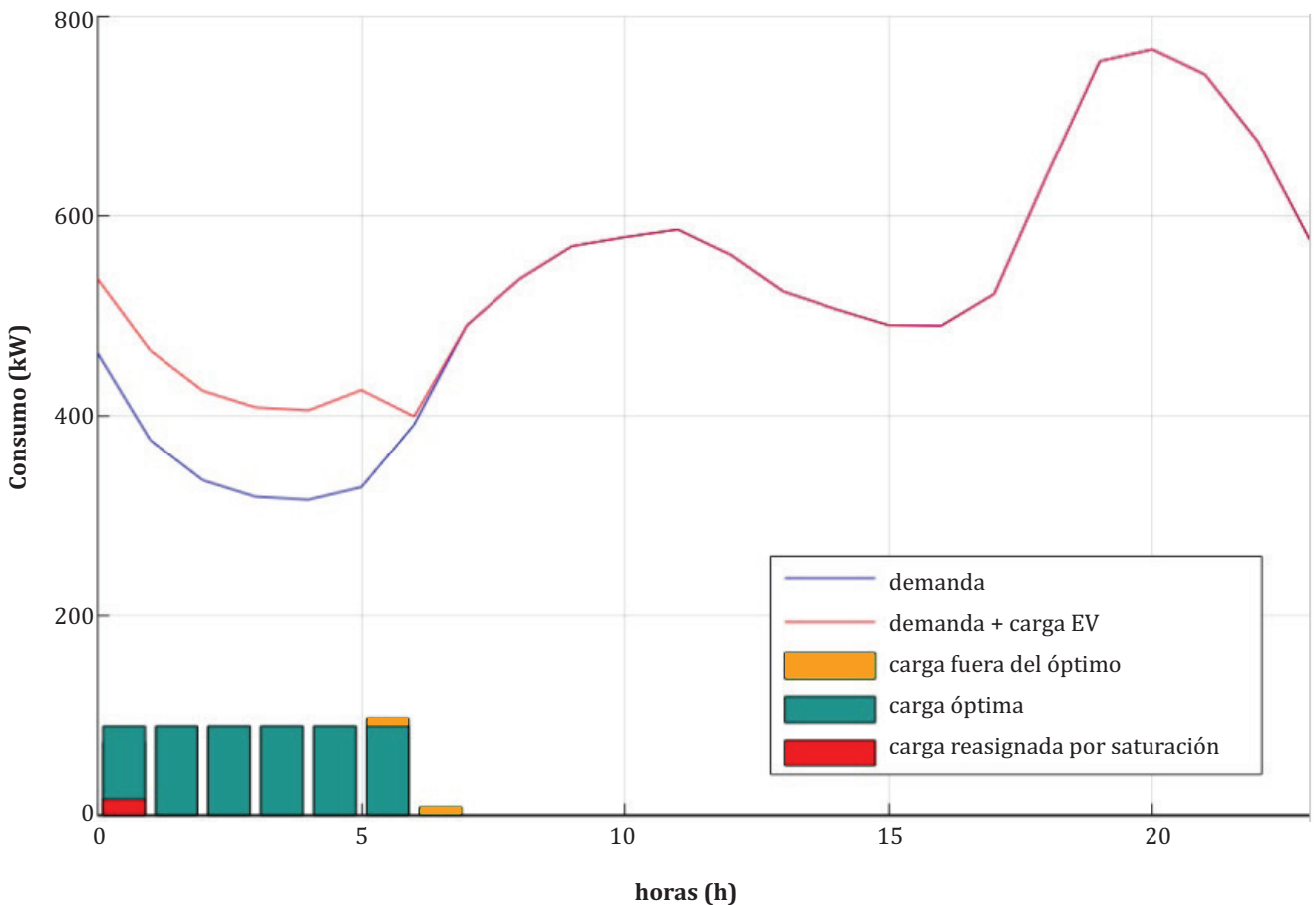
Utilizando la herramienta Octave se desarrolla el algoritmo de coordinación descrito en la sección 4. Para simplificar la cantidad de datos solo se utilizan las dos subestaciones del CH y el E como si fueran el total de cargas a coordinar y se escala la potencia óptima de todo el sistema de acuerdo a la energía requerida por las dos subestaciones. En el programa se ingresan los datos de la curva de potencia óptima, la energía requerida y disponibilidad de carga de cada cargador de las subestaciones del CH y el E. Para la mitad de los cargadores se supuso una disponibilidad de las 20 horas hasta las 7 am y para la otra mitad una disponibilidad desde las 0 a las 3 am. Para los factores de simultaneidad de la subestación mencionados en la página 134, se utilizaron los calculados en la sección anterior correspondiente al municipio CH.

Con esta información el algoritmo sigue los pasos detallados en la página 134 y se obtienen

las gráficas que se muestran en la figura 3. La curva azul corresponde a la potencia demandada por los clientes en ambas subestaciones mientras que a la curva roja se le adiciona la potencia de carga de los VE. Como se puede

ver, a las 0 horas no se pudo asignar toda la energía óptima (barras verdes) ya que no había cargadores disponibles, por lo que se tuvo que reasignar a las 5 y a las 6 horas (barras amarillas).

Figura 3. Simulación de coordinación de carga de VE



Fuente: Elaboración propia.

Con el cronograma obtenido se repite el procedimiento de la página 138 y se obtiene la tabla 5 con las caídas de tensión resultantes. Se muestran los resultados para los casos en que todos los cargadores se encuentren en el ramal de estudio, que es el caso más conservador. Para los factores de simultaneidad seleccionados, no se presentan problemas en el CH pero todavía existen problemas en el E. Igualmente los valores de caída de tensión pueden ser menores ya que algunos de los cargadores activos se pueden encontrar en otros ramales.



Foto de Jason Blackeye de Unsplash.

Tabla 5. Caídas de tensión de los ramales de las subestaciones del CH y E con coordinación.

Hora	Municipio CH		Municipio E	
	Cargadores activos	Caída de tensión (%)	Cargadores activos	Caída de tensión (%)
0	5	3	5	5.6
1	7	3.1	5	5.1
2	7	2.9	5	4.8
3	7	2.9	5	4.7
4	7	2.8	5	4.7
5	6	2.7	7	5.8
6	0	1.7	1	3.1

Fuente: Elaboración propia.

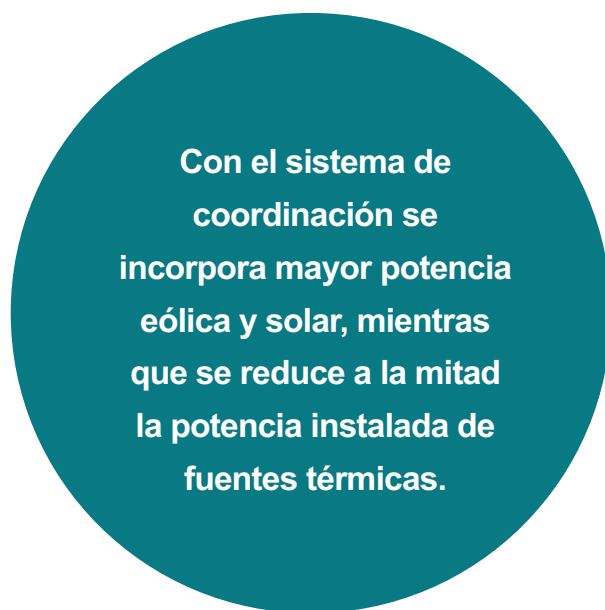
Por lo tanto, con un sistema de coordinación se obtuvo una reducción significativa en los posibles problemas en las redes de distribución asociados a las cargas de VE.

CONCLUSIONES

En este trabajo se diseña un sistema de coordinación de cargas de VE aplicado a la realidad del sistema eléctrico uruguayo. Se realiza una evaluación de los beneficios energéticos del sistema utilizando la herramienta SimSEE. Los resultados muestran que se pueden ahorrar en valor esperado unos 100 millones de dólares en el período comprendido entre el 2022 y el 2035. A su vez, con el sistema de coordinación se logra reducir la potencia pico un 2,7%. Con respecto a la potencia instalada, con el sistema de coordinación se incorpora mayor potencia eólica y solar, mientras que se reduce a la mitad la potencia instalada de fuentes térmicas.

Por otro lado, se realiza un estudio del impacto de la carga descoordinada de los VE (escenario base) en el año 2035. Se realiza un estudio de las redes eléctricas evaluando posibles congestiones en los cables y en las subestaciones.

Se concluye que es razonable pensar que la carga descoordinada de VE generará problemas en los cables de distribución. Luego, se simuló la coordinación de cargas en la red de distribución analizada y se obtuvo una mejora significativa con respecto al escenario base. Por lo tanto, la utilización del sistema de coordinación de cargas de VE mitiga los efectos de congestión en las redes de distribución y puede diferir algunas inversiones en las redes eléctricas. ■



REFERENCIAS

- Andoni M., Robu V., Flynn D., Abram S., Geach D., Jenkins D., McCallum P., Peacock A. (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (100) (143- 174), Elsevier
- E2BIZ Consultores (2016). Estudio Escenarios de Usos Futuros de la Electricidad Capítulos Transporte y Residencial.
- Guerrero J., Chapman A. C. y Verbić G. (2018). Decentralized P2P Energy Trading under Network Constraints in a Low-Voltage Network. *Arxiv*
- Gutiérrez A., de Almeida E. , Porrini C.,Romero M.,Ortelli S., Cazes G., Bandeira A., Moreira D., Cataldo J. (2018). Pronósticos operativos de energía eólica, para la gestión de los sistemas eléctricos en la Región. *ENERLAC. Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 28-41*
- Hayes B.P., Thakur S. y Breslin J.G. (2019). Co-simulation of electricity distribution networks and peer to peer energy trading platforms. *Electrical Power and Energy Systems*.
- Horta J. (2018). Innovative paradigms and architecture for future distribution electricity networks supporting the energy transition. *Artificial Intelligence [cs.AI]. Télécom ParisTech, 2018. English. <NNT : 2018ENST0022>. <tel-01998249>*
- Inayata K. y Hwang S. O. (2018). Load balancing in decentralized smart grid trade system using blockchain. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 35, 5901–5911
- Instituto Nacional de Estadística (2011) <https://www.ine.gub.uy/censos-2011>
- Intendencia Municipal de Montevideo (2019). Estudio sobre el funcionamiento del sector del transporte por aplicaciones y sus consecuencias en el sector de transporte oneroso de pasajeros en la ciudad de Montevideo <https://montevideo.gub.uy>
- Intendencia Municipal de Montevideo, Unidad de Estadística, Servicio de Gestión Estratégica, Departamento de Desarrollo Sostenible e Inteligente (2018). Información física y sociodemográfica por Municipio <https://montevideo.gub.uy>
- Lazard (2020). Levelized cost of energy analysis - Version 14.0
- Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) (2019). Balance Energético Nacional 2020
- Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) (2013). Características del sector residencial
- Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) (2018). Prospectiva de la demanda energética
- Pereira M., Toscano M. y Villar P. (2019). Tesis de grado: Plataformas blockchain y escenarios de uso. Universidad de la República, Facultad de Ingeniería. Montevideo, Uruguay
- Pop C., Cioara T., Antal M., Anghel I., Salomie I. y Bertoncini M (2018). Blockchain based decentralized management of demand response programs in smart energy grids. *Sensors*, vol. 18, no. 2, p. 162



