

Consumos de energía eléctrica bajo un contexto de temperaturas extremas e isla de calor en el norte de México

Electricity consumption under extreme temperatures and heat island in northern Mexico

Nicholas P. Sisto,* Harvy Vivas Pacheco** y Eimmy Lara-Díaz***

Recibido: 23/01/2024. Aceptado: 10/03/2024. Publicado: 11/06/2024.

Resumen. Los usuarios de energía eléctrica del norte de México tienen altos consumos con una marcada estacionalidad frente a otras regiones del país, lo que permite modelar la relación entre el consumo de energía eléctrica y las variables climáticas.

Este estudio se aplica para las entidades federativas en México y para la ciudad de Monterrey, Nuevo León, utilizando series del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER) y del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) entre enero de 2002 y noviembre de 2017. Los indicadores corresponden al consumo mensual nacional de electricidad para cada año, el consumo mensual por usuario, el consumo mensual por usuario por entidad federativa. Se estudia la relación entre el consumo mensual de electricidad por usuario y el promedio mensual de temperatura máxima diaria por entidad federativa.

Para el caso de Monterrey se incluyen para el análisis las siguientes variables: número de usuarios, precio de la electricidad, promedio mensual de temperatura máxima diaria, promedio mensual de temperatura mínima diaria, número de días con temperatura máxima superior a 35 °C por mes y número de días con temperatura mínima superior

a 23 °C por mes. La representatividad de los datos de Monterrey y su área conurbada se evaluó calculando la densidad de población a nivel municipal utilizando datos del Censo Nacional de Población y Vivienda del INEGI en 2020.

Inicialmente se realizó un análisis exploratorio de datos, antes de pasar al análisis de regresión que incluye el número de usuarios, el precio y las variables climáticas para comprender su influencia en el consumo de electricidad.

Los resultados nacionales por entidad federativa revelan una variabilidad significativa en el consumo de electricidad en México a lo largo del año, con un pico durante el trimestre de verano. Esta variabilidad interanual tiene una clara estacionalidad y refleja diferencias regionales en los niveles de consumo y variabilidad entre entidades federativas.

La heterogeneidad regional se explica por la influencia de las diferencias geográficas y climáticas: los estados del norte presentan mayor consumo eléctrico y variabilidad interanual, derivado de las altas temperaturas en el período julio a septiembre, época en la que hay un mayor uso de dispositivos eléctricos para mitigar el calor extremo, como ventiladores y equipos de aire acondicionado.

Los resultados para Monterrey muestran que el consumo de electricidad tiene tendencia creciente a lo largo del tiem-

* Centro de Investigaciones Socioeconómicas, Universidad Autónoma de Coahuila Unidad Campo Redondo Edificio "S", 3er Piso, Apartado Postal No. 680, 25280, Saltillo, Coahuila, México. ORCID: 0000-0003-3003-3252. Email: nicholas.sisto@uadec.edu.mx

** Facultad de Ciencias Sociales y Económicas, Universidad del Valle, Cali, Ciudad Universitaria Meléndez, Edificio Economía, 3er piso, Calle 13 # 100-00 AP: 760042 Santiago de Cali, Colombia. ORCID: 0000-0003-2308-9725. Email: harvy.vivas@correounivalle.edu.co

*** Profesora del programa de Administración de Empresas, Facultad de Ciencias Administrativas, Económicas y Financieras, Fundación Universitaria del Área Andina. Calle 24 No. 11 - 55, Pereira, Colombia. ORCID: 0000-0001-9807-9703. Email: elara14@areandina.edu.co

po, con un marcado aumento en el mes de agosto. El número de usuarios de electricidad y el precio de la electricidad también muestran tendencias crecientes, con fluctuaciones notables en el precio, que reflejan las políticas tarifarias de la Comisión Federal de Electricidad. Las variables climáticas, como la temperatura máxima y mínima diaria, así como el número de días con temperaturas extremas, presentan una clara estacionalidad, con picos durante los meses de verano.

Del análisis de regresión, se observa una fuerte correlación entre las variables climáticas y el consumo mensual de electricidad, con impactos significativos en el consumo por cada unidad adicional de temperatura o día con temperatura extrema. En particular, un grado adicional en el promedio mensual de temperatura máxima diaria añade al consumo mensual de electricidad 23 598 megawatts-hora, equivalente a los requerimientos de electricidad de 47 mil viviendas promedio. Finalmente, se destaca que los efectos del clima, incluyendo el fenómeno de la isla de calor urbana (ICU), pueden tener un impacto en el consumo de electricidad, en el que un incremento de 3 °C en el promedio mensual de temperatura máxima diaria puede significar, en términos de consumo de energía eléctrica, el proporcionar el servicio a medio millón de habitantes adicionales.

Los hallazgos de esta investigación son importantes para la política energética ya que muestran la necesidad de considerar la ubicación de la capacidad de generación y de la infraestructura de transmisión, la elección de tecnologías de generación y la evaluación del potencial de generación distribuida.

Para la planificación urbana, los resultados ofrecen perspectivas para el análisis costo-beneficio de medidas de mitigación de la isla de calor urbana (ICU) que podrían generar ahorros significativos en el consumo de electricidad e impactos positivos en la salud pública, lo que implica beneficios tanto privados como sociales.

Se concluye además que pese al extenso estudio del ICU en México aún persisten desafíos en su medición y en la comprensión de sus múltiples consecuencias, incluyendo, más allá del consumo de electricidad, el consumo de agua y los riesgos para la salud pública. Esto abre una línea de investigación promisoriosa que aporte a la toma de decisiones y que permita abordar los desafíos asociados al impacto del clima en el consumo de energía eléctrica a nivel nacional, regional y local.

Palabras clave: electricidad, clima, patrones regionales, Monterrey, Nuevo León, México.

Abstract. Electricity users in Northern Mexico have high consumption with a marked seasonality compared to other regions of the country, which allows modeling the relationship between electricity consumption and climatic variables.

The study is applied for the federal entities in Mexico and for the city of Monterrey, Nuevo Leon, using series from the Energy Information System (SIE) of the Ministry of Energy (SENER) and the National Meteorological Service (SMN) of the National Water Commission (CONAGUA) between January 2002 and November 2017. The indicators correspond to national monthly electricity consumption

for each year, monthly consumption per user, monthly consumption per user per federal entity. The relationship between monthly electricity consumption per user and the monthly average daily maximum temperature per state is studied.

In the case of Monterrey, the following variables are included for the analysis: number of users, electricity price, monthly average daily maximum temperature, monthly average daily minimum temperature, number of days with maximum temperature above 35 °C per month and number of days with minimum temperature above 23 °C per month. The representativeness of the data for Monterrey and its conurbation area was evaluated by calculating the population density at the municipal level using data from INEGI's 2020 National Population and Housing Census.

Initially, an exploratory data analysis was performed, before moving on to regression analysis including the number of users, price and climate variables to understand their influence on electricity consumption.

The national results by federative entity reveal significant variability in electricity consumption in Mexico throughout the year, with a peak during the summer quarter. This inter-annual variability has a clear seasonality and reflects regional differences in consumption levels and variability between states.

Regional heterogeneity is explained by the influence of geographic and climatic differences: the northern states have higher electricity consumption and inter-annual variability, due to the high temperatures during the period from July to September, when there is greater use of electrical devices to mitigate the extreme heat, such as fans and air conditioners.

The results for Monterrey show that electricity consumption has an increasing trend over time, with a marked increase in the month of August. The number of electricity users and the price of electricity also show increasing trends, with notable fluctuations in price, reflecting the tariff policies of the Federal Electricity Commission. Climatic variables, such as maximum and minimum daily temperature, as well as the number of days with extreme temperatures, show a clear seasonality, with peaks during the summer months.

From the regression analysis, a strong correlation between climatic variables and monthly electricity consumption is observed, with significant impacts on consumption for each additional unit of temperature or day with extreme temperature. In particular, an additional degree in the average monthly maximum daily temperature adds 23,598 megawatt-hours to monthly electricity consumption, equivalent to the electricity requirements of 47,000 average homes. Finally, it is highlighted that climate effects, including the Urban Heat Island (UHI) phenomenon, can have an impact on electricity consumption, in which a 3 °C increase in the monthly average daily maximum temperature can mean, in terms of electricity consumption, providing service to half a million additional inhabitants.

The findings of this research are important for energy policy, insofar as they show the need to consider the location of generation capacity and transmission infrastructure, the choice of generation technologies, and the assessment of the potential for distributed generation.

For urban planning, the results offer perspectives for cost-benefit analysis of Urban Heat Island (UHI) mitigation measures that could generate significant savings in electricity consumption and positive impacts on public health, implying both private and social benefits.

It is further concluded that despite the extensive study of the UHI in Mexico, challenges remain in its measurement and in understanding its multiple consequences, including,

INTRODUCCIÓN

El impacto del clima (en particular, las temperaturas), en el consumo de energía eléctrica ha sido ampliamente estudiado. En el ámbito internacional, se ha establecido la existencia de picos estacionales en el consumo, por ejemplo, Al-Zayer y Al-Ibrahim (1996), Bessec y Fouquau (2008), Do *et al.* (2016), Gutiérrez Martín-Rodríguez y Cáceres-Hernández (2005), Moya y Arévalo Quijada (2006), Salisu y Ayinde (2016) y Valor *et al.* (2001). De particular interés para este trabajo es la relación positiva entre picos de consumo y temperaturas altas, siendo el efecto más intenso en países con alto uso de aires acondicionados en las edificaciones –véase, por ejemplo, Santamouris *et al.* (2015) y Santamouris (2020)–.

En México, el aumento en el consumo nacional de electricidad durante el verano se reconoce en Ramos Niembro *et al.* (1999). Grajeda-Rosado *et al.* (2023) documentan la importancia de la necesidad de enfriamiento en este consumo. Tejeda-Martínez (2022) establecen que, bajo escenarios de aumento en las temperaturas, el consumo de electricidad para la climatización de viviendas aumentará en ciudades donde ya se acostumbra (por ejemplo, en Monterrey, Nuevo León), incluso para el 2050 aparecerá en ciudades donde previamente no se requería, por ejemplo, en Toluca (Puebla) y Pachuca (Hidalgo).

En el caso del noreste de México, Morales-Ramírez *et al.* (2012) identifican un pico estacional de verano en el consumo de electricidad en Monterrey, Nuevo León. En el caso de Tampico, Tamaulipas, Morales-Ramírez y Alvarado-Lagunas (2014) encuentran que el consumo de electricidad aumenta en los meses calurosos y además es poco sensible con respecto a su precio, es decir, presenta una elasticidad-precio cerca de unitaria. Camarillo Cortés (2022) comprueba la relevancia de la búsqueda

beyond electricity consumption, water consumption and public health risks. This opens a promising line of research to contribute to decision making and to address the challenges associated with the impact of climate on electricity consumption at national, regional and local levels.

Keywords: electricity, climate, regional patterns, Monterrey, Nuevo León, Mexico.

queda del confort térmico ante altas temperaturas en el consumo de electricidad de los residentes de Monterrey, Nuevo León.

Cada zona urbana genera su propio clima local, incluyendo una isla de calor urbana (ICU) que se manifiesta como una temperatura en el medio urbano más alta que en zonas rurales contiguas, debido a la presencia de materiales como el asfalto y el concreto (Oke *et al.*, 2017). Estos materiales captan y retienen la radiación solar, lo que agudiza la relación entre el consumo de energía eléctrica y la temperatura. El aumento de la temperatura local a causa de la ICU ha sido estudiado en México, empezando con el trabajo pionero de Ernesto Jáuregui Ostos, iniciado en los años 1970 para diversas ciudades del país: Toluca, estado de México (Jáuregui Ostos, 1979); Ciudad de México, Monterrey, Nuevo León y Guadalajara, Jalisco (Jáuregui Ostos, 1986) y Ciudad de México (Jáuregui Ostos, 1993). En Jáuregui Ostos *et al.* (2008) se pronostica que, en el caso de ciudades cálidas tanto secas (Torreón, Monterrey) como húmedas (Acapulco, Veracruz), un aumento del estrés por calor sobre la población conducirá a un aumento en los consumos de energía eléctrica para enfriamiento.

Por otra parte, se ha desarrollado una apreciable literatura nacional sobre clima urbano, incluyendo el efecto de ICU –véase la revisión bibliográfica realizada por Marincic (2022), enfocada en las zonas desérticas de México, notablemente Hermosillo, Sonora–. La ciudad de Mexicali, Baja California, donde se han registrado las temperaturas urbanas más altas del país, ha sido particularmente estudiada con respecto a la ICU (García-Cueto *et al.*, 2007, García-Cueto *et al.*, 2009) así como el calor extremo, las ondas de calor y el cambio climático (García-Cueto *et al.*, 2008, García-Cueto *et al.*, 2010, García-Cueto *et al.*, 2013, Martínez-Austria y Bandala, 2016). Monterrey ha recibido menos

atención: Rivera Rivera (2012) analiza la relación entre las islas de calor y las características socioeconómicas de la población y los usos del suelo en la ciudad; Lara Díaz (2016) estima para la Zona Metropolitana de Monterrey un efecto de ICU de por lo menos 1 °C adicional en comparación con las zonas rurales aledañas. Las estimaciones de ICU más sofisticadas se han realizado para la Ciudad de México. Vargas y Magaña (2020a) obtienen que en los últimos 100 años se ha manifestado en un incremento de 3 °C a 4 °C en la temperatura máxima y mínima promedio, mientras Araiza-Olivares (2022), con información de 1950-2010, establece que la temperatura promedio se incrementó 2 °C.

El presente trabajo ofrece dos apartados temáticos relacionados pero distintos. El primer apartado, titulado *El consumo de electricidad en México: un análisis regional*, ofrece una caracterización regional del consumo para las treinta y dos entidades federativas del país. Se consideran el nivel del consumo por usuario y su estacionalidad, buscando identificar estructuras regionales y relacionarlas con el clima. El segundo apartado, titulado *Consumo de electricidad y clima en Monterrey, Nuevo León*, busca identificar el impacto de diversas variables climáticas en el consumo de electricidad en la conurbación conformada por Monterrey y municipios vecinos.

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera. La segunda sección que sigue a esta introducción describe con detalle los materiales empleados y los procedimientos aplicados, para cada uno de los dos apartados temáticos anteriormente descritos. La tercera sección presenta, interpreta y discute los resultados obtenidos para cada apartado temático. La cuarta sección ofrece un resumen de los principales hallazgos del trabajo, bosqueja sus implicaciones para la política pública nacional, regional y local, e identifica oportunidades para investigaciones futuras.

METODOLOGÍA

El consumo de electricidad en México: un análisis regional

La primera sección del presente trabajo se enfoca en tres variables: el consumo de electricidad

en megawatts-hora y el número de usuarios de electricidad (en ambos casos, las cifras se refieren al total incluyendo todas las clases de usuarios, es decir, industriales, residenciales y otros) así como el promedio de la temperatura máxima diaria, respectivamente: C_{ijk} , N_{ijk} , T_{ijk}^{max} , donde i identifica una entidad federativa, j , un mes del año y k , un año. Las primeras dos series de tiempo provienen del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER). Tituladas “Ventas internas de energía eléctrica por entidad federativa” y “Usuarios de electricidad por entidad federativa” se encuentran en: <https://sie.energia.gob.mx/bdi-Controller.do?action=temas&fromCuadros=true> siguiendo la ruta: INFORMACION HISTORICA/ELECTRICIDAD/Comercialización. En ambos casos, las series no se han actualizadas desde 2018, por lo que su disponibilidad desde enero del 2002 hasta noviembre del 2017 determina el horizonte temporal del presente trabajo. La tercera serie de tiempo, el promedio mensual de la temperatura máxima diaria por entidad federativa, proviene del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>

Primero se determina la distribución del consumo mensual nacional de electricidad: $C_{jk} = \sum_i C_{ijk}$ para cada año de observación, incluyendo el mínimo, el máximo, la mediana y los cuartiles, y se identifica el patrón estacional del mismo.

Segundo se calcula el consumo mensual por usuario: $c_{ijk} = C_{ijk}/N_{ijk}$ y se procede a describir las diferencias en su trayectoria en el tiempo entre las entidades federativas.

Tercero se calcula para cada entidad federativa el promedio del consumo por usuario para todo el periodo de observación, así como el coeficiente de variación, esto es, la razón entre la desviación estándar y el anteriormente referido promedio de la serie. Estos datos se reportan en mapas del territorio nacional para visualizar su estructura regional. Para ello se emplea el programa de código abierto GeoDa alimentado con información obtenida del Marco Geoestadístico Integrado, Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) disponible

en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770541>

Finalmente, se revisa de forma sistemática la relación entre el consumo mensual de electricidad por usuario y el promedio mensual de la temperatura máxima diaria para todas las entidades federativas en cada año de observación.

Consumo de electricidad y clima en Monterrey, Nuevo León

La segunda sección del presente trabajo profundiza el análisis anterior para el caso del estado de Nuevo León, en particular la conurbación conformada por los municipios de Monterrey y sus vecinos cercanos. Se contempla de inicio la siguiente relación funcional:

$$C_{jk} = f(N_{jk}, P_{jk}, T_{jk}^{max}, T_{jk}^{min}, DiasTmax > 35, DiasTmin > 23) \quad (1)$$

donde C_{jk} y N_{jk} representan el consumo mensual y el número de usuarios de electricidad, tal y como se definieron y referenciaron anteriormente, pero ahora exclusivamente para el estado de Nuevo León. La tercera variable, P_{jk} , mide el precio medio de la electricidad, ponderando todas las categorías de usuarios (residenciales, comerciales, industriales y otros). Proviene de la serie de tiempo “Precios medios de energía eléctrica por sector tarifario” del Sistema de Información Energética (SIE), la misma fuente que las anteriores dos variables.

Las siguientes dos variables representan el promedio mensual de temperatura máxima diaria y el promedio mensual de temperatura mínima diaria, respectivamente. A priori, las dos medidas son de igual interés para explicar el consumo de energía eléctrica: la temperatura máxima diaria suele ocurrir de día, cuando las fábricas, negocios e instituciones de la ciudad están en plena actividad, mientras la mínima normalmente se da de noche, cuando los habitantes descansan en sus viviendas y requieren confort térmico. En ambos casos, entre más alta la temperatura, mayor será el uso de aparatos para acondicionar ambientes interiores. Estas normales climatológicas se obtuvieron de la Comisión Nacional del Agua, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional, Proyecto de bases de datos climatológicos, disponibles en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>

La estación escogida es la 19052 Monterrey (OBS), ubicada en el municipio de San Nicolás de los Garza, en el centro del área conurbada conformada por Monterrey y municipios vecinos.

Las últimas dos variables (*Días Tmax>35* y *Días Tmin>23*) ofrecen, para cada mes con disponibilidad de las normales climáticas anteriormente referidas, el conteo del número de días con temperatura máxima superior a 35 °C por mes –un umbral importante para el confort térmico y la salud humana (Sherwood y Huber, 2010) - y el conteo del número de días con temperatura mínima superior a 23 °C por mes. Se calcularon estas cantidades con base a los registros diarios de temperatura mínima y máxima de la misma estación 19052 Monterrey (OBS), disponibles en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

Los datos de consumo, usuarios y precios son para el estado de Nuevo León. El primer paso del análisis consiste en averiguar su representatividad para Monterrey y su área conurbana. Para ello se calcula la densidad poblacional (habitantes por km²) para los 51 municipios del estado, con base a datos de población del Censo de Población y Vivienda 2020 Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), disponibles en: https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/nl/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&c=19

La superficie de cada municipio del estado proviene de la *Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León* del INEGI, disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220747/702825220747_1.pdf

Para visualizar los datos de densidad poblacional, empleamos el programa GeoDa alimentado con información obtenida del Marco Geoestadístico Integrado, Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770541>

Segundo, se revisan las estadísticas descriptivas (mínimo, promedio, máximo, desviación estándar y número de observaciones) para el consumo

mensual de electricidad, así como cada una de las seis variables explicativas definidas anteriormente: número de usuarios, precio de la electricidad, promedio mensual de temperatura máxima diaria, promedio mensual de temperatura mínima diaria, número de días con temperatura máxima superior a 35 °C por mes y número de días con temperatura mínima superior a 23 °C por mes. Tercero, se exploran sistemáticamente estos datos, incluyendo trayectorias en el tiempo y correlaciones.

Finalmente, se procede con un análisis de regresión, cuyo principal propósito es determinar el impacto de las cuatro variables climáticas en el consumo de electricidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El consumo de electricidad en México: un análisis regional

El consumo de electricidad en México varía notablemente mes con mes a lo largo del año. La Figura 1 ofrece un diagrama de caja del consumo mensual nacional, donde se reporta el rango de los valores (de mínimo a máximo), la mediana (barra horizontal) y los cuartiles: los cuartiles uno y cuatro corresponden a los segmentos de línea inferior y superior respectivamente; los cuartiles dos y tres ocupan el rectángulo (dividido por la mediana). El consumo nacional de electricidad y su variabilidad interanual presentan

características estacionales y regionales notables. Para ilustrar esto, la Figura 2 reporta el consumo mensual por usuario para Sonora (el estado con mayor variabilidad en el país), Chiapas (el estado con menor variabilidad) así como la cifra nacional.

En el ámbito nacional se observa una clara estacionalidad, donde el pico de consumo siempre ocurre en el trimestre de verano (julio-agosto-septiembre): para los 16 años de observación, en 12 ocasiones en el mes de agosto, en tres ocasiones en julio y en una, en septiembre. Por otra parte, la variabilidad interanual del consumo de electricidad presenta un alto grado de heterogeneidad en el territorio nacional. En algunas entidades federativas el consumo queda relativamente constante a lo largo del año (ejemplificado con el caso de Chiapas) mientras que, en otras entidades, la variabilidad es muy superior a lo observado en las cifras nacionales (ejemplificado con el caso de Sonora). Además, se observan en correlación con la anteriormente referida variabilidad, grandes diferencias regionales en el nivel de consumo, en este caso hasta seis veces superior en Sonora en comparación con Chiapas.

La heterogeneidad entre las entidades federativas de México con respecto al nivel de consumo de electricidad y su variabilidad interanual presenta una clara estructura regional. Los estados del Norte del país (Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua, Sonora, Baja California y Baja California

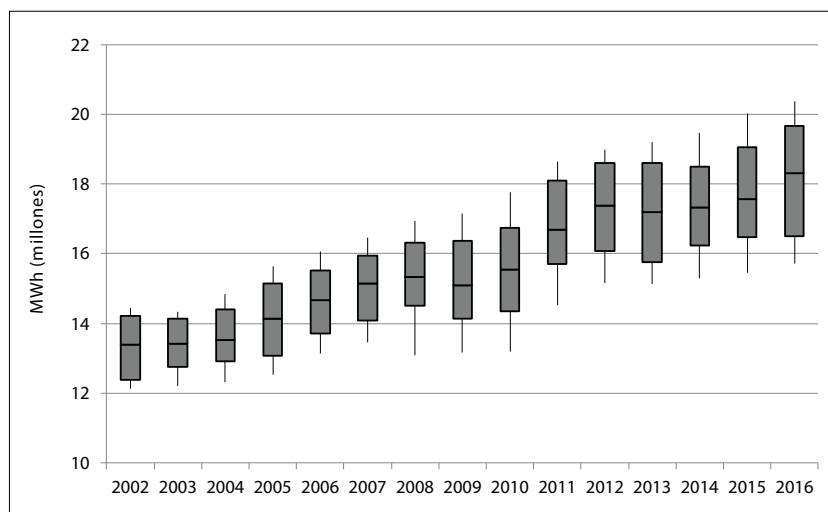


Figura 1. Diagrama de caja del consumo mensual de electricidad, total nacional en millones de megawatts-hora, 2002-2016. Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética, Secretaría de Energía (SENER), <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas&fromCuadros=true>

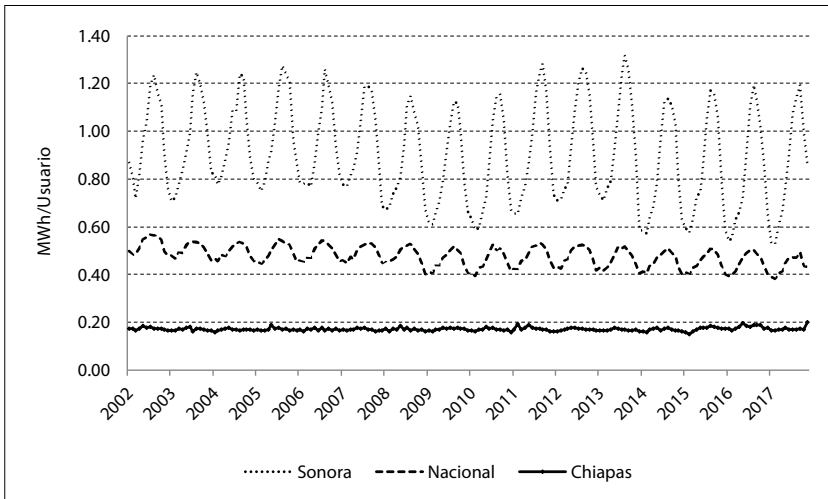


Figura 2. Consumo mensual de electricidad, nacional y estados de Sonora y Chiapas, en megawatts-hora por usuario, enero 2002-noviembre 2017. Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética, Secretaría de Energía (SENER), <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas&fromCuadros=true>

Sur) pertenecen al cuartil superior de consumo (Figura 3). Estos estados también presentan los más altos niveles de variabilidad interanual en el

consumo de electricidad –excepto Nuevo León y Coahuila que sin embargo se ubican en la parte superior del tercer cuartil (Figura 4)–.

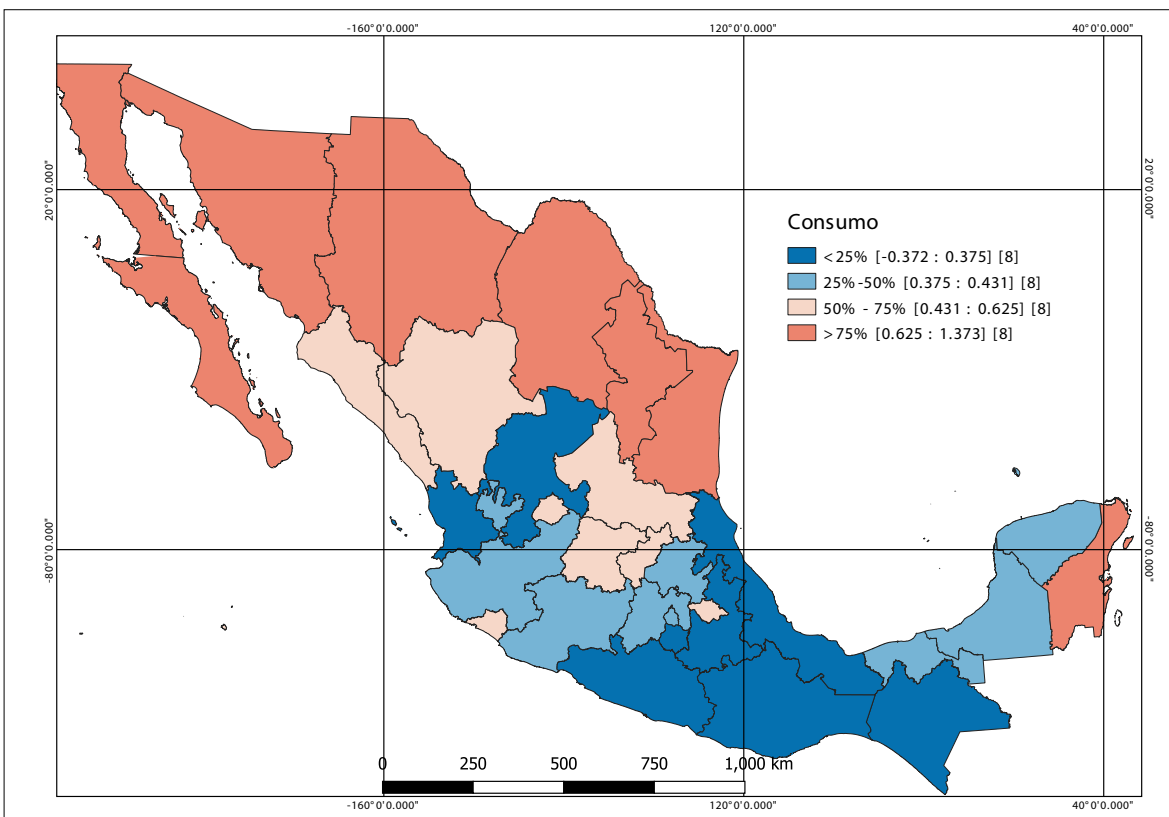


Figura 3. Nivel de consumo mensual de electricidad por usuario, cuartiles del promedio enero 2002-noviembre 2017. Fuente: elaboración propia con base al Marco Geoestadístico Integrado, diciembre 2022. Datum: ITRF 2008 LCC. Instituto Nacional de Geografía y Estadística, INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770541>

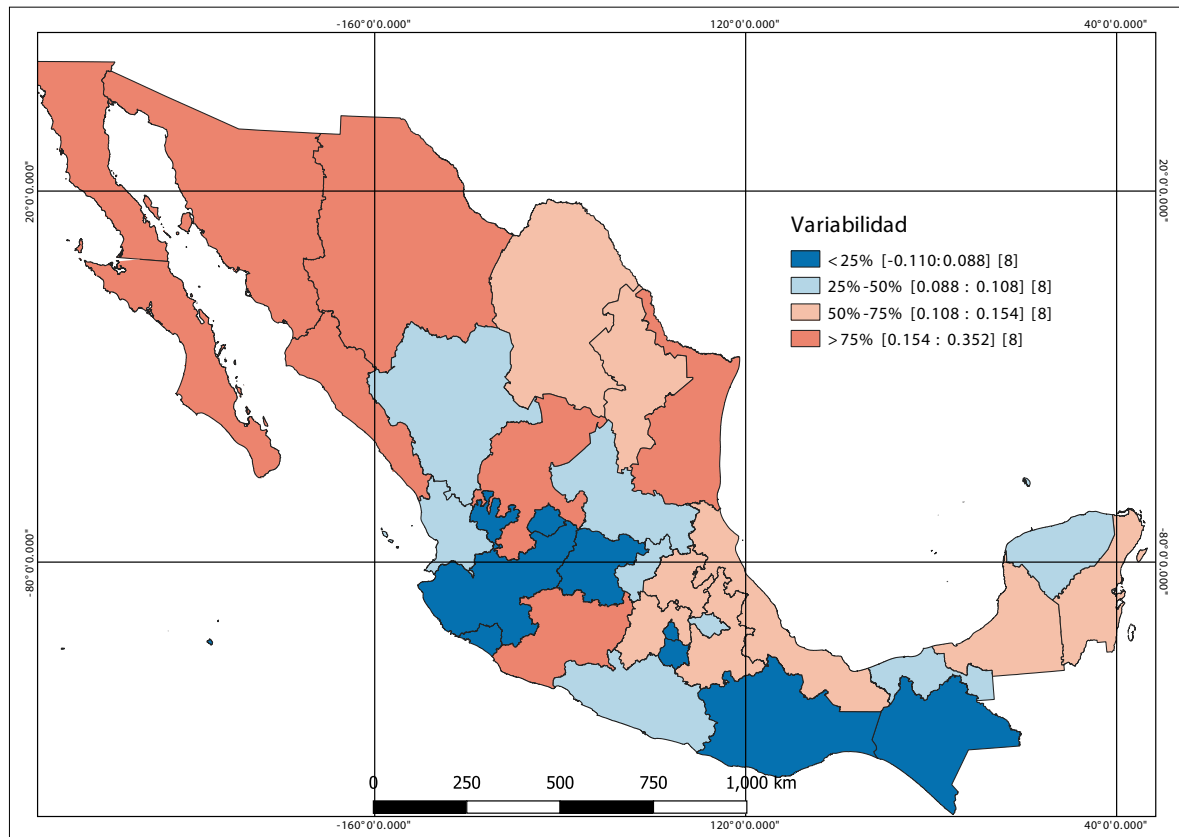


Figura 4. Variabilidad del consumo mensual de electricidad por usuario, cuartiles del coeficiente de variación enero 2002-noviembre 2017. Fuente: elaboración propia con base al Marco Geoestadístico Integrado, diciembre 2022. Datum: ITRF 2008 LCC. Instituto Nacional de Geografía y Estadística, INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770541>

Esta evidencia sugiere que los usuarios de electricidad en México tienen necesidades y enfrentan condiciones muy distintas, pero relacionadas con su ubicación en el territorio nacional. Entre muchos factores, los estados del norte del país destacan por sus condiciones climáticas, en particular las altas temperaturas de verano. Año con año, el consumo de energía eléctrica se dispara en estos estados durante el verano. Como ejemplo, la Figura 5 reporta para las treinta y dos entidades federativas el consumo por usuario para los meses de enero (de consumo nacional mínimo en el año considerado) y el mes de agosto (de consumo nacional máximo en el año considerado), en relación con el promedio mensual de la temperatura máxima diaria para estos meses en cada una de las entidades federativas. To-

dos los estados norteños anteriormente referidos se ubican en el mes de agosto en el cuadro superior y derecho de la gráfica. La hipótesis causal obvia aquí, es que los usuarios tanto domésticos, comerciales, industriales e institucionales del Norte, recurren al uso de aparatos eléctricos para mitigar los efectos del extremo calor veraniego, desde ventiladores hasta una variedad de equipos de aire acondicionado. A continuación, se explora más a fondo esta relación, para el caso específico de Monterrey, Nuevo León.

Consumo de electricidad y clima en Monterrey, Nuevo León

La población de Nuevo León se concentra en una relativamente pequeña porción de su territorio de aproximadamente 64 000 km² (Figura 6). El

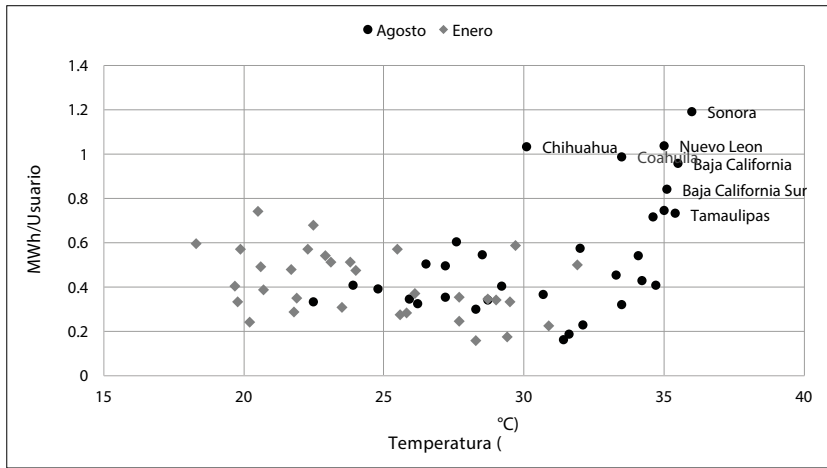


Figura 5. Consumo de electricidad, en megawatts-hora por usuario y promedio de temperatura máxima diaria, por entidad federativa, meses de agosto y enero 2016. Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética, Secretaría de Energía (SENER), <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas&fromCuadros=true>

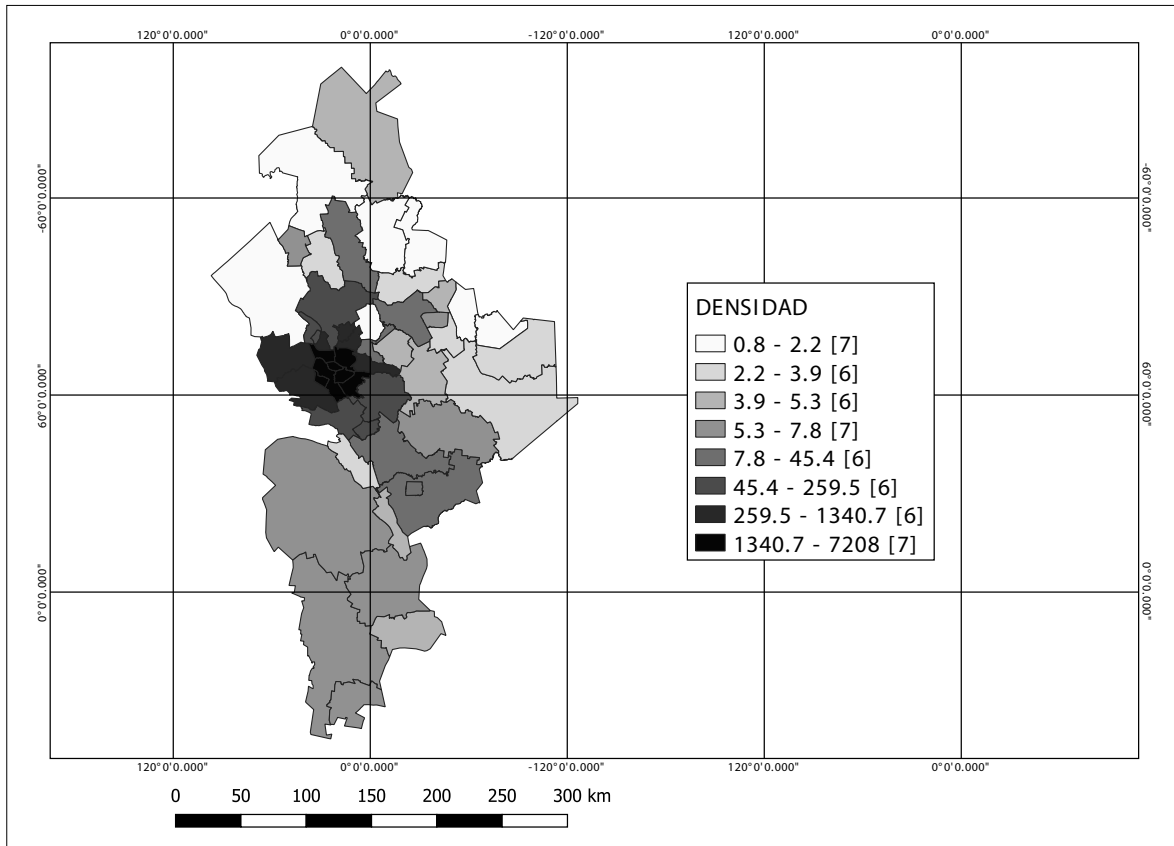


Figura 6. Densidad poblacional (habitantes por km²), por municipio, Nuevo León. Fuente: elaboración propia con base al Marco Geoestadístico Integrado, diciembre 2022. Datum: ITRF 2008 LCC. Instituto Nacional de Geografía y Estadística, INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770541>

municipio de Monterrey por si solo acoge una quinta parte de la población del estado y un 80% reside en la conurbación conformada por Monterrey y ocho municipios vecinos (Tabla 1). El valor extremo de densidad poblacional reportado en la Figura 6 (7,208 habitantes por km²) corresponde a San Nicolás, municipio colindante con Monterrey.

La estructura poblacional y territorial permite considerar los datos de consumo de electricidad para el estado de Nuevo León, como una variable “proxy” para el análisis del caso de la conurbación de Monterrey.

La Tabla 2 reporta las estadísticas descriptivas básicas (mínimo, promedio, máximo, desviación estándar y número de observaciones) para cada una de las variables empleadas en el análisis: consumo mensual de electricidad, número de usuarios de electricidad, precio de la electricidad, promedio mensual de temperatura máxima diaria (Tmax), promedio mensual de temperatura mínima diaria

(Tmin), número de días con temperatura máxima superior a 35 °C por mes (Días Tmax>35) y, número de días con temperatura mínima superior a 23 °C por mes (Días Tmin>23). Para las variables de consumo, número de usuarios y precio de la electricidad, se disponen de 191 observaciones mensuales continuas. Las observaciones disponibles para las variables climáticas son menores por datos faltantes debido a que ocasionalmente y por razones diversas, los datos diarios de la estación climática no se registraron, impidiendo el cálculo de los promedios y conteos para algunos meses.

El consumo de energía eléctrica en Nuevo León presenta una tendencia a crecer (fue 116% mayor en agosto del 2017 en comparación con el mismo mes del 2002), con una marcada variación estacional (Figura 7). En cada año de observación, el consumo mensual máximo se registró en el mes de agosto, a excepción del 2003 cuando fue en julio, así como en el 2002 y el 2010, cuando sucedió en septiembre.

Tabla 1. Población, superficie y densidad poblacional, Monterrey, municipios conurbanos y resto del estado de Nuevo León.

| | Población | | Superficie | | Densidad |
|------------------------------------|------------|------|-----------------|------|----------------------------|
| | Habitantes | % | km ² | % | Habitantes/km ² |
| Monterrey | 1 142 994 | 19.8 | 781.4 | 1.2 | 1462.7 |
| Monterrey y municipios conurbanos* | 4 643 232 | 80.3 | 3623.5 | 5.7 | 1281.4 |
| Resto del estado | 1 141 210 | 19.7 | 60 458.4 | 94.3 | 18.9 |

* Los ocho municipios conurbanos incluyen: Apodaca, García, Guadalupe, Juárez, San Nicolás, Santa Catarina, San Pedro y Escobedo.

Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020 y INEGI. *Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León*.

Tabla 2. Estadísticas descriptivas: consumo mensual de electricidad en Nuevo León y variables explicativas.

| | Consumo (MWh) | Usuarios (#) | Precio (\$/MWh) | Tmax (°C) | Tmin (°C) | Días Tmax>35C (#) | Días Tmin>23C (#) |
|-----------|---------------|--------------|-----------------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|
| Min. | 905 840 | 1 054 200 | 657.9 | 18.2 | 7.0 | 0 | 0 |
| Prom. | 1 313 800 | 1 484 900 | 1,265.6 | 29.8 | 17.5 | 8.4 | 7.0 |
| Max. | 1 900 600 | 1 924 800 | 1,794.1 | 38.9 | 24.7 | 31 | 31 |
| Des. Est. | 231 880 | 250 990 | 270.6 | 5.4 | 5.1 | 9.6 | 9.4 |
| Obs. (#) | 191 | 191 | 191 | 177 | 179 | 177 | 179 |

Fuente: elaboración propia.

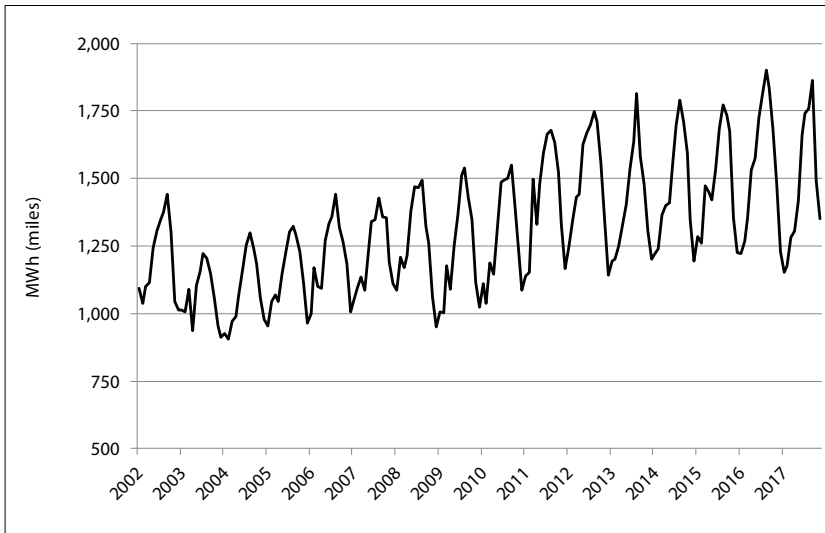


Figura 7. Consumo mensual de electricidad en Nuevo León, en miles de megawatts-hora, enero 2002-noviembre 2017. Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética, Secretaría de Energía (SENER), <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas&fromCuadros=true>

El número de usuarios de electricidad en Nuevo León aumenta de manera sostenida, con una tasa media de crecimiento anual de 5.2% durante el periodo. El precio de la electricidad también tiende a subir, pero con importantes fluctuaciones alrededor de una tasa media de crecimiento del 7.3% (Figura 8). Esta trayectoria refleja las políticas tarifarias de la CFE, incluyendo tarifas preferenciales de verano para los usuarios residenciales en las regiones del país con altas temperaturas.

El promedio mensual de temperatura máxima diaria y el promedio mensual de temperatura mínima diaria presentan una clara regularidad estacional,

con picos en los meses de verano (Figura 9). Lo mismo se observa para el número de días con temperatura máxima superior a 35 °C por mes y el número de días con temperatura mínima superior a 23 °C por mes (Figura 10). Las variables climáticas están fuerte y positivamente correlacionadas entre sí (Tabla 3).

Cada una de las cuatro variables climáticas se relaciona de manera lineal con el consumo mensual de electricidad. En el caso de las temperaturas promedias mensuales, el ajuste es mayor en el caso de la mínima (Figura 11).

La Tabla 4 presenta los resultados de las regresiones sobre el consumo mensual de electricidad

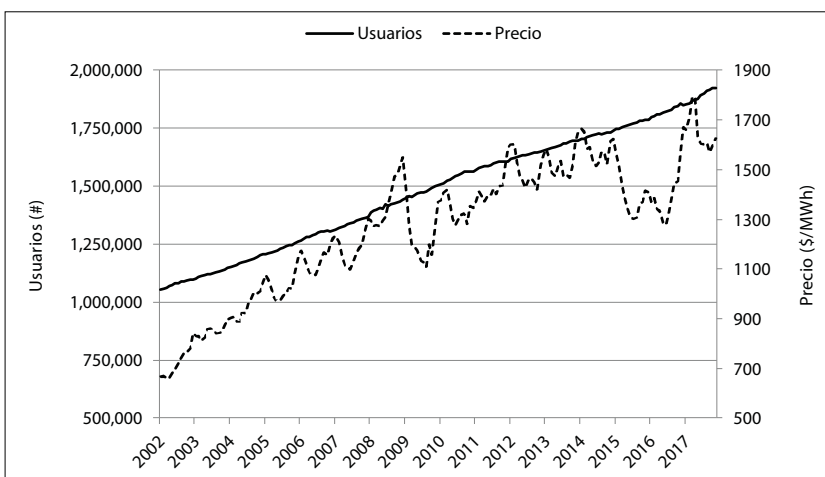


Figura 8. Número de usuarios y precio de la electricidad (moneda nacional), Nuevo León, enero 2002-noviembre 2017. Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética, Secretaría de Energía (SENER), <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas&fromCuadros=true>

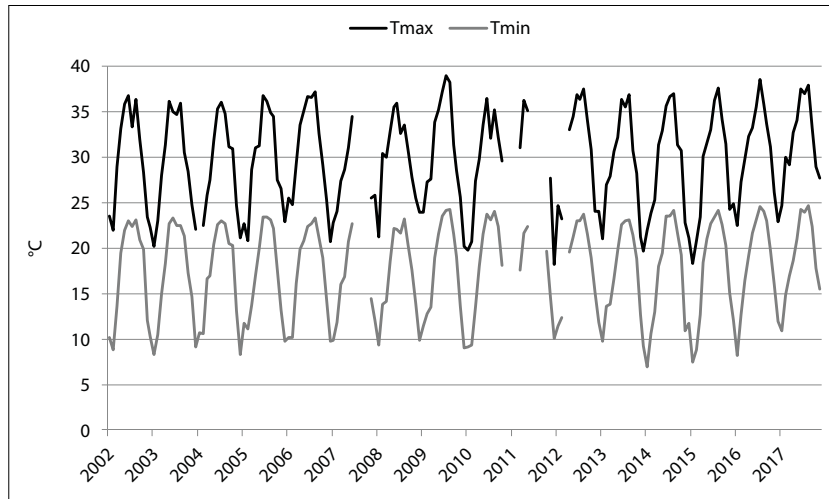


Figura 9. Promedio mensual de temperatura máxima diaria y promedio mensual de temperatura mínima diaria (grados Celsius), Monterrey, enero 2002-noviembre 2017. Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión Nacional del Agua, Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>

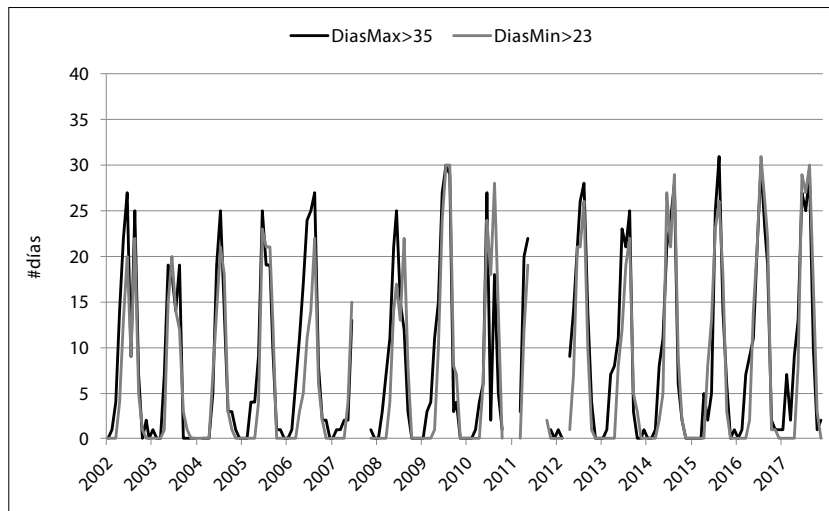


Figura 10. Número de días con temperatura máxima superior a 35 °C por mes y el número de días con temperatura mínima superior a 23 °C por mes, Monterrey, enero 2002-noviembre 2017. Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión Nacional del Agua, Servicio Meteorológico Nacional, disponibles en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>

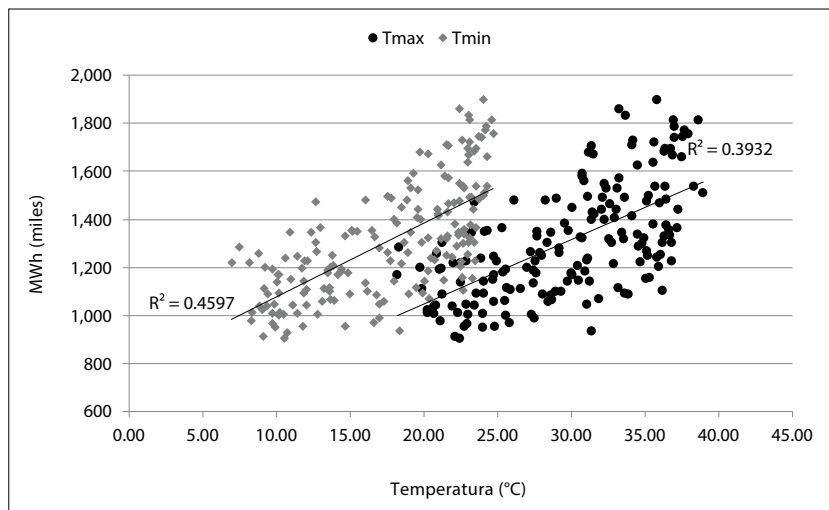


Figura 11. Consumo mensual de electricidad en Nuevo León, en miles de megawatts-hora, versus promedio mensual de temperatura máxima diaria y promedio mensual de temperatura mínima diaria (grados Celsius), Monterrey, enero 2002-noviembre 2017. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Coeficientes de correlación, variables climáticas.

| | Tmax | Tmin | Días Tmax> 35 | Días Tmin> 23 |
|--------------|------|------|---------------|---------------|
| Tmax | 1 | | | |
| Tmin | 0.95 | 1 | | |
| Días Tmax>35 | 0.86 | 0.78 | 1 | |
| Días Tmin>23 | 0.80 | 0.79 | 0.91 | 1 |

Fuente: elaboración propia.

obtenidos por mínimos cuadrados ordinarios. En cada una de las cinco regresiones se incluyen como variables explicativas el número de usuarios y el precio; las variables climáticas se introducen una por una, por separado. En cada caso, se reportan: los valores estimados de los coeficientes asociados a las variables explicativas y sus respectivos estadísticos de significancia (t-ratio), así como el poder explicativo de la regresión (R^2 , ajustado por el número de variables explicativas incluidas).

Todos los coeficientes estimados presentan el signo esperado: positivo para el número de usua-

rios (entre mayor el número de usuarios, mayor el consumo), negativo para el precio (entre mayor el precio, menor el consumo) y positivo para todas las variables climáticas. Destaca la muy alta relevancia de las variables climáticas –en todos los casos, la significancia estadística mayor al 99%–.

La magnitud de los impactos medidos es apreciable. Considerando una vivienda típica de clase media/media baja en Monterrey con consumo mensual de 0.5 MWh, los resultados establecen que:

1. Un grado adicional en el promedio mensual de temperatura máxima diaria (Tmax) añade al consumo mensual de electricidad 23 598 MWh, equivalente a más de 47 000 viviendas.
2. Un grado adicional en el promedio mensual de temperatura mínima diaria (Tmin) añade al consumo mensual de electricidad 27 141 MWh, equivalente a más de 54 000 viviendas.
3. Un día adicional con temperatura máxima superior a 35 °C en el mes (Días Tmax>35) añade al consumo mensual de electricidad 12 009 MWh, equivalente a más de 24 000 viviendas.
4. Un día adicional con temperatura mínima superior a 23 °C en el mes (Días Tmin>23)

Tabla 4. Resultados de regresión (MCO), variable dependiente: consumo mensual de electricidad, Nuevo León.

| | Coeficientes estimados (t-stat) | | | | | | | R2 (ajus.) |
|-----|---------------------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|
| | Cons. | Usuarios | Precio | Tmax | Tmin | Días Tmax>35 | Días Tmin>23 | |
| (1) | 352 500 (4.64) | 1.1064 (9.83) | -538.6 (-5.16) | | | | | 0.47 |
| (2) | -233 020 (-3.47) | 0.7237 (8.83) | -186.7 (-2.45) | 23 598 (13.76) | | | | 0.76 |
| (3) | 15 407 (0.31) | 0.6682 (9.03) | -137.5 (-2.00) | | 27 141 (16.75) | | | 0.81 |
| (4) | 360 810 (6.44) | 0.8102 (9.32) | -282.1 (-3.50) | | | 12 009 (11.73) | | 0.72 |
| (5) | 410 840 (7.92) | 0.7338 (8.99) | -227.43 (-3.03) | | | | 13 555 (13.88) | 0.76 |

Fuente: elaboración propia.

añade al consumo mensual de electricidad 13 555 MWh, equivalente a más de 27 000 viviendas.

Estos resultados revelan la importancia fundamental del clima para explicar la estacionalidad del consumo de electricidad en Monterrey, en particular, los grandes picos observados en el verano.

Las temperaturas empleadas aquí son las observadas, es decir, incluyen el efecto de la ICU. Si por ejemplo se comprueba que la ICU aumenta en 3 °C el promedio mensual de temperatura máxima diaria en Monterrey, se puede entonces concluir que, en términos de consumo de energía eléctrica, el efecto equivale a proporcionar el servicio a medio millón de habitantes adicionales.

CONCLUSIONES

En México, los usuarios de energía eléctrica ubicados en el Norte presentan un consumo alto y con una estacionalidad muy marcada en comparación a otras regiones del país. Estas características del consumo de energía eléctrica se relacionan con el clima regional, en particular las elevadas temperaturas de verano. En el caso específico de Monterrey y municipios conurbanos, el promedio mensual de las temperaturas máximas y mínimas diarias explica más de un cuarto de la variación estacional encontrada en el consumo de electricidad. El número de días por mes con temperaturas particularmente altas (tanto máximas como mínimas) también se relaciona fuerte y positivamente con el consumo mensual de electricidad.

Estos hallazgos tienen relevancia para la política pública, tanto en el ámbito nacional como local. En términos de política energética, el origen regional de los grandes picos en el consumo de electricidad durante el verano tiene varias implicaciones para la planeación del sistema eléctrico nacional, en particular en términos de la ubicación de la capacidad de generación y de la infraestructura de transmisión. Esta realidad regional también es de relevancia para la elección de las tecnologías de generación, ya que no todas son iguales de aptas para responder a repentinos aumentos en

el consumo, aun si son previsibles. Además, tener capacidad suficiente para enfrentar el pico de verano implica su ociosidad gran parte del año, lo que conlleva la necesidad de considerar los costos de mantener en reserva esta capacidad ya que pueden diferir según la tecnología de generación. También habría que evaluar el potencial de la generación distribuida para contribuir a reducir el estrés aplicado al sistema eléctrico en épocas de alto consumo.

En términos de planeación urbana, los resultados obtenidos son de utilidad para el análisis costo-beneficio de medidas de mitigación de la ICU. Por ejemplo, un proyecto de inversión cuyo resultado técnico fuese bajar en 1 °C la temperatura en la conurbación de Monterrey generaría un ahorro mensual en el consumo de electricidad de alrededor de 25 000 MWh. Considerando un modesto precio de referencia de \$2000/MWh para el servicio de energía eléctrica, ello se traduce en un beneficio mensual de 50 millones de pesos. En realidad, los beneficios de reducir el efecto de la ICU no se limitan al consumo de energía eléctrica, el aumento de la temperatura también genera riesgos para la salud pública (Vargas, N., y Magaña, V., 2020b), los cuales implican costos tanto privados como sociales.

El impacto del clima sobre el consumo de energía eléctrica en México, en lo nacional, regional y local, requiere de más investigación para informar la toma de decisiones y manejar las diversas consecuencias del calor extremo sobre la sociedad. El presente trabajo indica diversas pistas en este sentido. Se podría reproducir el caso de Nuevo León presentado aquí para otras entidades del país, también sería provechoso proceder con estudios sectoriales para distinguir entre los distintos tipos de usuarios de electricidad, en particular industriales y residenciales.

Medio siglo de investigación sobre el ICU en México no ha agotado el tema. El recién y particularmente caluroso verano del 2023, subraya la necesidad de seguir actualizando la medición del fenómeno, así como de sus múltiples consecuencias más allá el consumo de energía eléctrica, por ejemplo, el consumo de agua o las muertes prematuras por exposición al calor extremo.

REFERENCIAS

- Al-Zayer, J. y Al-Ibrahim, A. (1996). Modelling the impact of temperature on electricity consumption in Eastern Province of Saudi Arabia. *Journal of forecasting*, 15, 97-106. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(85\)90006-4](https://doi.org/10.1016/0360-5442(85)90006-4)
- Bessec, M. y Fouquau, J. (2008). The non-linear link between electricity consumption and temperature in Europe: A threshold panel approach. *Energy Economics*, 30(5), 2705-2721. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.02.003>
- Camarillo Cortés, J. R. (2022). Confort térmico y ahorro energético en vivienda de Monterrey, Nuevo León [Universidad Jesuita de Guadaluajara ITESO]. <https://hdl.handle.net/11117/7519>
- Do, L. P. C., Lin, K. H. y Molnár, P. (2016). Electricity consumption modelling: A case of Germany. *Economic Modelling*, 55, 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.02.010>
- García-Cueto, R. O., Jáuregui-Ostos, E., Toudert, D. y Tejada-Martínez, A. (2007). Detection of the urban heat island in Mexicali, B. C., México and its relationship with land use. *Atmosfera*, 20(2), 111-131.
- García-Cueto, R. O., Santillán Soto, N., Quintero Nuñez, M., Ojeda Benitez, S. y Velázquez Limón, N. (2013). Extreme temperature scenarios in Mexicali, Mexico under climate change conditions. *Atmosfera*, 26(4), 509-520. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(13\)71092-0](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(13)71092-0)
- García-Cueto, R. O., Tejada Martínez, A. y Bojórquez Morales, G. (2009). Urbanization effects upon the air temperature in Mexicali, B. C., México. *Atmosfera*, 22(4), 349-365.
- García-Cueto, R. O., Tejada Martínez, A. y Jáuregui Ostos, E. (2008). Downscaling estadístico aplicado a las ondas de calor en una ciudad árida del noroeste de México y estimación del efecto del cambio climático global. En J. Sigró Rogríquez, M. Brunet India, y E. Aguilar Anfrons (Eds.), *Cambio Climático Regional y sus impactos* (pp. 531-541). Publicaciones de la Asociación Española de Climatología AEC.
- García-Cueto, R. O., Tejada Martínez, A. y Jáuregui Ostos, E. (2010). Heat waves and heat days in an arid city in the northwest of México: Current trends and in climate change scenarios. *International Journal of Biometeorology*, 54(4), 335-345. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0283-7>
- Grajeda-Rosado, R. M., Levet-Nofrietta, A., Mondragón-Olan, M. y Velázquez-Sanabia, C. (2023). La importancia de la isla de calor urbano como un indicador más a tomar en cuenta en los procesos de planeación urbana en las ciudades de México. *E-Rua*, 15(03), 42-53. <https://doi.org/10.25009/e-rua.v15i03.192>
- Gutiérrez Moya, E. y Arévalo Quijada, M. T. (2006). Análisis de la influencia de la temperatura en la demanda residencial de energía eléctrica en Andalucía. *Revista de Estudios Andaluces*, 26(27), 93-122. <https://doi.org/10.12795/rea.2006.i26.04>
- Jáuregui Ostos, E. (1979). La isla de calor en Toluca. En *Investigaciones Geográficas*, (9). <https://doi.org/10.14350/rig.58913>
- Jáuregui Ostos, E. (1986). Desarrollo de la isla urbana de calor en grandes ciudades de México. *Revista de Geografía*, 1(1), 4.
- Jáuregui Ostos, E. (1993). La isla de calor urbano de la Ciudad de Mexico a finales del siglo XIX. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México*, (26), 31-39). <https://doi.org/10.14350/rig.59016>
- Jáuregui Ostos, E., Tejada, A., Luyando, E., Casasola, M. y García, G. (2008). Asentamientos humanos: Bioclima, isla de calor y consumo eléctrico. http://www.inecc.gob.mx/descargas/climatico/2008_ecc_inf_asentamientos.pdf
- Lara Díaz, E. (2016). *Uso de Energía Eléctrica y Clima Urbano en la Zona Metropolitana de Monterrey*. Tesis aceptada para el grado de Maestro en Economía Regional, Centro de Investigaciones Socioeconómicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Disponible en: <https://www.cise.uadec.mx/tesis.php>
- Marincic, I. (2022). Una revisión sobre la isla de calor urbana y sus particularidades en zonas desérticas de México. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, (12), 9-25. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i12.196>
- Martín-Rodríguez, G. y Cáceres-Hernández, J. J. (2005). Modelling the hourly Spanish electricity demand. *Economic Modelling*, 22(3), 551-569. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2004.09.003>
- Martínez-Austria, P. F. y Bandala, E. R. (2016). Maximum temperatures and heat waves in Mexicali, Mexico: Trends and threshold analysis. *Air, Soil and Water Research*, (9), 21-28. <https://doi.org/10.4137/ASWR.S32778>
- Morales-Ramírez, D. y Alvarado-Lagunas, E. (2014). Análisis del consumo de energía eléctrica domiciliar en Tampico, Tamaulipas. *Ciencia UAT*, 8(2), 62-67. <https://www.redalyc.org/pdf/4419/441942931007.pdf>
- Morales-Ramírez, D., Luyando Cuevas, J. R. y Flores Curiel, D. (2012). Determinantes del consumo de energía eléctrica residencial de la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, en México. *Universidad y Empresa*, 14(81), 79-98.
- Oke, T.R., Mills, G., Christen, A. y Voogt, J. A. (2017). *Urban Climates*. Cambridge University Press.
- Ramos Niembro, G., Fiscal Escalante, R., Maqueda Zamora, M., Sada Gámiz, J. y Buitrón Sánchez, H. (1999). Variables que influyen en el consumo de energía eléctrica. *Boletín Iie*, (23), 11-18. <http://www.ineel.mx/medioamb99/apli.pdf>

- Rivera Rivera, A. L. (2012). Urban Heat Islands In Monterrey, Mexico Using Remote Sensing Imagery And Geographic Information Systems Analysis [Tec de Monterrey]. https://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/1630/CASO_DE_CIBERTERAPIA.pdf;jsessionid=118A1EDC8F32D4BF6E5B250CF0A64863?sequence=2
- Salisu, A. A. y Ayinde, T. O. (2016). Modeling energy demand: Some emerging issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (54), 1470-1480. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.121>
- Santamouris, M. (2020). Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings*, (207), 28. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109482>
- Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A. y Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings - A review. *Energy and Buildings*, (98), 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.052>
- UN-Habitat. (2022). Envisaging the Future of Cities. En *World City Report 2022*. https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf
- Sherwood, S. y Huber, M. 2010. An adaptability limit to climate change due to heat stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(21), 9552-9555. DOI: [10.1073/pnas.0913352107](https://doi.org/10.1073/pnas.0913352107)
- Tejeda-Martínez, A., Méndez-Pérez, I. R. y Cruz-Pastrana, D. A. (2022). Domestic electricity consumption in Mexican metropolitan areas under climate change scenarios. *Atmósfera*, 35(3), 449-465. <https://doi.org/10.20937/ATM.52902>
- Valor, E., Meneu, V., y Caselles, V. (2001). Daily air temperature and electricity load in Spain. *Journal of Applied Meteorology*, 40(8), 1413-1421. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<1413:DATAEL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<1413:DATAEL>2.0.CO;2)
- Vargas, N., y Magaña, V. (2020a). Climatic risk in the Mexico City metropolitan area due to urbanization. *Urban Climate*, (33), 100644. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100644>
- Vargas, N., y Magaña, V. (2020b). Warm spells and climate risk to human health in the Mexico City metropolitan area. *Weather, Climate, and Society*, 12(3), 351-365. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-19-0096.1>