

ITESO, UNIVERSIDAD JESUITA DE GUADALAJARA

Reconocimiento de validez oficial por acuerdo secretarial número 15018 publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 1976.

Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano

MAESTRÍA EN PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES



Modelado del consumo de energía eléctrica residencial respecto de las dinámicas sociodemográficas en los municipios del Estado de Jalisco utilizando la técnica de regresión lineal múltiple

Proyecto de investigación aplicada

Trabajo para obtener el grado de
MAESTRO EN
PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES

Presenta:

Ing. Eduardo Reza Torres

Asesor:

Dr. David Vargas del Río

Tlaquepaque, Jalisco, a 14 de julio de 2015

Contenido

Contenido	1
1. Introducción	2
2. Sustentabilidad y consumo eléctrico.....	8
3. Hipótesis de trabajo.....	10
4. Objetivos.....	10
5. Marco Contextual: Consumo eléctrico en México y en el estado de Jalisco	11
6. Planteamiento metodológico.....	26
7. Definición del modelo operacional. Un acercamiento al análisis de regresión múltiple.....	33
8. Resultados y discusión.....	47
9. Conclusiones.....	79
10. Fuentes de consulta	82
11. Anexos.....	89

1. Introducción

A medida que las sociedades se han desarrollado más, se requieren más recursos materiales y energéticos de la biósfera. El siglo XXI inicia con 6,000 millones de personas. Ello significa mayores necesidades de territorio para cultivo y vivienda, asociado a mayor consumo de agua, energía y materiales para procesar los suministros, y mantener un estilo de vida que cumple con ciertos estándares. En consecuencia, se produce una acelerada extracción, concentración o deposición de materiales, mientras aparecen cambios en el clima y una creciente escasez de recursos energéticos no renovables como el petróleo: un recurso estratégico cuyo consumo se asocia con dependencia económica, generación de gases efecto invernadero y otros impactos ambientales. Uno de sus usos destacados es el de la combustión para la producción de electricidad. De esta forma, en México, los hidrocarburos suministran el 80% de la energía necesaria para mantener los procesos productivos, de los

cuales, el uso de la energía eléctrica representa el 40%. Indagar sobre los suministros energéticos de una población adquiere una relevancia mayor cuando se considera que están directamente ligados a la forma de vida de sus pobladores: convivencia, transporte, eficiencia de las actividades, intercambios económicos, medios de comunicación, servicios vinculados al bienestar, etc. (CFE 1994; Pradilla 1984). Quizás no es muy aventurado afirmar que la energía eléctrica está en el centro de las relaciones sociales modernas: dota de iluminación, provee de bienestar y eficiencia a los hogares y oficinas mediante aparatos eléctricos, facilita el comercio, las comunicaciones y, en general, define y condiciona los patrones de consumo de sus pobladores.

La presente investigación se realiza sobre las bases de datos disponibles que dan cuenta del consumo de energía eléctrica en el territorio del Estado de Jalisco. Estos datos son interpretados mediante un análisis de regresión lineal múltiple acompañado de un análisis con Sistemas de Información Geográfica (SIG). Las cuales son herramientas de interpretación cuantitativa y cualitativa que ayudan a reconocer la interrelación que hay entre consumo de energía eléctrica y los fenómenos demográficos asociados a dichas bases de datos. Al reconocer tales interrelaciones, se presume, seremos más capaces de reconocer importantes comportamientos en el modo de habitar de una región específica y las necesidades de la población desde la perspectiva geográfica. Al conocer las variables sociodemográficas y relacionarlas con las del servicio eléctrico, por ejemplo, se puede optimizar la red de generación y dotación de energía. Esto podría relacionarse con variables como la infraestructura, patrones urbanísticos, niveles de ingreso y, de ahí, generar

hipótesis ligadas a soluciones integrales para ciertas unidades territoriales (Zhang, 2011; Reiter, 2011). Así, podría reducirse el consumo, reducir costos económicos y los conflictos ambientales asociados. Y de ahí, definir espacios socio-urbanos que consideren comportamientos y tendencias relacionadas con el uso y aprovechamiento de energía eléctrica.

De manera similar, se puede dar a conocer los modos de vida, configuraciones municipales e indicadores sociales que son más sustentables en términos energéticos. Esto podría llevar a la reflexión democrática y al entendimiento profundo del problema desde los mismos consumidores, puesto que la planeación actual supone soluciones promovidas desde los especialistas; sin embargo, el conocimiento podría despertar el interés de los individuos hacia una movilización desde sus ámbitos, y hacia formas de producción y consumo energético más responsables. Se podría hablar así por ejemplo de la conveniencia de invertir en energías alternativas en el alumbrado público de un municipio y luego evaluarlo con una visión más integral. Además, en zonas residenciales, se pueden detectar entidades urbanas que demandan mucha energía y a través de las bases de datos, conocer las causas de esos consumos, puesto que se tienen datos sociodemográficos, de nivel técnico, de carácter geográfico, etc. Tales espacios socio-urbanos de alto consumo pueden derivar, en el plano de la administración pública, en políticas dirigidas a solucionar ciertos problemas de la población; a nivel de los desarrolladores, a diseñar nuevas zonas urbanas basadas en la experiencia de consumo y proponer estrategias de ahorro integrales desde la fase inicial de los proyectos; y también a un nivel local, es posible que se generen nuevas áreas de

oportunidad de negocio descentralizadas a pequeña escala independientes. Finalmente, a nivel educativo, el estudio puede impulsar a universitarios a realizar sus prácticas profesionales ya que es un buen acercamiento para entender los problemas sociales, político estructurales o ambientales de una sociedad como la nuestra.

Como ya se mencionó, el estudio que aquí se presenta se desarrolla desde la escala municipal del estado de Jalisco. Con las bases de datos y la aplicación de estadística inferencial, se pueden obtener resultados cuantitativos que sirvan de base de comparación entre un grupo de municipios. A través de la técnica de regresión múltiple, es posible asociar características demográficas con el consumo de energía eléctrica y obtener parámetros que se relacionen directamente con el comportamiento de los pobladores en relación a la sustentabilidad. Los sistemas de información geográfica (SIG), por su parte, contribuyen a localizar las áreas de afectación y oportunidad en el espacio de manera clara, ordenada y de fácil entendimiento, y también permiten triangular la información y generar hipótesis.

En síntesis, un compilado de la información referente consumo de energía eléctrica en el territorio, con base a indicadores a nivel municipal, puede dar a conocer las variables que afectan a la sustentabilidad en relación al uso y aprovechamiento de los recursos energéticos municipales. Al hacer esto no sólo se busca describir las directrices de la población respecto al consumo de la energía eléctrica —para que tengamos un mejor entendimiento de los retos que enfrenta la infraestructura por la creciente demanda en la población y las posibles alternativas ante una transición energética— sino sobre todo aumentar el conocimiento relativo al comportamiento de la población en lo que respecta a

su consumo energético, para incidir en las políticas y estrategias de producción de organismos particulares, gubernamentales, organizaciones civiles y pobladores. Y además, generar nuevas preguntas y líneas de investigación orientadas a la sustentabilidad energética de la región.

Considerando lo anterior, se trata de un estudio multidisciplinario que podría aportar inferencias valiosas a la sociedad civil, el sector académico, y a algunas dependencias paraestatales o dependencias de gobierno, particularmente:

1. Comisión Federal de Electricidad (CFE).
2. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.
3. Pobladores de la ZMG.
4. Investigadores.
5. Organismos descentralizados.
6. Planeadores Urbanos.
7. Organizaciones civiles.
8. Ayuntamientos y gubernaturas.

Algunas de las aplicaciones potenciales de este estudio podrían ser:

1. Aportar información importante para el monitoreo y futuros estudios de mercado y de expansión de la CFE.
2. Aportar información al estudio de indicadores de sustentabilidad energética del INEGI.

- 3.** Favorecer la movilización y la toma de conciencia entre la sociedad civil, orientada hacia un uso medido y eficiente de los recursos energéticos, a partir del conocimiento del uso de energéticos y sus implicaciones.
- 4.** Plantear una metodología que contribuya a integrar las problemáticas relacionadas con el hábitat, la sustentabilidad, manejo de bases de datos y toma de decisiones.
- 5.** Detectar nichos de negocio entre particulares interesados en comercializar dispositivos de ahorro de energía para complejos urbanos actuales y por establecerse.
- 6.** Contribuir al diseño de políticas públicas orientadas a la reducción del consumo eléctrico mejor enfocadas en términos sociales.

2. Sustentabilidad y consumo eléctrico

La evolución y desarrollo no lineal de la población durante los últimos doscientos años implicaron mayor necesidad de recursos materiales y energéticos. Tan solo en la segunda mitad del siglo XX la población se duplicó a 4,000 millones de personas, llegando a ser una cifra nunca antes vista en la historia de la humanidad. Tan es así que el siglo XXI inicia con 6,000 millones de personas con tendencia creciente (Foley, 1981; Craig *et. al.* 2001). Sin embargo, el mayor problema no es el crecimiento de la población, sino el aumento en las necesidades de una población que relaciona su felicidad con el consumo. Al igual que el ser humano primitivo, los contemporáneos necesitan recursos de la tierra para sobrevivir, pero a diferencia de los primeros, los humanos modernos demandan cada vez más territorio de cultivo, vivienda, recurso hídrico, fertilizantes, energía y materiales para satisfacer sus crecientes necesidades. Las especulaciones sobre el aumento en las necesidades de consumo de una población que crece de forma descontrolada dan la pauta a las consecuencias de la sobreexplotación de los recursos: una acelerada extracción, concentración o deposición de materiales, de compuestos gaseosos, sedimentarios o en el ciclo hidrológico, que puede repercutir en el equilibrio biogeoquímico, en el clima, la disponibilidad de agua, la composición de los suelos, el crecimiento de cosechas, y con una alta pérdida de biodiversidad (Bifani 1997, Craig *et. al.* 2001).

Esto es el resultado de una visión tecnocentrista/industrial que relaciona desarrollo con la producción de bienes y servicios, donde el alto poder energético del petróleo y la aparición de la electricidad en la segunda mitad del siglo XIX juegan un papel central (Foley, 1981).

Sin embargo, las rentas más provechosas se encuentran en su utilización durante el siglo XX, cuando aparecieron novedosas formas de suministrar energéticos a las metrópolis y sistemas económicos basados en la competencia y el consumo. Por lo tanto, enfrentar la escasez de recursos energéticos no renovables como el petróleo, la aparición de problemas ambientales asociados a la producción de electricidad, la generación de gases efecto invernadero debidos a la combustión de hidrocarburos o sistemas económicos excluyentes del valor del paisaje y los bienes comunes, son algunos planteamientos que el ser humano tiene como retos para encarar las próximas generaciones debido a esa ruptura en su relación con la naturaleza. En esta situación se deberá reconocer la dependencia de los combustibles fósiles y el desproporcionado uso de sus recursos para alimentar a ciudades cada vez más demandantes (EM, 2004).

Por lo anterior, en el esquema del territorio, los asentamientos humanos modernos necesitan estar dotados de infraestructuras como caminos, puentes, y suministros de energía para llevar a cabo las funciones en relación a sus intereses y bienestar. La infraestructura eléctrica es una de tales infraestructuras y aunque no hace falta referirse a conceptos complicados para demostrar su importancia en la sociedad (es evidente la necesidad de electricidad para alumbrado público, y para el funcionamiento de lavadoras, refrigeradores, sistemas de calefacción, o ventilación para el confort), se requiere profundizar más para concebir la forma en la que la geografía social y la tecnología se relacionan e influyen en las prácticas cotidianas.

3. Hipótesis de trabajo

Existe una relación funcional entre consumo eléctrico y demografía y, por lo tanto, es posible deducir un modelo explicativo para los Municipios del Estado de Jalisco (MEJ) que describa tal relación.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general de la investigación

Identificar las variables demográficas que condicionan el consumo de energía eléctrica en los MEJ.

4.2 Objetivos particulares

1. Identificar aquellos rasgos territoriales de los MEJ que condicionan el consumo eléctrico.
2. Identificar las variables demográficas relacionadas con el consumo de electricidad.
3. Inferir rasgos socioculturales relacionados con el consumo de energía eléctrica en los MEJ.
4. Describir los retos de la infraestructura eléctrica actual, considerando las necesidades de la sociedad en los MEJ.
5. Integrar los elementos fundamentales del hábitat en el marco de las variables demográficas del consumo eléctrico de los MEJ.

6. Discutir desde el marco de la sustentabilidad los hallazgos relativos a la relación entre consumo eléctrico y hábitat de los MEJ.

5. Marco Contextual: Consumo eléctrico en México y en el estado de Jalisco

La importancia de la energía para la sociedad mexicana es fundamental; supone la provisión de hidrocarburos y electricidad que están en el centro de su economía. Es un sector que representa el 37% del presupuesto nacional y emplea a 250,000 trabajadores. La energía que se produce depende en un 70% de la quema de hidrocarburos, donde 12.7% se destina a la producción de electricidad. Así, la producción de energía a partir de hidrocarburos representa el 3% del PIB de este país, de lo cual 1.3% se destina a la generación de electricidad y el restante 1.7% a otros usos. La red eléctrica tiene una cobertura nacional del 95%, siendo de las de mayor cobertura en Latinoamérica. En este sentido, el 76.5% de la electricidad se produce en centrales termoeléctricas, 23.4% en hidroeléctricas y 0.1% oleoeléctricas (SENER, 2012).

Estos datos significan en el plano ambiental estadísticas menos favorables: el sector energético libera 75% del total de las emisiones de CO₂ del país, de los cuales el 30% es causado por la producción de electricidad. Esto representa el 1.3% y 0.52% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial respectivamente, siendo México uno de los 13 países con mayor producción de CO₂ a nivel mundial. Si se contabilizan los costos ambientales, resultan ser del 10% del PIB (INEGI-SENER, 2009), por lo que un análisis costo beneficio ambiental resulta no ser tan favorable. Menos favorable aún si se considera la dependencia de

hidrocarburos para producirla, pues se depende de un recurso que está próximo a agotarse. Al cierre del 2011, la capacidad instalada del sector eléctrico fue de 52,512 MW. De este total, el 65% corresponde a centrales que usan combustibles fósiles, es decir 34,132 MW. Las plantas termoeléctricas representan el 38.4%, 27.3% hidroeléctrica, 14% de ciclo combinado y 2.3% de fuentes alternas. No cabe duda que México debe diversificar sus fuentes de energía, y especialmente considerar las energías limpias.

De las nueve regiones geográficas de México, Jalisco forma parte del área occidente. Se trata de una región que abarca Jalisco y Nayarit y está dotada del 15.6% de la capacidad total nacional de generación con 11,552 MW. En lo que respecta a la demanda, en 2010 fue de 8,212 MW en toda la región y 7,478 MW en los municipios de Jalisco (SENER, 2012), siendo la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) donde se presentó mayor cantidad con 2,341 MW y los restantes 5137 MW en el resto de los municipios. Al reflexionar sobre la ZMG o los municipios de Jalisco, no existen datos certeros de los hábitos de consumo eléctrico de los pobladores. Si los hay, son datos exclusivos de los organismos paraestatales, esto crea confusión a la ciudadanía y no hay claridad de lo que conlleva el uso de la red eléctrica.

5.1 Contexto de la energía eléctrica de Jalisco

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) a través del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), tiene el control operativo en 9 divisiones establecidas en todo el territorio nacional y Jalisco se

localiza en la zona 3 (figura 5.1.1). Esta zona a su vez está subdivididas en 49 subzonas para atender las demandas de los municipios (CFE, 2012).



Figura 5.1.1 Áreas de control del Sistema Eléctrico Nacional. Extraído del programa de obras 2012-2026 (CFE 2012).

En la literatura se puede encontrar información relevante como el funcionamiento operativo, sectores de algún dato cualitativo en particular, flujos energéticos de consumo y venta de ciertas regiones (CFE, 1994; CFE, 2012; CFE, 2014). Aquí, es de gran ayuda el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico que tiene la función de realizar estudios dentro de la planificación del sistema eléctrico nacional. Por tanto, existe el interés particular en entender cómo funciona tal abastecimiento y las fuentes de energía que suministran la red para conocer los consumos en los municipios del Estado de Jalisco.

El sistema de generación está integrado por centrales dependiendo de su importancia tecnológica y recursos energéticos. La capacidad instalada en 2010 fue de 52,947 MW entre las regiones Central, Oriental, Occidental, Noroeste, Norte, Noreste, Baja California, Baja California Sur, Peninsular (CFE 2012; SENER 2012). En la figura 5.1.2 se muestra un gráfico de la capacidad efectiva por tipo de tecnología.

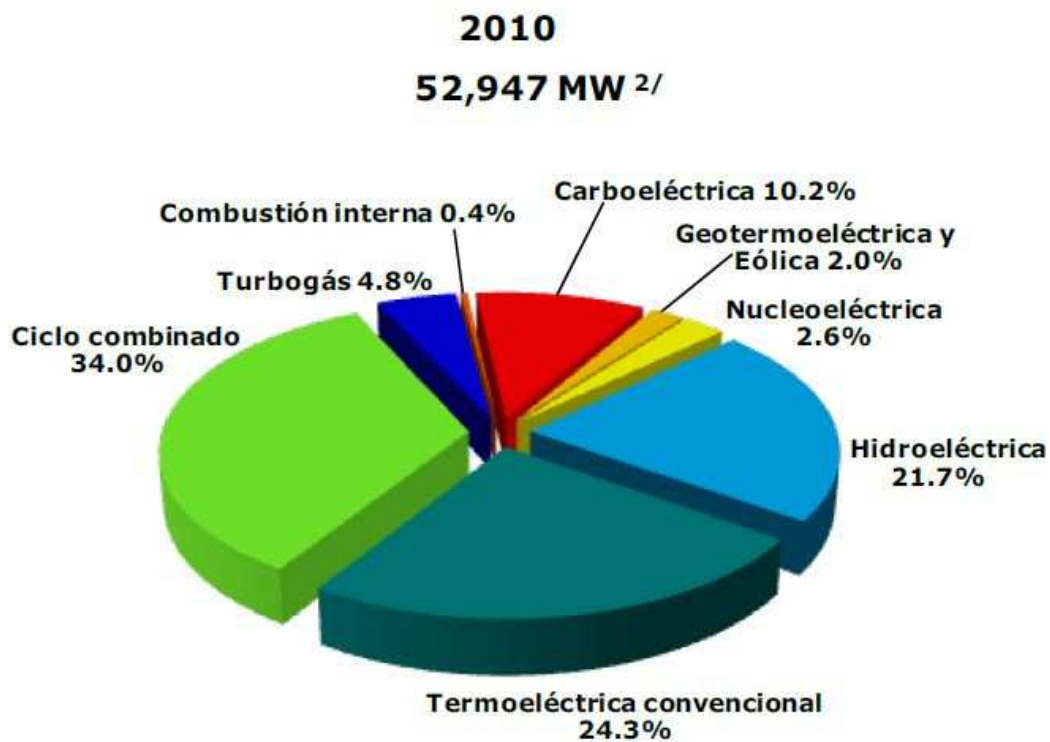


Figura 5.1.2 Capacidad efectiva por tipo de tecnología. Extraído del programa de obras 2012-2026 (CFE 2012).

En particular el área Occidente en 2010 tuvo una demanda máxima de 8,213 MW, 8,669 MW en 2011 y 9,207 MW en 2013 a las 17:00 horas; el cual se divide en tres regiones: Bajío, Centro Occidente y Jalisco; esta última comprende los estados de Jalisco y Nayarit (CFE, 2012). La figura 5.1.3 muestra la capacidad instalada de corredores de transmisión

diseñados en función de la carga operativa del sistema; por ejemplo, el límite de transmisión entre Tepic y Mazatlán es de 1000 MW y entre el área central y occidente 2600 MW. Estas capacidades están localizados en color rojo con una línea entrecortada.

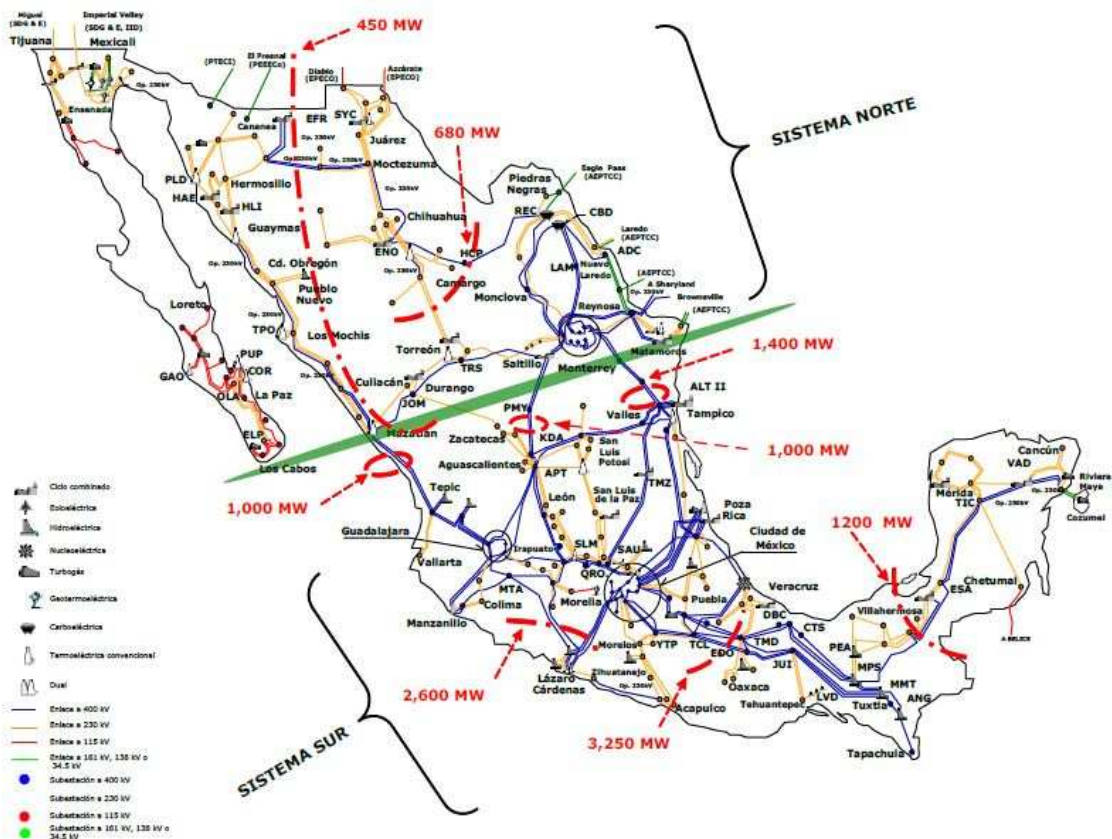


Figura 5.1.3 Capacidad instalada entre corredores del SEN en México. Extraído del programa de obras 2012-2026 (CFE 2012).

La figura 5.1.4 muestra el esquema de corredores de la red troncal del área occidente. Es la región delimitada por el sistema sur y la capacidad de generación en 2010 fue de 11,552 MW, esto hace un aproximado del 77% de factor de carga anual respecto de la potencia demandada. Esta capacidad se conforma por 56% en la región centro occidente, 24% en el

Bajío y 20% en Jalisco. La demanda de 8,669 MW en 2011 estuvo conformada por 55% en Bajío, Jalisco en 27% y Centro Occidente 18%. La región Jalisco presentó una demanda de 2,341MW siendo la zona metropolitana de Guadalajara la carga mayor de la región.

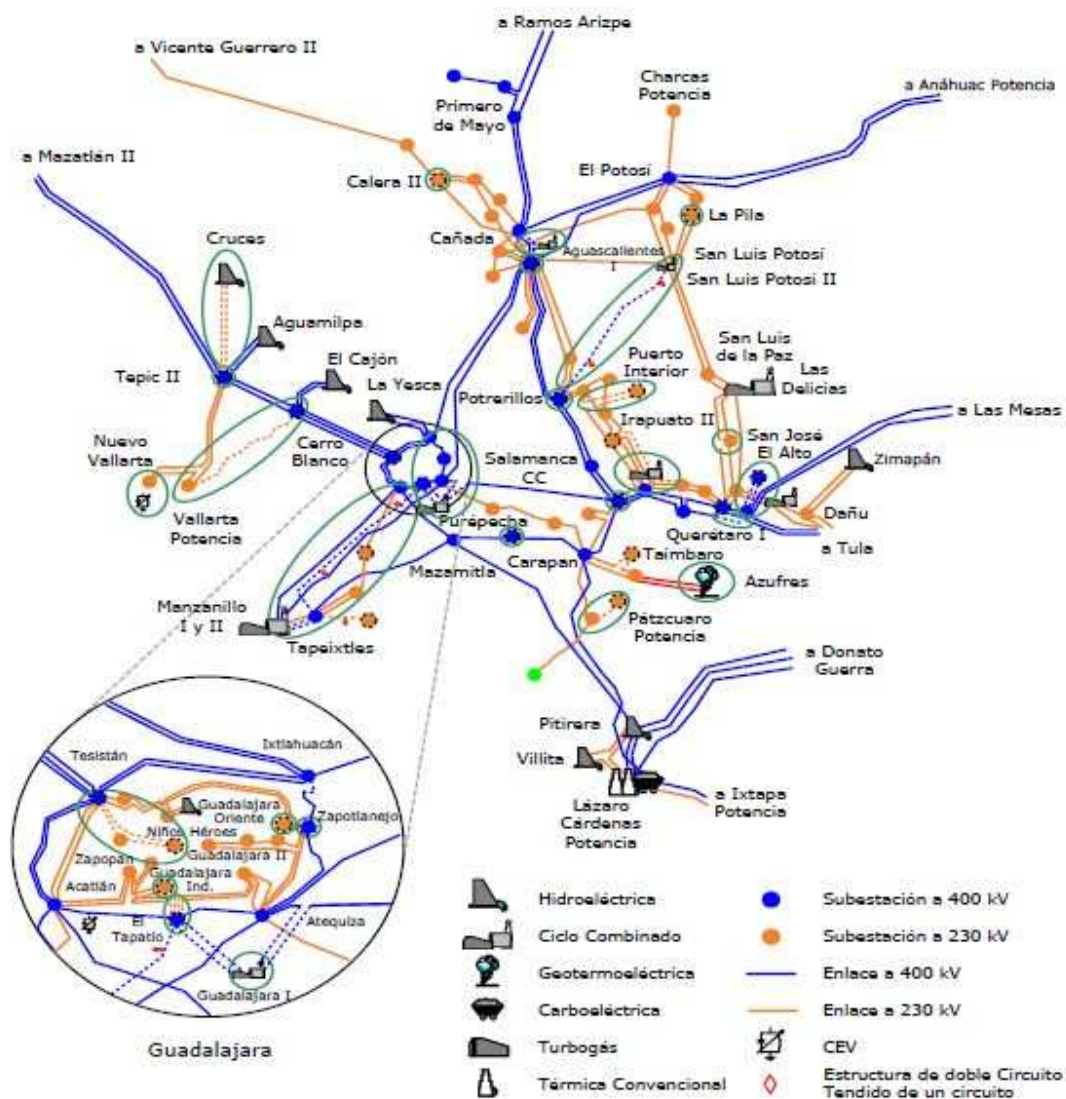


Figura 5.1.4 Capacidad instalada entre corredores del SEN en México. Extraído del programa de obras 2012-2026 (CFE 2012).

Para atender la demanda de la región Jalisco, se abastece de la central termoeléctrica de Manzanillo a 200 Km y de las centrales hidroeléctricas del Rio Santiago como lo son El Cajón y Aguamilpa (CFE, 2014).

A un nivel de distribución, las subestaciones de Atequiza, Zapotlanejo, Guadalajara Industrial I y II, Nuevo Vallarta, Acatlán entre otras de subtransmisión, dan cuenta de la complejidad del abastecimiento y proyectos para suministrar energía eléctrica a la región. La estructura tarifaria que llama la atención en consumo de energía es a un nivel doméstico ya que a partir de la demanda de la zona metropolitana de Guadalajara se extiende el interés en los municipios restantes. De ser posible, se pueden conocer a través de las regiones de control de CFE, datos de consumo eléctrico para conocer más a detalle los municipios. Los datos cuantitativos recabados se pueden tratar de manera que, incorporados a una metodología matemática, sean vistos de manera más clara, identificar valores máximos, pendientes y tendencias.

5.2 Geomorfología de Jalisco

Jalisco tiene una geomorfología accidentada que determina regiones con prácticas sociales diferenciales que podría condicionar los hábitos de consumo de la población. La geomorfología del relieve en el estado de Jalisco se conforma por 5 de las 19 provincias de relieve o fisiográficas de las que está constituida al República Mexicana:

1. El Cinturón Volcánico Transmexicano.
2. La Sierra Madre Occidental.

3. El Altiplano Central.
4. La Sierra Madre del Sur.
5. La Depresión Balsas Tepalcatepec.

Cabe mencionar que esta variedad en el relieve inscrito en el estado de Jalisco influye en la distribución del clima, los ecosistemas, los asentamientos humanos y sus flujos dinámicos de comercio, comunicación y fuentes de energía. La figura 5.2.1 es un mapa que muestra la localización geográfica de las provincias fisiográficas.

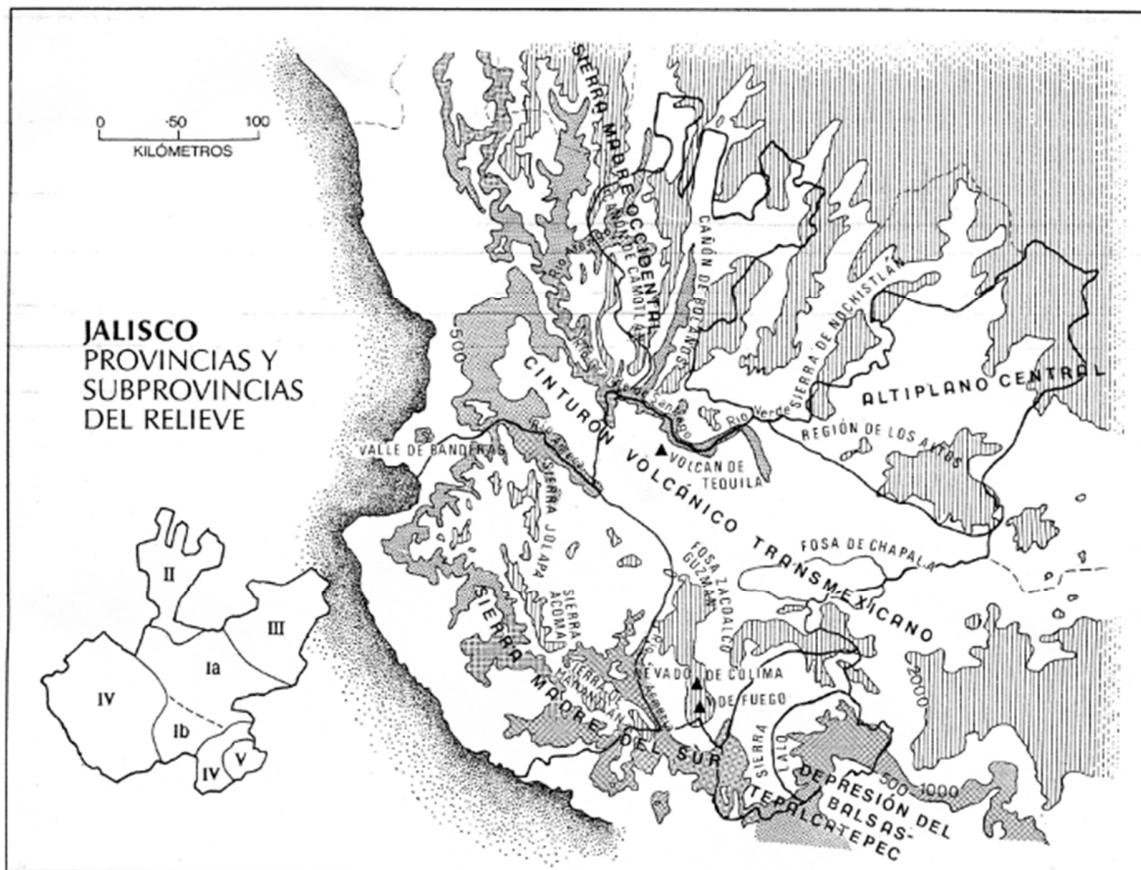


Figura 5.2.1. Mapa de las provincias fisiográficas del Estado de Jalisco. GEJ, 1992.

El Cinturón Volcánico Transmexicano se desarrolla desde el Golfo de México, pero está limitado en el norte con la Sierra Madre Occidental, al mediodía con la Sierra Madre del Sur, por la parte noreste con el Altiplano Central en los Altos de Jalisco. Los centros volcánicos más importantes son el volcán de Tequila, la caldera de la primavera en la parte norte y a través de una serie de cuencas en dirección N-S, se localizan planicies que ya no presentan lagos y con ayuda de riego son aptas para la agricultura, otras por ejemplo como la planicie lacustre de Sayula contiene suelos salinos. En la parte sur se localizan los aparatos volcánicos el Nevado (4240 msnm) y el Colima (3820 msnm). Aquí se localizan la capital y 18 centros urbanos, tales como Ocotlán al noreste de la ribera de Chapala, Atotonilco y la Barca al margen del río Lerma. En 1980 esta zona del noreste se concentró cerca del 77% en la ZMG y 8.5 % en el resto de las localidades de la población urbana. Al sur se localiza Ciudad Guzmán que suma 3.6% de la población urbana.

La Sierra Madre Occidental es una serie de elevaciones formadas por rocas del terciario y la conforman una serie de mesas alteradas del orden de 2700 msnm, cañones de 1200 el de Comatlán donde habitan los Huicholes, 800 el río Bolaños y grandes barrancas que dificultan el acceso a esta zona. En la parte sur hay una evidente división por el Río Santiago con el Cinturón Volcánico Transmexicano.

La provincia del Altiplano Central mejor conocida como Los Altos de Jalisco, es una serie de mesas desplegadas entre 200 y 300 m sobre las planicies del Cinturón Volcánico

Transmexicano. Se localiza al noreste del estado encontrando sus límites en el cañón del río Verde en donde hoy por hoy están localizados los poblados en resistencia de Temacapulín, Acasico y Palmarejo. Tepatitlán se encuentra en una mesa de suelo basáltico que le da el tono rojizo típico de la región y hacia el este por la zona de Lagos comienzan a aparecer las planicies aluviales aprovechadas para el cultivo y ganadería. 6.2% lo representa la población urbana de las cuales las más importantes son Lagos de Moreno, San Juan de los Lagos y Tepatitlán de Morelos.

En la Sierra Madre del Sur se localiza una cadena de montañosa paralela a la costa parcialmente interrumpida por la Fosa Zacoalco-Colima y los volcanes Nevado y Colima, continuando en la parte este de Tuxpan. Es en la zona sur de esta provincia donde también se localizan las Sierras Acoma y Manantlán con altitudes de 2860 msnm. Entre las poblaciones destacadas en esta zona variada en su morfología se encuentran Puerto Vallarta, Tuxpan y Autlán representadas por 4.7 de la población urbana.

La Depresión de Balsas-Tepalcatepec la comprende una parte mínima en el Estado al sureste extremo en el orden de 700 msnm en el piedemonte y valles por donde corren ríos tributarios al Tepalcatepec. Se encuentra limitada con el Cinturón Volcánico Transmexicano y la Sierra Madre del Sur.

En el actual contexto y sumado al territorio existe una dimensión política que gestiona los recursos y los espacios en el marco de las leyes que rigen el estado, de esta manera el espacio territorial está configurado en función del beneficio del mismo.

5.3 Demografía de Jalisco

La demografía es otra variable que también se asume como condicionante, o al menos en estrecha relación, con los hábitos de consumo. En el estudio demográfico se identifican prácticas económicas y laborales de los individuos en la región territorial. Estas prácticas tienen una relación estrecha con el medio con el cual interactúan y transforman para el funcionamiento del sistema o estructura económica a través de los procesos de producción, distribución y consumo. Es aquí donde la dimensión política se hace presente en el modo de organización del grupo, ya que existen instituciones que gestionan las prácticas comerciales para el control de los recursos y la toma de decisiones una vez más para beneficio del Estado.

El eje valorativo normativo contiene los procesos de comunicación (dimensión comunicativa) desde el núcleo hacia fuera y a la inversa en el marco de la dimensión cultural, es decir, procesos evolutivos hacia una estructura más compleja o en proceso de madurez de la cultura que define comportamientos y rasgos en la dimensión psicológica de una región a otra o incluso rasgos distintos en una misma región; y a través del tiempo va registrando hechos y transformando la región. Este contexto es *meso* dado que es una representación de lo Nacional que distingue un análisis de la región representativa.

Jalisco ha experimentado importantes cambios *meso* en su estructura social derivado de la expansión territorial. Favorecido por las condiciones del relieve, sus recursos en las diversas provincias fisiográficas y condiciones de clima se han desplegado zonas

comerciales estratégicas. Uno de los fenómenos más importantes fue la concentración demográfica producto del crecimiento comercial desde las zonas rurales a los centros urbanos y reducción de los índices de mortandad y el aumento de la natalidad durante las décadas de los 70's hasta el final del siglo en cuestión.

El interés que despiertan las actividades articuladas al interior y exterior de los sistemas urbanos jerarquizados parte de la complejidad para estudiarlo. Como refiere Arroyo (1992) depende del desarrollo de infraestructuras de transportes y comunicación; de la localización de la oferta de bienes y servicios con base al alcance territorial y la demanda jerarquizado de manera centralizada; de la complementariedad con otros complejos urbanos centralizados de menor jerarquía y a su vez, del área de influencia de estos; y de la competencia con otros complejos urbanos de igual jerarquía.

Las figuras 5.3.1, 5.3.2 y 5.3.3 son mapas que ilustran cómo la demografía se relaciona de forma directa con el consumo eléctrico de una forma cualitativa. En este caso, se trata de la densidad de población.

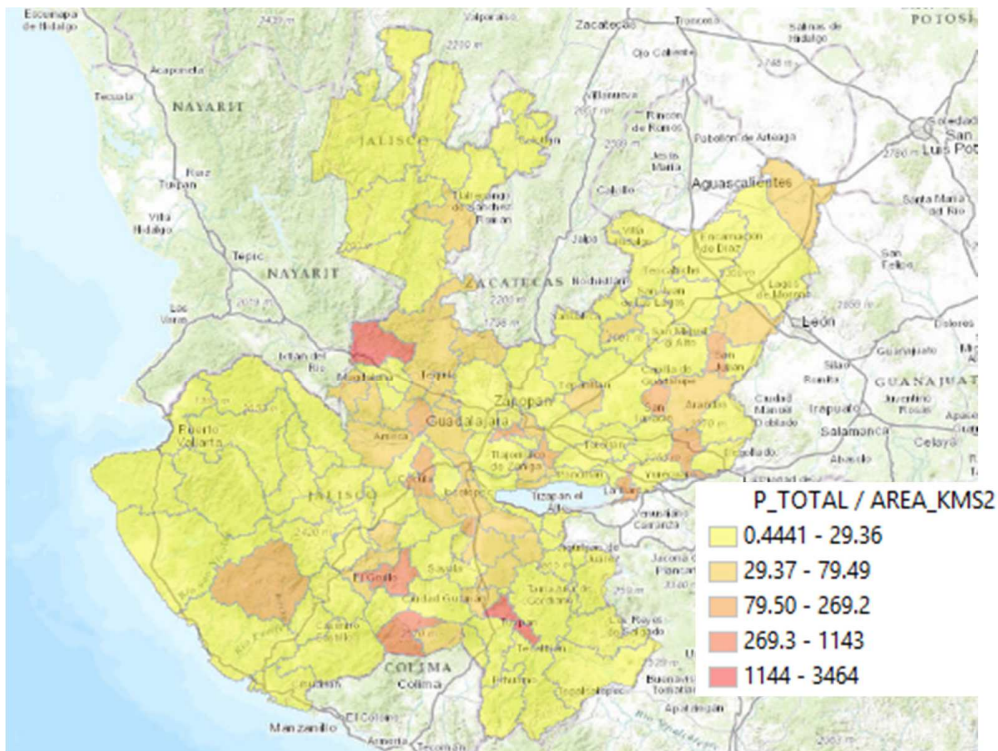


Figura 5.3.1. Mapa de densidad de población por Km². Elaboración propia con datos de INEGI y CFE 2010.

La figura 5.3.1 es un mapa de densidad de población, donde se presenta en colores desde el amarillo como densidad de población baja, hasta el color rojo como la más poblada por Kilómetro cuadrado. Se puede apreciar a Hostotipaquillo de la región valles; Tlaquepaque y Juanacatlan de la zona centro y de la provincia del cinturón volcánico transmexicano; Zapotiltic de la región sur y forma parte de la provincia de Tepalcatepec como algunas localidades de población densa.

Al relacionar la población con el consumo eléctrico suceden fenómenos interesantes. Siguiendo la misma temática de colores en la figura 5.3.2, los municipios que tienen un consumo de energía considerable son Zapopan, Guadalajara, el Salto, Tlaquepaque y Puerto Vallarta. Algo de esperarse, pues se trata de los municipios con mayor número de habitantes.

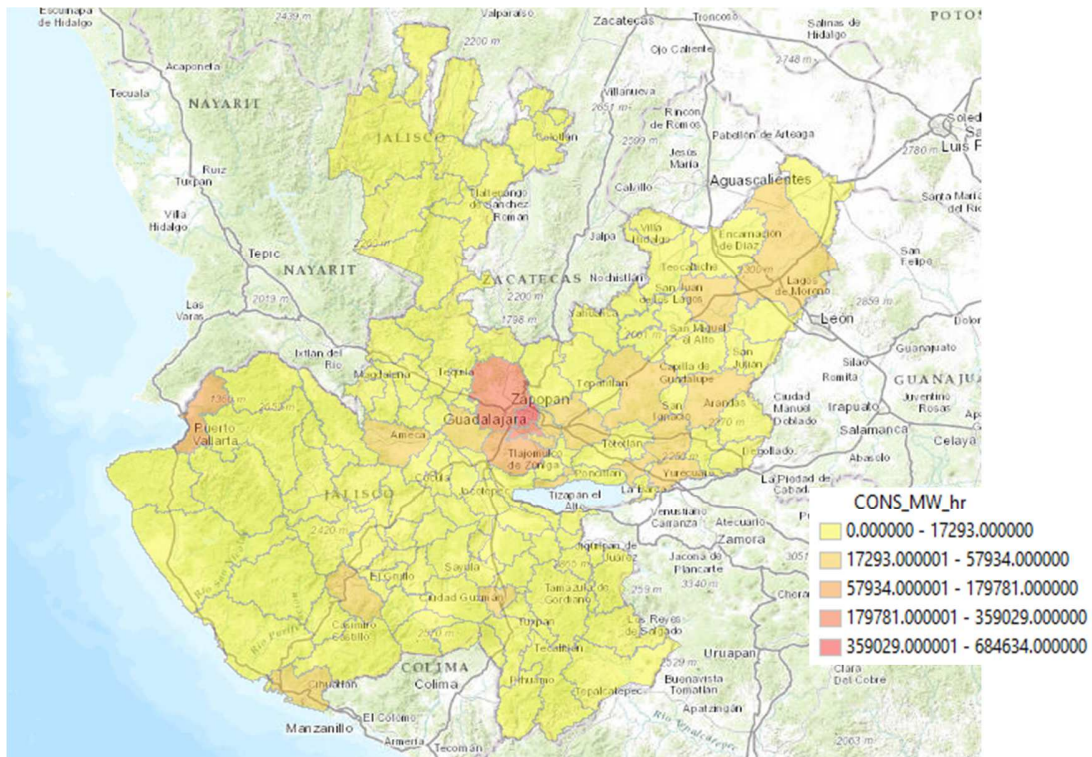


Figura 5.3.2. Mapa de consumo de energía eléctrica en MW-h por municipio. Elaboración propia con datos de INEGI y CFE 2010.

Sin embargo, cuando se estudia con más cuidado en un mapa normalizado como el que se presenta en la figura 5.3.3, el comportamiento revela que existen otras variables involucradas además del número de habitantes: los habitantes de Lagos de Moreno, Zapopan, Tomatlán, Tuxpan, Guadalajara o Tepatlán de Morelos, parecen consumir más. Esto refuerza la hipótesis de que existe una relación funcional entre consumo eléctrico y otras variables, como puede ser la demografía o la geomorfología.

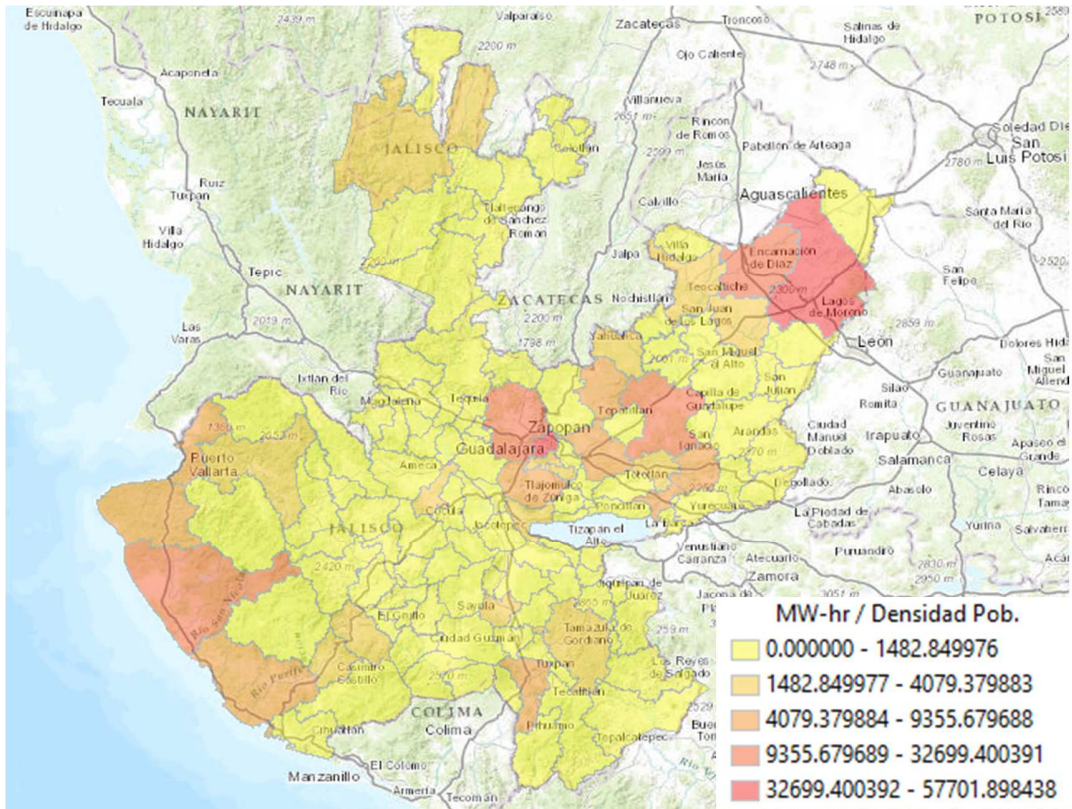


Figura 5.3.3. Mapa de consumo de energía por densidad de población. Elaboración propia con datos de INEGI y CFE 2010.

6. Planteamiento metodológico

6.1 Modelo conceptual

El pensamiento positivista es la base del método científico. Es el nombre que en el siglo XIX el filósofo social Augusto Comte da al estilo científico de acceder al conocimiento. Comte quería que la ciencia trascendiera los debates fútiles sobre los conceptos metafísicos como Dios, el alma, y las esencias eternas. Ahora la era de la ciencia estaba amaneciendo y sería una era positivista donde el pensamiento y la acción podrían basarse en un conocimiento positivo, probado y sistemático.

La investigación así concebida se basa en la construcción de modelos extraídos de la realidad y se caracteriza por el uso de generalizaciones, leyes e instrumentos que ayuden a explicar dicho modelo u objeto de estudio. Es importante señalar que los modelos no existen; a través de la construcción abstracta de dicho modelo o conjunto de modelos, se accede a interpretar secciones de la realidad que responden a un cierto orden (King, Keohane, & Verba, 2000). Las matemáticas, la estadística, las ciencias naturales y las ciencias sociales son disciplinas que proporcionan modelos y metodologías de gran ayuda para la construcción de algoritmos, nuevos modelos para explicar de la realidad y transmitir el conocimiento.

El modelo que se toma como base para entender el problema que aquí se ha planteado supone que el consumo de la energía eléctrica es un fenómeno complejo. Podría definirse de forma simplista a partir de sus elementos físicos o por su estrategia financiera de impacto

para el control de los mercados. Sin embargo, se concibe como parte de un hábitat, en el que sostener el espacio territorial de los recursos y el paisaje, lo determinan los habitantes en su momento cognitivo y sus prácticas a través del tiempo. Esto supone una articulación compleja entre los diferentes componentes del hábitat. Desde este eje motriz se pueden encontrar múltiples contextos que pueden dar pauta a otras unidades de análisis. La dimensión demográfica por tanto, está articulada con la dimensión del habitar cotidiano, y ello se refleja en otras dimensiones ordinarias como el consumo de energía eléctrica (Figura 6.1.1).

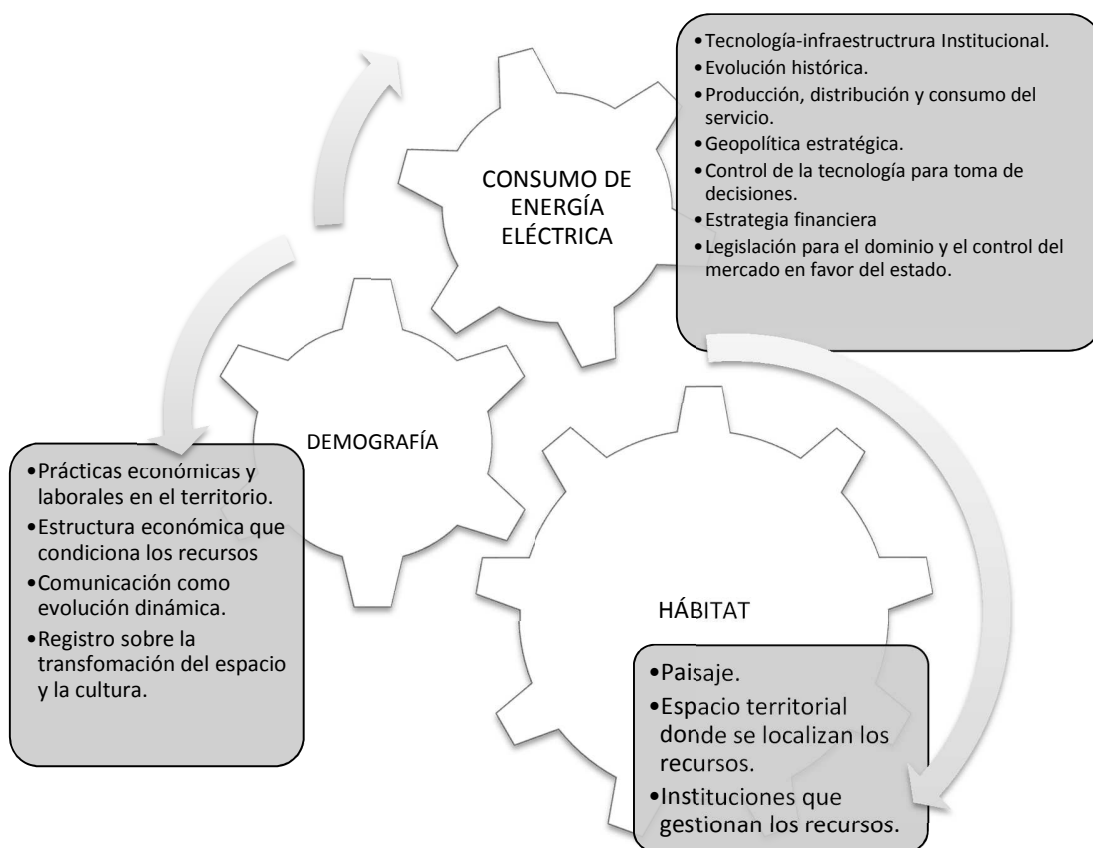


Figura 6.1.1 Modelo para entender la relación entre las variables demográficas que determinan el consumo eléctrico en los municipios del Estado de Jalisco.

Detrás de este modelo hay una estrategia de investigación conocida como Materialismo Cultural, la cual busca estudiar los fenómenos socioculturales enfocándose en las condiciones materiales que determinan la existencia humana (Harris, 1979). La distribución espacial de la sociedad y sus relaciones con el entorno y con los medios de distribución resultan ser un fenómeno complejo que se va transformando en el tiempo: cultura, política, economía y tecnología se articulan como un sistema (Harris, 1997). Así, a medida que el desarrollo de la economía mexicana fue permeando el comercio y los canales de distribución para acceder a los insumos de ciertas regiones, la energía creció en paralelo como un medio para acceder o distribuir los recursos aprovechados de la región. Al mismo tiempo, desde la nacionalización de la industria eléctrica en la década de los treinta y la interconexión de la red con otros estados en la década de los cuarenta (CFE, 1994), el uso de la electricidad fue transformando las relaciones sociales y todos los procesos comerciales del país y sus divisiones. Los procesos demográficos y económicos se volvieron más dinámicos, configurando lo que hoy acontece como ciudades y metrópolis. Por lo tanto, no es trivial cuando se afirma que la red eléctrica ha sido clave en el desarrollo del estado de Jalisco y sus municipios.

La geografía cumple la función de describir los rasgos territoriales, demográficos y económicos que están estrechamente ligados al uso de los recursos naturales y energéticos de una región (GEJ, 1992). En la figura 6.1.2 se observa un modelo que ilustra cómo las dimensiones y unidades de análisis están interrelacionadas. Por ejemplo, el relieve del

Estado de Jalisco ha dado pauta para la distribución de diversos ecosistemas que por sus características climáticas, composiciones del suelo, hidrología superficial y subterránea, han dado lugar a la biodiversidad característica de la región. Así también, favorecido por la morfología del relieve, los asentamientos humanos comenzaron a hacer uso de los recursos de su región, a medida que fue creciendo la población y se expandieron los asentamientos. Pero no solo los pobladores de la región se sirvieron de los recursos: Jalisco y sus territorios están conectados a otras entidades dentro de una federación. Entonces se puede decir que la localización de los pobladores en relación con los recursos, su aprovechamiento y distribución está en función de las necesidades dinámicas de una nación formando complejas visiones geopolíticas de lo sustentable (Elizalde, 2008).

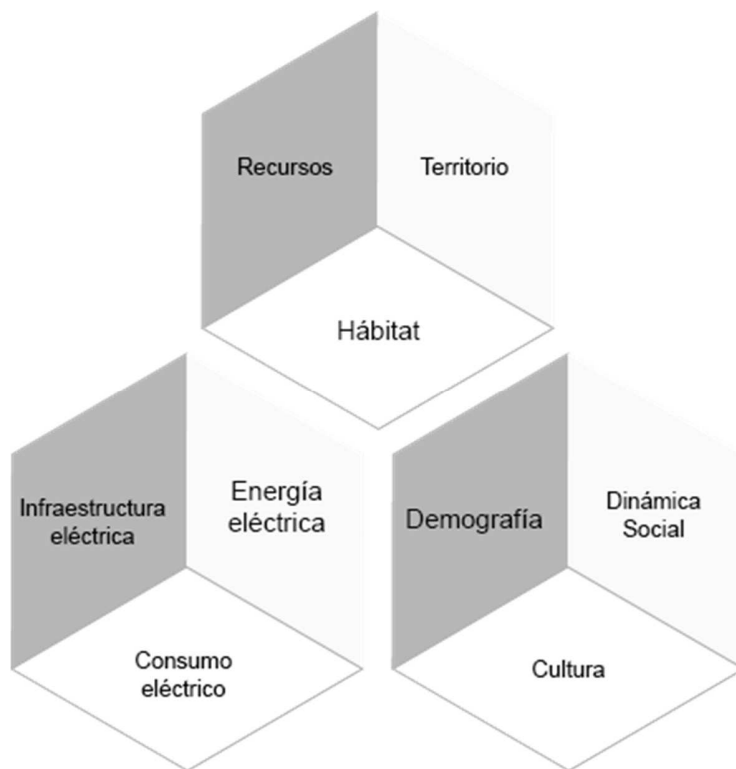


Figura 6.1.2 Modelo heurístico de dimensiones y unidades de análisis de las variables demográficas del consumo eléctrico en los municipios de Jalisco.

Para afrontar esta complejidad de variables interrelacionadas se propone hacer uso de la estadística matemática, disciplina positivista que registra el quehacer cotidiano y aporta elementos cuantitativos para interpretar una parte material de la realidad: el consumo eléctrico. La estadística permite evaluar la influencia de ciertas variables consideradas como independientes, o con cierto grado de correlación, respecto a una variable dependiente. Una subdisciplina de la estadística es la regresión lineal múltiple. Con ella se puede ir discerniendo la relación entre ciertas variables. Por lo tanto, se pueden generar instrumentos o indicadores que expliquen las relaciones de la sociedad con el territorio que habitan.

6.2 Investigaciones sobre regresión aplicada al análisis del consumo eléctrico

Estudios relacionados con el consumo de energía en las ciudades se han realizado en otros países vinculando los temas de la sustentabilidad, métodos estadísticos, demografía y el hábitat usando Sistemas de Información Geográfica (SIG) que son parte fundamental para el monitoreo de este tipo de investigaciones. En primera instancia existe una discusión sobre la integración de los SIG en investigaciones científicas con el fin de obtener las concentraciones de carbono en las ciudades, evaluación sobre las estrategias ante una transición energética, conservación y almacenamiento en uso de energéticos de uso doméstico (Horner 2011, Reiter 2012). Estos pueden resaltar los patrones de consumo que podrían tener impactos a la economía y el medio ambiente para un mejor entendimiento de las sociedades urbanas (Dhakal 2009, Wallemacq et.al. 2011, Friedman y Cooke 2011).

A un nivel más técnico, existen investigaciones que tratan un tema específico. Carlo Ratti et.al. (2004) toma un Modelo Digital de Elevación (MDE) y ayudado de los SIG, le permite conocer el relieve en un espacio de interés en la ciudad. Este MDE puede ser intervenido con las especificaciones de imagen "landsat" que se proporcionan vía satélite y a través de selección de colores puede convertir a algoritmos de patrones de consumo de energía. Otro tema específico es el tratado por Reid Ewing et.al.(2008) en el cual se analiza el uso de energía eléctrica en el ámbito residencial en Estados Unidos en tres aspectos: pérdidas en la transmisión y distribución de la red eléctrica, requerimientos en el sistema (en este caso en las zonas residenciales) y el uso por calefacción o aire acondicionado.

Países con economías emergentes han empezado a despertar interés en el uso de energía es China debido a los cambios en el medio ambiente producto de la actividad industrial (Dhakal 2009, Zhang 2011).

Como se ha planteado, es posible describir los comportamientos o ciertos patrones de comportamiento de la población a través de herramientas tecnológicas y metodologías que ayudan a entender las estructuras. Existen así los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que proporcionan información esquemática a partir de un lugar geográfico. Estos sistemas se alimentan de bases de datos que son proporcionados por instancias gubernamentales u organismos descentralizados como lo son a nivel local INEGI, CONAPO, CONABIO, CFE, Banco de México y en lo global esta World Bank o State of the world.

Por otro lado las metodologías que son de gran ayuda en la rama de la ingeniería es la estadística. Estudios relacionados en relación con el comportamiento de la población se han realizado con gran éxito y han proporcionado elementos para la toma de decisiones (Fumo, 2015; Horner 2011; Ndiaye 2010). Una vez que se tienen los datos cuantitativos, se procesan mediante un modelo y dan una respuesta. También para darle más énfasis al estudio de la población, se hace uso de metodologías como las entrevistas en el campo y un modelo esquemático de actores y agentes.

7. Definición del modelo operacional. Un acercamiento al análisis de regresión múltiple.

El análisis de regresión múltiple es una técnica de análisis multivariable que establece una relación funcional entre una variable dependiente, como puede ser el consumo eléctrico, para explicar su relación con una serie de variables independientes o explicativas, como pueden ser las variables demográficas. Durante el proceso de análisis se estiman coeficientes de determinación o de regresión que determinan el efecto que las variaciones de las variables independientes tienen sobre el comportamiento de la variable dependiente. De ahí que se puedan generar inferencias causales como las que se ha propuesto en este trabajo.

Se basa en el método científico positivista, donde es común establecer relaciones entre variables de la realidad significativas del tipo:

$$Y = f(x) \quad (E7.1)$$

En la ecuación E7.1, la variable de respuesta o dependiente Y , como su nombre lo indica, depende de los valores que pueda tomar la variable independiente x o un conjunto de variables independientes también llamadas regresoras $x_1, x_2 \dots x_k$, no aleatorias, y que pueden medirse, cuantificarse o categorizarse; entre tanto, el símbolo $f()$ indica que es una función algorítmica o un proceso operacional para obtener los valores de la variable Y (Montgomery, 2002). La forma matemática E7.1 es la base general del modelo explicativo y la representación gráfica de una función entre dos o más variables relacionadas que toma formas infinitas (figura 7.1)

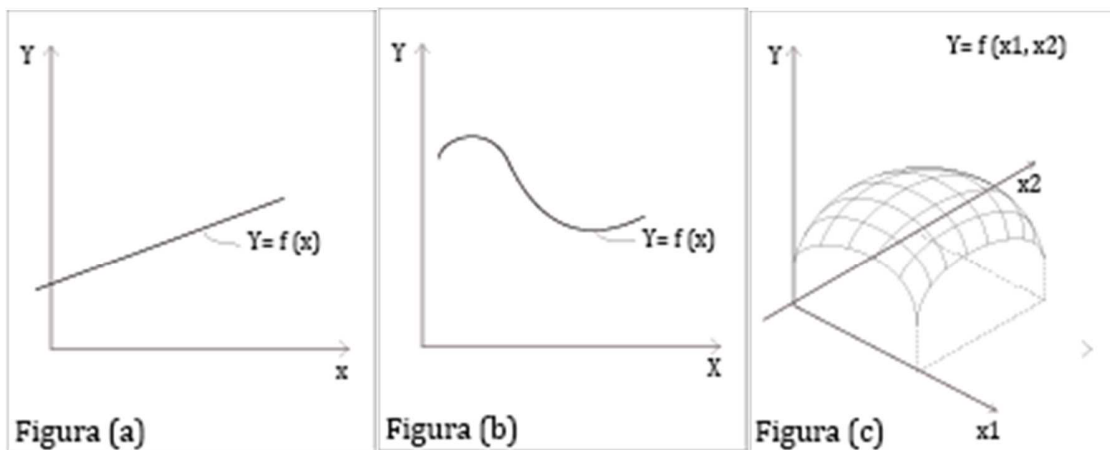


Figura 7.1 Definición de una variable dependiente en función de una variable independiente o regresora. (a) relación lineal, (b) relación no lineal, (c) función en el espacio.

Establecido lo anterior, existen dos tipos de funciones que explican la variable de respuesta en función de la variable independiente: funciones determinística y probabilística. Se sabe que las funciones determinísticas son las que se encuentran en las leyes físicas como la mecánica clásica, el cual están definidas mediante una ecuación y han sido probadas durante años de tal manera que el error en los cálculos asociado a la ecuación es despreciable y pueden predecir eventos en la realidad (Mendenhall, 2003). Sin embargo, obtener una función probabilística, concierne al campo de la estadística inferencial.

La función de probabilidad en estadística inferencial establece un valor esperado o componente determinístico $E(Y)$ sumando un error ε , en los valores que puede tomar la variable Y . Dicho en forma matemática

$$Y = E(Y) + \varepsilon \quad (\text{E7.2})$$

En regresión lineal simple, la forma general básica del valor $E(Y)$ tiene la forma

$$E(Y) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (\text{E7.3})$$

Este modelo determinístico indica que existe un solo valor de x para conocer el valor esperado de Y . Los parámetros desconocidos β_0 y β_1 de regresión aportan información valiosa respecto de las variables. Por tanto sustituyendo la ecuación E7.3 en E7.2 queda

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (\text{E7.4})$$

En esta función de regresión, ε es tratado como una variable aleatoria con distribución normal con media 0. Dicho de otra manera, $E(Y)$ se convierte en la mejor estimación si

$E(\varepsilon) = 0$, representando la serie de puntos que están dentro de una distribución normal y pasan por la recta que hace que el error sea prácticamente cero. La figura 7.2 ayuda a describir las funciones determinística y de probabilidad.

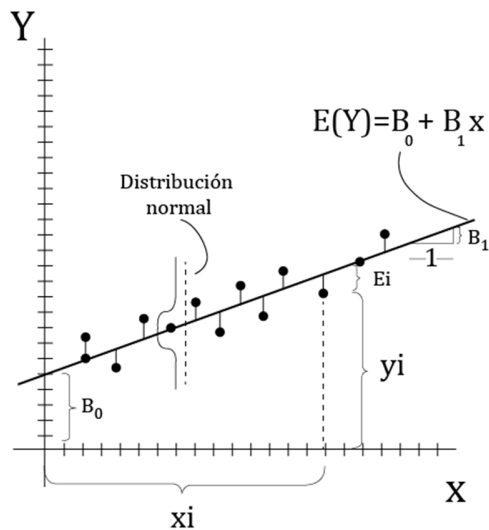


Figura 7.2 Modelo determinístico y de probabilidad. El modelo determinístico es la recta cuando el error es prácticamente cero.

De esta forma, existe el modelo estadístico lineal de dos o más variables independientes x_1, x_2, \dots, x_k con variable de respuesta Y

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (E7.5)$$

Los parámetros β_k son los coeficientes de regresión y ε es la variable del tipo aleatoria con una distribución de probabilidad que asuma la incapacidad de describir el modelo exacto con un valor esperado $E(\varepsilon) = 0$. A este modelo se le llama modelo de regresión múltiple ya que tiene un número k variables de x . El método de mínimos cuadrados es una forma muy útil de encontrar una función $\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \dots + \hat{\beta}_k x_k$ estimadora de $E(Y)$

(valor esperado de Y) y hace que una función se ajuste de manera tal que el error sea prácticamente cero (Gutiérrez, 2003).

Regresión múltiple con algebra de matrices

La forma de trabajar los modelos de varias variables independientes es con algebra de matrices. Si se tiene:

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\epsilon} = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_0 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ x_0 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_0 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

El arreglo de “ n ” ecuaciones que describen el comportamiento de las variables dependientes respecto de las independientes se escriben de manera similar

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\epsilon} \quad (\text{E7.6})$$

Más de dos variables independientes son complicadas de representar en el plano cartesiano, como también es complicado interpretar su realidad física. Programas de computadora como Minitab, SPSS, Statgraphics, entre otros, son herramientas de gran utilidad para tratar los algoritmos que involucran algebra de matrices y obtener el análisis de la varianza que complementa la descripción de la calidad del modelo.

Calidad del modelo de regresión

La manera de evaluar la calidad de los datos ajustados en regresión simple, es por medio del coeficiente de determinación R^2 el cual se calcula de la siguiente manera:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} = 1 - \frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2} \quad (E7.7)$$

Respetando la notación común mostrada por Mendenhall (2003) y Montgomery (2002), la ecuación 7.7 establece como SSE a la suma de cuadrados del error " $\sum(Y - \hat{Y})^2$ " y SST a la suma de cuadrados totales " $\sum(Y - \bar{Y})^2$ " por sus siglas en inglés. El coeficiente de determinación se encuentra entre los valores 0 y 1; por lo regular se interpreta en porcentaje y mide la proporción de los datos medidos de la variable independiente que explica a través de una relación lineal, la variabilidad de la respuesta o variable dependiente.

Para evaluar la calidad del modelo en regresión múltiple de manera adecuada es por medio del análisis de la varianza. En este intervienen también factores como el coeficiente de determinación, de correlación y los estimadores F y t . Estos factores se explican más adelante

7.1 Aplicación de la regresión múltiple al consumo de energía eléctrica en los municipios

Con el interés en explicar los procesos internos de las ciudades, el territorio se suele dividir en componentes más simples tales como bloques, regiones o municipios, zonas de tráfico, rasgos geológicos, edafológicos, infraestructura eléctrica, etc. Los censos estadísticos proporcionados por el INEGI tienen el beneficio de concentrar información actualizada con las características o atributos de las diferentes regiones o municipios. Esta información "fragmentada" por motivos prácticos, puede contener relaciones que nos permitan inferir relaciones causales. Este es el trabajo del investigador.

La manera de organizar la información es por medio de un arreglo de filas y columnas. En el arreglo matricial de variables mostrado en la figura 7.1.1 se colocan las regiones en las filas, y los atributos que describen las características de las diferentes regiones en las columnas. Los atributos de especial interés son aquellos que pueden estar relacionados con el consumo de la energía eléctrica, por tanto en las columnas se van incluyendo tentativamente la densidad de población, cantidad de viviendas, vías comerciales que enlazan regiones, etc.

Atributos								
Municipios	Clave mpal.	Consumo de Energía	Área total	Altitud	Población masculina	Población femenina	...	x ^k
		C_MW_hr	Area_Km^2	Altitud	p_mas	p_fem	...	
	1							
	2							
	3							
...								
n=125								

Figura 7.1.1 Arreglo tipo de organización de la información. Fuente: elaboración propia.

7.2 Definición de variables

Existen tres rubros de interés que se establecen en la hipótesis: población, vivienda y territorio, por tanto en el censo de población y vivienda del INEGI (INEGI 2010) es posible hacer uso de datos fuente para cada municipio para construir una matriz de datos en la que se posibilite hacer construcción de escenarios respecto del modelo explicativo de consumo de electricidad. El método para trabajar los datos se realizó por número de habitantes y diferenciando hombres de mujeres para desagregar los resultados y diferenciar el origen.

En el rubro de la vivienda es posible que se obtengan buenos resultados si también se obtiene el número de viviendas, número de habitantes por vivienda, las zonas en donde está construida y posiblemente establecer características categóricas. En el rubro del comercio puede ayudar el ingreso por municipio, variables categóricas como el tipo de comercio local y caminos construidos para facilitar el intercambio comercial. Como aún no se sabe lo que puede influir, se trata de una exploración de cribado de datos fuente mediante el uso de la metodología de regresión múltiple.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2010) a través de los censos y bases de datos, da a conocer la complejidad de la población, para que a nivel institucional o gubernamental, se puedan realizar estudios multidisciplinarios. Esta compleja información reúne datos cualitativos y cuantitativos de orden socioeconómico, geográficos, territoriales, ambientales entre otros, que pueden ser comparados entre una región y otra.

Con la inquietud de comprender el funcionamiento de la red de energía eléctrica y obtener datos más precisos de Jalisco, es de gran utilidad el banco de datos del INEGI de acuerdo a variables geográficas y territoriales. Más aún, es de gran ayuda para entender en regiones establecidas las causas origen de los consumos de energía con base a variables socioeconómicas como son: nivel económico, uso de suelo, servicios existentes o modelos urbanos a una escala municipal. Entendiendo que la habitabilidad de una ciudad es dinámica, estas segregaciones, han tenido cambios, evolución histórica y desarrollo, que sugiere distintos tipos de atender las necesidades de la ciudad en materia de recursos energéticos ligados a la calidad de vida y a la sustentabilidad. Haciendo referencia al censo

de población y vivienda de 2010, se exponen ciertas características sociodemográficas de la población y viviendas de las localidades del país, a un nivel de área de Geoestadística o municipal.

7.2 Diseño de instrumentos y pruebas

La metodología de regresión múltiple aplicado al consumo de la energía eléctrica permite explorar un gran número de variables demográficas independientes (x_1, x_2, \dots, x_k) extraídas de las mencionadas bases de datos. En respuesta a esta selección, es posible que existan atributos que influyan al consumo de energía y no sean evidentes; por el contrario, aquellos atributos que tengan influencia débil o nula, serán considerados a un proceso de cribado hasta seleccionar el modelo que mejor explique la relación de consumo de energía eléctrica en función de las variables demográficas " $E = f(x)$ ". En la figura 7.2.1 se observa un diagrama de flujo que describe el proceso operacional para seleccionar el modelo.

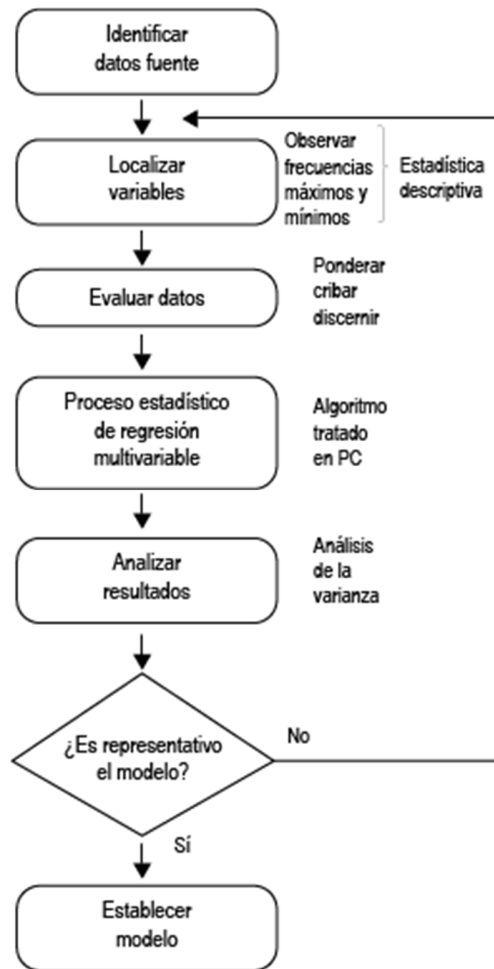


Figura 7.2.1 Diagrama de flujo del proceso operacional. Fuente: elaboración propia.

Se describen las fases de la metodología que aporta en la construcción del modelo explicativo:

Identificar datos fuente

Las variables que fueron procesadas se muestran en la tabla 7.2.1 extraídas del censo de población y vivienda INEGI 2010.

Tabla 7.2.1 Descripción y recursos de información de las variables procesadas (INEGI, 2010)

Variable	Descripción	Fuente	Modalidades
C_MW_hr	Consumo de energía eléctrica a nivel doméstico	CFE 2010	Energía
Área_Km2	Área en km2 que comprende el municipio	INEGI 2010	Geografía
Altitud	Altitud del municipio (msnm)	INEGI 2010	Geografía
p_tot	Población total	INEGI 2010	Población
p_mas	Población masculina	INEGI 2010	Población
p_fem	Población femenina	INEGI 2010	Población
vivpar_hab	Viviendas habitadas particulares	INEGI 2010	Viviendas
viv_hab_col	Viviendas habitadas colectivas	INEGI 2010	Viviendas
Ocup_dep	Ocupantes en departamento o edificio	INEGI 2010	Viviendas
vph_1hab	Viviendas particulares habitadas por un ocupante	INEGI 2010	Viviendas
vph_1-4	Viviendas particulares habitadas por 1-4 ocupante	INEGI 2010	Viviendas
vph_5-8	Viviendas particulares habitadas por 5-8 ocupante	INEGI 2010	Viviendas
vph_9+	Viviendas particulares habitadas por 9+ ocupante	INEGI 2010	Viviendas
hogjef_m	Hogares con jefe masculino	INEGI 2010	Hogares censales
hogjef_f	Hogares con jefa femenina	INEGI 2010	Hogares censales
ocup_part	Ocupantes en viviendas particulares habitadas	INEGI 2010	Viviendas
ocup_col	Ocupantes colectivos	INEGI 2010	Viviendas
Loc_5000	Localidades hasta 5000 habitantes	INEGI 2010	Población
tomEE_dom	Tomas de energía eléctrica domiciliadas	INEGI 2010	Viviendas
tomEE_ndom	Tomas de energía eléctrica no domiciliadas	INEGI 2010	Viviendas
alum_bach	Alumnos matriculados en bachillerato	INEGI 2010	Educación
div	Divorcios	INEGI 2010	Situación conyugal
mat	Matrimonios	INEGI 2010	Situación conyugal
nac_f	Nacimientos femeninos	INEGI 2010	Población
nac_m	Nacimientos masculinos	INEGI 2010	Población
vph_refri	Viviendas particulares habitadas con refrigerador	INEGI 2010	Viviendas
vph_tv	Viviendas particulares habitadas con televisión	INEGI 2010	Viviendas
vph_lavad	Viviendas particulares habitadas con lavadora	INEGI 2010	Viviendas
vph_pc	Viviendas particulares habitadas con PC	INEGI 2010	Viviendas
sup_urb	Superficie de áreas urbanas (km2)	INEGI 2010	Geografía
\$_ener_elec	Valor de las ventas de energía eléctrica	CFE 2010	Energía
Long_carr	Longitud de la red carretera (km)	INEGI 2010	Geografía

Localizar variables

En el archivo anexo a la presente investigación con el nombre “Matriz de datos y resultados variables demográficas”, se puede apreciar el arreglo descrito en la figura 7.1.1 en el apartado 7.1.

Evaluar datos

Se hace un análisis de los resultados parciales arrojados por el programa estadístico Minitab 17 tomando como criterios los parámetros estadísticos T , p , F , R^2 y VIF descritos en los resultados.

Procesamiento y análisis de la información

Existe un interés en encontrar la forma de representar en un modelo matemático la variación del consumo de energía eléctrica en Megawatts hora (Mw-h) en función de los procesos demográficos del territorio habitado en el Estado de Jalisco como se puede apreciar en la figura 5.3.2 donde aparece el mapa con territorios que tienen más consumo de energía eléctrica que otros.

Analizar resultados

Se obtienen gráficas de dispersión, se determinan los coeficientes de correlación del modelo y determinación de cada variable involucrada así como los factores beta que explican los cambios de las variables que afectan el consumo de energía eléctrica y un análisis de la varianza que involucra a las variables demográficas con el consumo de energía

eléctrica y por último el modelo matemático que explica la relación de las variables dependiente e independientes. Se hace uso de un programa de computadora para procesar los datos.

Evaluación del modelo

Se seleccionan las variables más sobresalientes que sustentan la hipótesis en esta fase y se establece el mejor modelo sujeto a la toma de decisiones de la investigación que proporcione información al análisis global de la investigación.

En síntesis, esta etapa positivista de la investigación, las fases del método científico proporciona información importante y particular respecto a la elaboración de las conclusiones que dan soporte a la hipótesis de la investigación: Es posible deducir un modelo explicativo que describa las variables demográficas de consumo eléctrico en el hábitat de los Municipios del Estado de Jalisco.

Entonces en la manera en que se tratan las variables dependiente e independiente se retoma las siguientes preguntas subsidiaria derivada de la hipótesis de la investigación:

¿Qué variables se destacan en la descripción del estudio demográfico respecto al consumo de energía eléctrica?

1. ¿Existe relación entre variables demográficas y el consumo eléctrico?
2. ¿Cómo influyen estas variables en el consumo eléctrico?
3. ¿Cuál es la forma precisa derivada de esta relación?

4. ¿Cuál es el grado de explicación del modelo construido respecto a la realidad?

En la manera que las mediciones realizadas al fenómeno observado se pueden representar mediante gráficos y símbolos como se inscriben patrones de consumo en los mapas de las figuras 5.3.2 y 5.3.3. El producto es una función representativa de la forma arbitraria $E = f(x)$ que describirá para este caso el comportamiento del consumo eléctrico "E" mediante cuatro experimentos y las variables demográficas " x_1, x_2, \dots, x_k " con "C_MWh" de variable dependiente observada. Mediante estrategias matemáticas se asocian números con el grado de relación entre los puntos descritos en la realidad y el modelo construido que en estadística se conocen como el coeficiente de correlación, error asociado y coeficientes beta (Mendenhall, 2003) que describen si las variables demográficas son significativas para el consumo eléctrico a partir del análisis de la varianza y prueba de hipótesis, de manera tal que los parámetros β_k representan cambios en la variable de respuesta.

8. Resultados y discusión

En el archivo anexo de Excel que acompaña la presente investigación se proporciona el nombre y la clave de los municipios, y en los atributos se proporciona las variables demográficas con su código alfanumérico. Se ejecutó un proceso de regresión por partes de mínimos cuadrados con los 125 municipios y 31 atributos como variables regresoras y 1 variable de respuesta que es el consumo de energía eléctrica por año en MW-h de consumo a nivel doméstico. Se muestra a continuación el proceso:

8.1 Primer experimento: método de regresión por mínimos cuadrados y eliminación de términos por pasos

La figura 8.1.1 muestra el análisis de la varianza con los términos que influyen en el consumo de energía eléctrica para los 125 municipios y 31 variables independientes regresoras. Los resultados para cada municipio se localizan en el archivo de Excel anexo.

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	21	7.64343E+11	36397272804	18186.18	0.000
Altitud	1	20655013	20655013	10.32	0.002
p_mas	1	45977455	45977455	22.97	0.000
vph_1hab	1	137607072	137607072	68.76	0.000
vph_1-4	1	36970714	36970714	18.47	0.000
vph_5-8	1	52306653	52306653	26.14	0.000
vph_9+	1	81463434	81463434	40.70	0.000
hogjef_m	1	27608428	27608428	13.79	0.000
hogjef_f	1	36066968	36066968	18.02	0.000
ocup_part	1	28546505	28546505	14.26	0.000
ocup_col	1	67476706	67476706	33.72	0.000
Loc_5000	1	8050352	8050352	4.02	0.048
tomEE_dom	1	314508528	314508528	157.15	0.000
alum_bach	1	27369924	27369924	13.68	0.000
div	1	31771605	31771605	15.87	0.000
mat	1	67066852	67066852	33.51	0.000
nac_m	1	25578275	25578275	12.78	0.001
vph_tv	1	24688337	24688337	12.34	0.001
vph_lavad	1	35050930	35050930	17.51	0.000
vph_pc	1	49225516	49225516	24.60	0.000
sup_urb	1	14742813	14742813	7.37	0.008
s_ener_elec	1	11416511	11416511	5.70	0.019
Error	103	206141146	2001370		
Total	124	7.64549E+11			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1414.70	99.97%	99.97%	97.88%

figura 8.1.1 Resultados Anova para 31 regresores de los cuales solo 21 son representativos.

Para tener una idea clara del modelo representativo, aunque puede que no sea el ideal, se muestra a continuación la ecuación 8.1.1:

Regression Equation

$$\begin{aligned} C_MW_hr = & -0.486 \text{ Altitud} + 2.731 \text{ p_mas} + 16.96 \text{ vph_lhab} - 11.30 \text{ vph_1-4} - 20.44 \text{ vph_5-8} \\ & - 56.35 \text{ vph_9+} - 6.78 \text{ hogjef_m} - 7.58 \text{ hogjef_f} + 2.788 \text{ ocup_part} - 4.184 \text{ ocup_col} \\ & + 6.64 \text{ Loc_5000} + 0.8016 \text{ tomEE_dom} - 1.920 \text{ alum_bach} + 36.84 \text{ div} + 18.91 \text{ mat} \\ & + 12.01 \text{ nac_m} + 4.12 \text{ vph_tv} - 2.003 \text{ vph_lavad} + 1.683 \text{ vph_pc} + 213.6 \text{ sup_urb} \\ & - 0.00773 \text{ \$_ener_elec} \end{aligned}$$

Ecuación 8.1.1 Regresión por mínimos cuadrados y eliminación de variables.

El coeficiente de determinación R^2 señalado en la tabla 8.1.1 indica que 99.97% de las variables demográficas seleccionadas por este método explican la relación entre el consumo de energía eléctrica en MW-h anuales con un error estándar de los residuales de 1414.70 MW-h para el 68% (una desviación estándar σ) de las observaciones y $2 \times 1414.70 = 2829.4$ MW-h para el 95% (dos desviaciones estándar 2σ) de las observaciones.

Se puede observar en la columna “*DF*” de la figura 8.1.1, en el renglón *Regression* que, solo 21 atributos o variables repercuten en el consumo de los 31 analizados. Nombrados en la columna *source* están las 21 variables con un grado de significancia del 95%; esto es, si en la columna *P-Value* el valor $p \geq 0.05$ la variable no es significativa para explicar el consumo. La prueba de Hipótesis de que existan parámetros de variables regresoras con coeficiente 0 se hace con la prueba global del estadístico *F* con 1.84 para 21 grados de libertad en el numerador y 103 grados de libertad en el denominador.¹ Como el valor *F-value* de 18186.18 es mayor que 1.84 y significa que hay evidencia que las variables de la regresión tienen un valor diferente de cero y pueden explicar el modelo. La prueba confirma también en sus

¹ Este criterio es muy utilizado en pruebas de hipótesis para estadística inferencial Montgomery (2002)

valores F individuales más cercanos a 1.84, pues se corre el riesgo de tener un cero como coeficiente en la regresión y es prudente retirarlos del análisis (Lind et.al 2008).

Para eliminar este riesgo se realiza una prueba de hipótesis con distribución de estadístico t para los coeficientes individuales que se tienen en la ecuación. En la figura 8.1.2 aparece la tabla de coeficientes y el estadístico t en la columna *T-Value*.

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Altitud	-0.486	0.151	-3.21	0.002	3.13
p_mas	2.731	0.570	4.79	0.000	183315.51
vph_1hab	16.96	2.05	8.29	0.000	4762.24
vph_1-4	-11.30	2.63	-4.30	0.000	317615.33
vph_5-8	-20.44	4.00	-5.11	0.000	234506.29
vph_9+	-56.35	8.83	-6.38	0.000	10282.88
hogjef_m	-6.78	1.82	-3.71	0.000	255983.78
hogjef_f	-7.58	1.79	-4.25	0.000	34377.30
ocup_part	2.788	0.738	3.78	0.000	1290079.16
ocup_col	-4.184	0.721	-5.81	0.000	58.53
Loc_5000	6.64	3.31	2.01	0.048	10.13
tomEE_dom	0.8016	0.0639	12.54	0.000	1069.94
alum_bach	-1.920	0.519	-3.70	0.000	837.22
div	36.84	9.25	3.98	0.000	392.58
mat	18.91	3.27	5.79	0.000	676.42
nac_m	12.01	3.36	3.57	0.001	2994.62
vph_tv	4.12	1.17	3.51	0.001	191920.38
vph_lavad	-2.003	0.479	-4.18	0.000	23853.89
vph_pc	1.683	0.339	4.96	0.000	3914.13
sup_urb	213.6	78.7	2.71	0.008	271.64
§_ener_elec	-0.00773	0.00324	-2.39	0.019	216.52

figura 8.1.2 Coeficientes para 21 variables regresoras representativas.

La Hipótesis nula $H_0: \beta=0$ de obtener en la población un coeficiente igual a cero está determinado por el valor $-1.984 \leq t \leq 1.984$. Dado que en la columna “*T-Value*” se puede observar que no existe un solo valor en la región de rechazo, parece que se rechaza la hipótesis de que exista un valor cero, por tanto todas las variables tienen repercusión en el modelo. Sin embargo, las variables que se encuentran cerca de la región de rechazo son las

localidades de los municipios hasta 500 habitantes (*Loc_5000*) y las ventas de energía eléctrica (*\$_ener_elec*); se decidió retirarlas del análisis en función de reducir el error estándar del modelo.

Otro punto importante a considerar en la selección del modelo de regresión, son las variables regresoras que son redundantes en la explicación del consumo de energía eléctrica, esto en estadística se llama variables colineales. La gran mayoría de los modelos de regresión están sujetos a multicolinealidad y para manejar esta definición existe la columna *VIF* que es el factor de inflación de la varianza por sus siglas en inglés. Como valor límite se establece que un $VIF=10$ este dentro de los valores manejables (Lind et.al 2008). En la figura 8.1.2 se aprecia un problema de multicolinealidad entre variables destacando una de las variables como los ocupantes particulares (*ocup_part*) con un $VIF = 1290079.16$ con otras, esto lleva a la conclusión que el modelo debe formarse por componentes principales que sean independientes además de cumplir con las reglas que ya se mencionaron.

Los municipios con un consumo ajustado con error alto respecto a lo observado o error estándar alto aparecen en la figura 8.1.3, y en la figura 8.1.4 se muestran las gráficas de residuales.

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	C_MW_hr	Fit	Resid	Std Resid		
2	7144	4808	2336	2.11	R	
39	684634	684794	-160	-2.94	R	X
53	51228	51661	-433	-0.64		X
61	1701	2354	-653	-1.00		X
65	4114	7185	-3071	-2.20	R	
67	179781	178210	1571	4.92	R	X
70	57934	59252	-1318	-3.72	R	X
93	51168	50824	344	0.41		X
97	115594	115602	-8	-0.07		X
98	315085	315071	14	0.12		X
101	23362	23827	-465	-3.40	R	X
102	6978	1478	5500	3.91	R	
116	7382	4505	2877	2.12	R	
120	359029	359003	26	0.50		X
125	5194	451	4743	3.71	R	

R Large residual
X Unusual X

Figura 8.1.3 Observaciones inusuales entre el consumo de energía y el consumo de energía ajustado.

La figura 8.1.3 muestra también observaciones que están fuera del error estándar de la regresión y que por tanto no son efectivas para el análisis de regresión por este método.

La gráfica de probabilidad normal y el histograma de la figura 8.1.4, muestra una distribución de residuales uniforme salvo dos observaciones a la derecha de la línea, siendo estos las observaciones 125 y 102 correspondientes a los municipios de San Ignacio Cerro Gordo y Tonaya respectivamente. Se aprecia también en la figura 8.1.4, en la parte superior derecha, el consumo de energía eléctrica ajustado y el residual observando una tendencia a cerrarse al final de la gráfica.

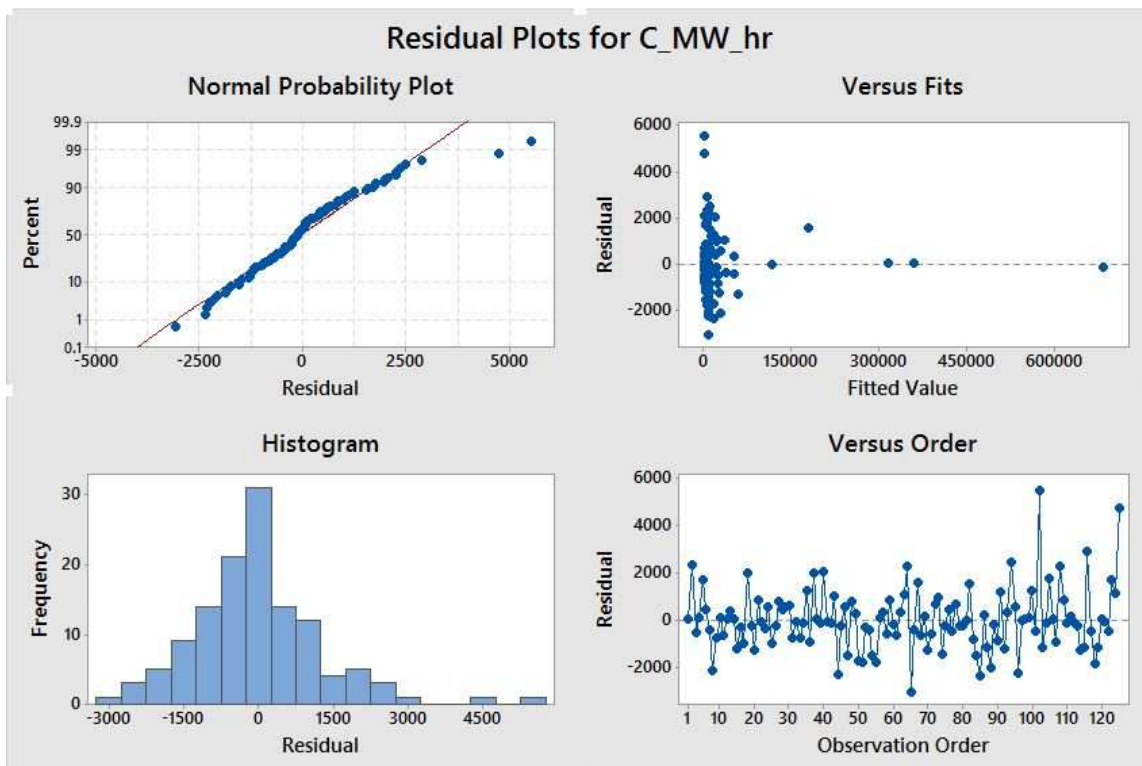


Figura. 8.1.4 Gráfica de residuales.

Por tanto, con el objetivo de mejorar el modelo presentado en esta primera regresión los elementos que ponen de manifiesto coeficientes cercanos a la región de rechazo, municipios con residuo alto e inconsistente en el valor ajustado de energía eléctrica, multicolinealidad entre variables, se prosigue a ajustar el análisis y realizar una nueva regresión procurando añadir sólo aquellas variables que tengan correlación aceptable.

8.2 Segundo experimento eliminando variables regresoras con factor de inflación de la varianza alto y municipios que tienen comportamiento atípico

Se muestra en la figura 8.2.1 el análisis de factores principales seleccionando la variable dependiente con un valor mayor de 0.110 en cada columna y seleccionando las variables

independientes de tal manera que el cociente sea mayor a 0.06. Este valor fue una selección arbitraria por el investigador (Ndiaye, 2010).

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
C_MW_hr	0.232	-0.128	0.042	-0.197	-0.081	-0.059	-0.192	0.120	-0.038	0.439
Altitud	0.016	0.312	-0.884	-0.345	-0.012	-0.020	0.018	0.010	0.001	0.007
p_mas	0.239	0.042	-0.004	0.061	0.045	-0.058	0.018	-0.124	0.086	0.016
vph_1hab	0.238	-0.029	0.027	-0.046	0.070	-0.029	0.214	0.251	-0.047	-0.142
vph_1-4	0.238	0.025	0.009	0.022	0.125	0.036	0.190	0.163	0.139	-0.106
vph_5-8	0.237	0.046	-0.010	0.065	0.102	0.217	0.047	-0.098	0.193	-0.079
vph_9+	0.235	0.018	-0.032	0.072	0.006	0.434	0.198	-0.598	-0.425	-0.175
hogjef_m	0.238	0.051	0.003	0.053	0.105	-0.049	0.031	-0.007	0.172	-0.046
hogjef_f	0.238	-0.037	0.014	-0.045	-0.050	-0.195	0.118	0.015	-0.092	0.025
ocup_part	0.238	0.033	-0.005	0.047	0.100	0.158	0.132	-0.037	0.102	-0.092
ocup_col	0.133	0.258	-0.180	0.727	-0.529	0.054	0.010	0.206	0.005	0.123
Loc_5000	0.012	0.808	0.423	-0.347	-0.209	0.045	0.034	0.023	-0.018	-0.005
tomEE_dom	0.228	-0.108	0.021	-0.173	0.066	0.604	-0.047	0.334	0.272	0.207
alum_bach	0.234	-0.086	0.030	-0.099	-0.137	-0.339	0.017	-0.124	-0.034	-0.093
mat	0.236	-0.027	0.001	-0.050	-0.169	-0.177	-0.489	-0.184	0.355	-0.455
div	0.188	-0.330	0.019	-0.329	-0.628	0.118	-0.029	0.139	-0.306	-0.104
nac_m	0.239	0.038	0.011	0.011	0.009	-0.087	-0.231	-0.431	0.084	0.628
vph_tv	0.239	0.024	0.002	0.026	0.063	-0.092	0.051	0.026	0.123	-0.074
vph_lavad	0.239	0.024	0.005	0.017	0.061	-0.131	0.078	0.084	0.122	-0.089
vph_pc	0.236	0.008	0.020	-0.012	0.131	-0.354	0.419	0.122	-0.234	0.157
sup_urb	0.226	0.159	-0.008	0.136	0.377	0.019	-0.571	0.285	-0.563	-0.102

Figura 8.2.1. Tabla de análisis de factores principales. Elaboración propia con datos del INEGI 2010

Una vez que se seleccionaron los factores principales, se realiza una prueba de colinealidad.

El criterio tomado en la literatura estadística es que una correlación entre variables con valor mayor a 0.7 es fuerte y por tanto se debe decidir por una de las dos variables. La figura 8.2.2 muestra la prueba de colinealidad habiendo dejado las variables regresoras que presentan una correlación fuerte entre sí como lo pueden ser bph_pc, div, sup_urb, mat

Correlation: C_MW_hr, Area_Km^2, Altitud, ocup_col, div, sup_urb, vph_pc, mat

	C_MW_hr	Area_Km^2	Altitud	ocup_col	div	sup_urb	vph_pc
Area_Km^2	-0.041 0.660						
Altitud	0.045 0.627	-0.416 0.000					
ocup_col	0.390 0.000	-0.089 0.335	0.064 0.484				
div	0.887 0.000	-0.081 0.379	0.029 0.756	0.276 0.002			
sup_urb	0.859 0.000	-0.023 0.801	0.079 0.391	0.574 0.000	0.546 0.000		
vph_pc	0.956 0.000	-0.029 0.750	0.054 0.557	0.509 0.000	0.735 0.000	0.947 0.000	
mat	0.980 0.000	-0.051 0.578	0.073 0.431	0.548 0.000	0.843 0.000	0.897 0.000	0.970 0.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Figura 8.2.2. Tabla de correlación. Elaboración propia con datos del INEGI 2010

La tabla 8.2.2 presenta también la interacción entre la variable dependiente con las regresoras. Es de esperarse una fuerte correlación, ya que al contrario de la correlación entre variables independientes, una correlación mayor a 0.7 indica que la variable independiente en cuestión y la dependiente es significativa para obtener un buen modelo. Con todo y esto se procede a realizar la regresión y evaluar los resultados.

En la figura 8.2.3 se muestra en análisis de la varianza habiendo dejado solo las variables que cumplieron ciertos criterios descritos en el apartado anterior: ocupantes colectivos, divorcios, superficie urbanizada, altitud, área del municipio, viviendas particulares que cuentan con computadora y matrimonios.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	7	6.32217E+11	90316763585	17008.95	0.000
ocup_col	1	4328337601	4328337601	815.14	0.000
div	1	6207253039	6207253039	1168.98	0.000
sup_urb	1	2100258760	2100258760	395.53	0.000
Altitud	1	19320691	19320691	3.64	0.059
Area_Km^2	1	32419055	32419055	6.11	0.015
vph_pc	1	874949067	874949067	164.78	0.000
mat	1	280395438	280395438	52.81	0.000
Error	112	594714887	5309954		
Total	119	6.32812E+11			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2304.33	99.91%	99.90%	97.79%

Figura 8.2.3. Tabla ANOVA para 7 variables regresoras y 120 municipios.

Esto da lugar a un modelo más simple con solo 7 variables regresoras y 120 observaciones.

El grado de explicación en de $R^2 = 99.9\%$ de las variables seleccionadas, un estadístico F elevado, apreciando que la variable Altitud no es significativa dado que el valor $p > 0.05$. En la figura 8.2.4 se confirma esta condición dado que el estadístico T de -1.91 ; se localiza en la región de rechazo dado que $-1.984 \leq t \leq 1.984$. Se observa que el factor de inflación de la varianza baja sustancialmente.

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
ocup_col	-6.581	0.231	-28.55	0.000	2.24
div	108.19	3.16	34.19	0.000	17.20
sup_urb	924.5	46.5	19.89	0.000	31.73
Altitud	-0.409	0.214	-1.91	0.059	2.28
Area_Km^2	0.843	0.341	2.47	0.015	1.88
vph_pc	0.7102	0.0553	12.84	0.000	37.19
mat	14.77	2.03	7.27	0.000	86.07

Figura 8.2.4 Coeficientes de la regresión para el segundo experimento.

Los gráficos de residuales y probabilidad normal se localizan en la figura 8.2.5. El error estándar aumenta a 2304.33 MWh respecto del experimento anterior de 1414.7 MWh, esto se aprecia en la gráfica de porcentajes dado que se observa un patrón de ondulaciones de las observaciones sobre la línea roja que representa la media del error. El histograma sigue un patrón de distribución normal y el residuo respecto a los valores ajustados concentra muchos valores juntos hasta continuar por los últimos dos municipios con mucho consumo de energía que alargan la escala y no se aprecian los datos a la izquierda.

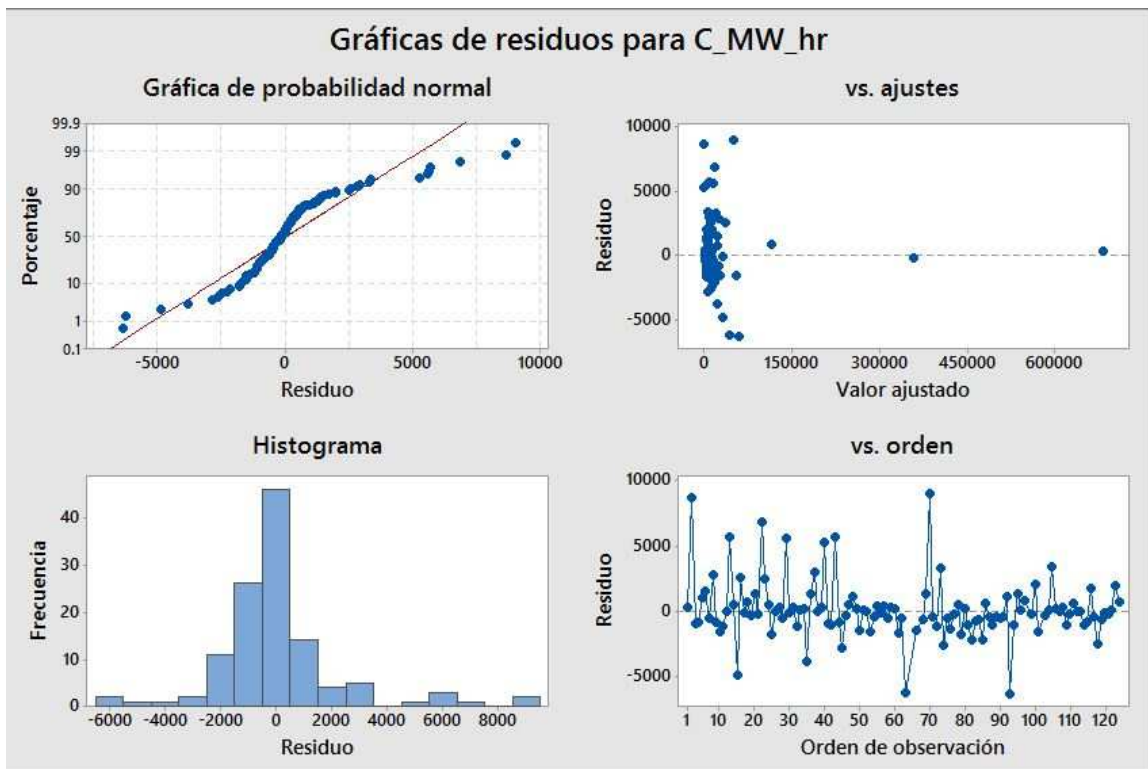


Figura 8.2.5 Gráfico de residuales de la regresión 2.

Y la ecuación 8.2.1 de regresión se muestra a continuación.

Ecuación de regresión

$$C_MW_hr = -6.581 \text{ ocup_col} + 108.19 \text{ div} + 924.5 \text{ sup_urb} - 0.409 \text{ Altitud} + 0.843 \text{ Area_Km}^2 + 0.7102 \text{ vph_pc} + 14.77 \text{ mat}$$

Ecuación 8.2.1 Ecuación de regresión del segundo experimento.

Son 16 los valores atípicos y con residual alto, sin embargo cabe destacar la presencia de colinealidad entre variables dado que valores de consumo de energía eléctrica ajustado muestra valores negativos. Esto significa que existen variables correlacionadas redundantes, como ya se expuso, al sumarse algebraicamente provocan el cambio de signo. Este error es común en la regresión pero se considera importante mostrarlo en la figura 8.2.6.

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	C_MW_hr	Ajuste	Resid	Resid est.		
2	7144	-1459	8603	3.79	R	
13	20671	15056	5615	2.48	R	
15	24616	29486	-4870	-2.16	R	
22	22417	15611	6806	2.99	R	
29	9247	3672	5575	2.44	R	
39	684634	684340	294	2.27	R	X
40	2378	-2877	5255	2.31	R	
43	13249	7591	5658	2.55	R	
53	51228	52852	-1624	-0.91		X
63	35708	41923	-6215	-2.76	R	
70	57934	48954	8980	4.37	R	X
93	51168	57518	-6350	-3.03	R	
97	115594	114803	791	0.71		X
100	14522	12532	1990	0.97		X
101	23362	24906	-1544	-4.33	R	X
120	359029	359195	-166	-0.82		X

Residuo grande R
X poco común X

Figura 8.2.6 Tabla de observaciones poco comunes.

La observación 2 y 40 con -1459 y -2877 respectivamente indican que los resultados en la tabla de consumo ajustado contienen al menos un valor negativo. Es importante destacar todos los beneficios de la regresión lineal múltiple, sin embargo, se corre el riesgo de mostrar resultados que estén fuera de la realidad desconociendo alguna de las suposiciones que se muestran a continuación (Lind et.al, 2008):

1. **Existencia de relación lineal** ya que debe ser una relación directa entre la variable dependiente y el conjunto de variables regresoras o independientes.
2. **Presentar homoscedasticidad:** la variación de los residuos debe ser la misma en un dominio de valores.
3. **Los residuos siguen la forma de probabilidad normal.**
4. **Las variables deben ser independientes** y por tanto no estar correlacionadas para prevenir redundancia de valores.
5. **Los residuos son independientes** y al graficar respecto a la variable ajustada deben estar distribuidos aleatoriamente.

Después de varias pruebas, se realizó una nueva regresión teniendo en cuenta las suposiciones anteriores dando paso a un nuevo análisis.

8.3 Tercer experimento retirando los municipios con un comportamiento atípico y las variables regresoras cercanas a la región de rechazo:

Se realiza nuevamente una prueba de colinealidad para asegurar que se tienen variables independientes que expliquen un rubro respecto a las otras variables de forma

independiente. En las figura 8.3.1 se muestran las variables Altitud, ocupantes colectivos, divorcios y superficie urbanizada. Cabe señalar también que la variable dependiente “C_MW_hr” consumo de energía eléctrica por municipio a nivel doméstico, presenta fuerte correlación con las variables de divorcios y superficie urbanizada. Se espera que estos dos regresores tengan un estadístico t mayor que la altitud y los ocupantes colectivos. Respecto al factor de inflación, se espera también bajo debido a la baja correlación entre variables independientes.

Correlation: C_MW_hr, Altitud, ocup_col, div, sup_urb

	C_MW_hr	Altitud	ocup_col	div
Altitud	0.045 0.627			
ocup_col	0.390 0.000	0.064 0.484		
div	0.887 0.000	0.029 0.756	0.276 0.002	
sup_urb	0.859 0.000	0.079 0.391	0.574 0.000	0.546 0.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Figura 8.3.1. Tabla ANOVA para 4 variables regresoras y 120 municipios.

En las figuras 8.3.2 y 8.3.3 se muestra el análisis de la varianza ANOVA y la tabla de los coeficientes respectivamente, retirando los municipios con un patrón atípico. En este análisis solo se incorporaron las variables que mostraron poca colinealidad, tales como Ocupantes colectivos (ocup_col), Divorcios (div), Superficie urbanizada (sup_urb) y Altitud.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	4	6.30076E+11	1.57519E+11	6621.08	0.000
ocup_col	1	5646952306	5646952306	237.36	0.000
div	1	1.43516E+11	1.43516E+11	6032.47	0.000
sup_urb	1	1.11381E+11	1.11381E+11	4681.74	0.000
Altitud	1	442449999	442449999	18.60	0.000
Error	115	2735912734	23790546		
Total	119	6.32812E+11			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4877.56	99.57%	99.55%	80.92%

Figura 8.3.2. Tabla ANOVA para 4 variables regresoras y 120 municipios.

Se tiene un estadístico F alto, las 4 variables elegidas son representativas en la población ya que el valor p o P -Value está por debajo de 0.05, el 68% de los datos ajustados tiene una variabilidad de 4877.56 MW-h con un ajuste R^2 de la variable dependiente respecto a las 4 variables regresoras del 99.55%, incluso, la capacidad de predecir consumo de energía eléctrica para nuevas observaciones es de R^2 ($predictiva$) = 80.92%. El valor estadístico F de la variable altitud es bajo y por lo tanto se puede retirar del análisis pero no se considera un regresor ocioso, incluso el estadístico T en la tabla 8.3.3 se aprecia esta misma característica.

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
ocup_col	-6.252	0.406	-15.41	0.000	1.55
div	151.02	1.94	77.67	0.000	1.45
sup_urb	1798.4	26.3	68.42	0.000	2.26
Altitud	-1.403	0.325	-4.31	0.000	1.17

Figura 8.3.3 Coeficientes de la regresión con solo 4 variables.

El estadístico T muestra un valor bajo en la variable Altitud aunque está fuera de los límites $-1.980 \leq t \leq 1.980$. El factor de inflación para las cuatro variables es aceptable y se sugiere realizar una nueva regresión con interacciones para futuras investigaciones.

Ahora es posible hacer comentarios respecto de la ecuación del modelo con las cuatro variables lineales, independientes entre sí que explican el consumo de la energía eléctrica en 120 Municipios del estado de Jalisco representada en la ecuación 8.3.1.

Ecuación de regresión

$$C_{MW_{hr}} = -6.252 \text{ ocup}_{col} + 151.02 \text{ div} + 1798.4 \text{ sup}_{urb} - 1.403 \text{ Altitud}$$

Ecuación 8.3.1 Ecuación de regresión con 4 variables regresoras.

Con el gráfico de residuales en la figura 8.3.4 y con base a la figura 8.3.2 se puede apreciar el aumento de variabilidad del residuo (error estándar) e incluso ahora es mayor llegando a 4877.56 conservando una distribución normal de los datos hasta obtener un error estándar de 9755.12 MWh para el 95% de las observaciones.

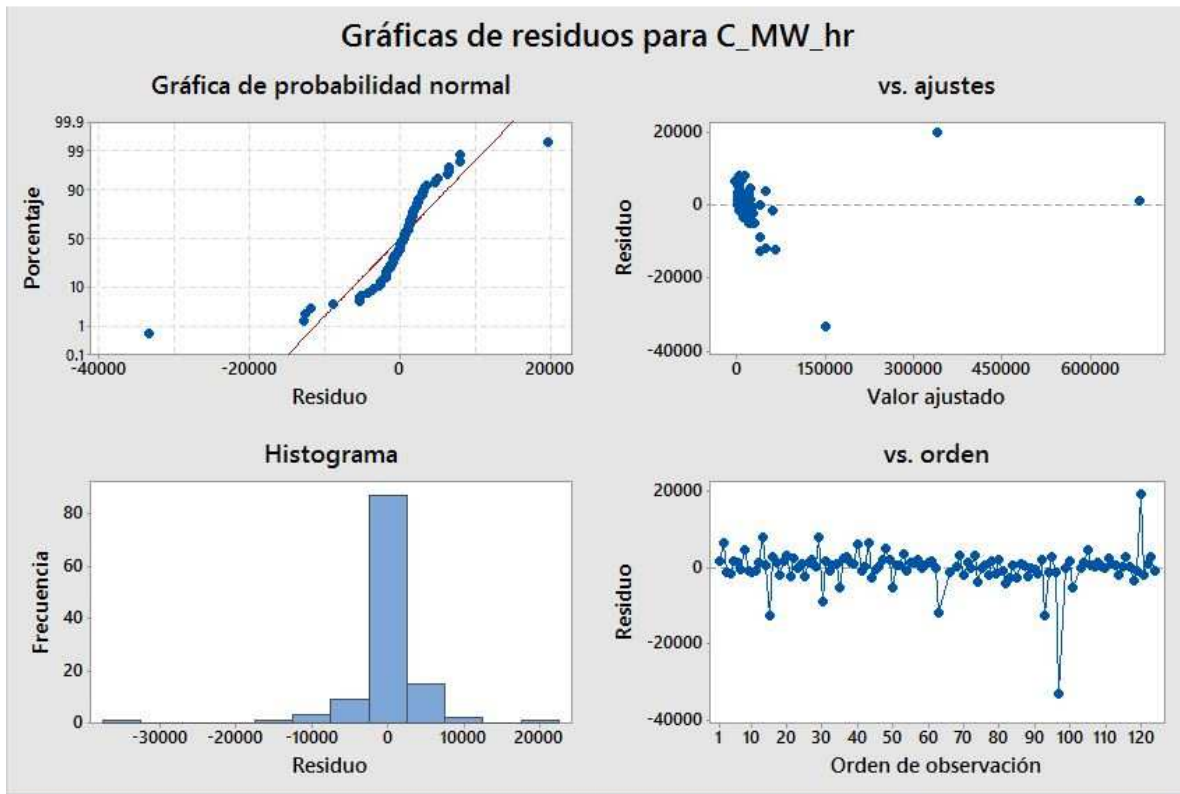


Figura 8.3.4 Gráficos de residuales.

Las observaciones inusuales se enlistan en la figura 8.3.5. El municipio que presenta mayor error entre lo observado y lo calculado por la ecuación 8.3.1 es el municipio de Teuchitlán con 33294 MWh que está fuera de los límites del error estándar. Si estos datos atípicos se retiran de la investigación, aparece un diagrama de error respecto al ajustado más distribuido. Este error asociado al municipio puede ser debido a que las características de la población que habita en esta región no coinciden con otros municipios de sus mismas características. Esto tiene una influencia respecto al análisis de la regresión ya que tiende a equilibrar los ajustes y por tanto obtener un error estándar alto.

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	C_MW_hr	Ajuste	Resid	Resid est.		
15	24616	37286	-12670	-2.61	R	
39	684634	683489	1145	3.72	R	X
63	35708	47620	-11912	-2.46	R	
93	51168	63657	-12489	-2.59	R	
97	115594	148888	-33294	-7.39	R	X
101	23362	28618	-5256	-6.02	R	X
120	359029	339421	19608	8.64	R	X

Residuo grande R
X poco común X

Figura 8.3.4 Observaciones inusuales.

Esta última regresión representa el objetivo central de esta investigación. Se podrían realizar otras en futuras investigaciones considerando estas recomendaciones:

1. Hacer una agrupación de las variables regresoras, ya sea por nivel socioeconómico, demográficas, ambientales, habitacionales
2. Detectar más variables influyentes que aporten información a la regresión y puedan explicar el consumo con más precisión.

El método de mínimos cuadrados ponderados aporta información importante en las técnicas de regresión múltiple.

8.4 Cuarto experimento: método de mínimos cuadrados ponderados

A fin de bajar la variabilidad del residuo o error estándar, existe la técnica de mínimos cuadrados ponderados, el cual tiene el objetivo de dividir por grupos las observaciones con alto consumo de otras observaciones, multiplicar el error estándar por un factor para cada grupo a fin de darle menor importancia a las observaciones con comportamientos atípicos

sin dejar de tomar en cuenta los valores de las variables regresoras que tienen influencia en la regresión. Así se podrían considerar los 125 municipios esperando un error estándar más bajo.

El método de mínimos cuadrados ponderados tiene la función de estabilizar la varianza del error estándar ε en relación los supuestos a la homocedasticidad, limitar la influencia de observaciones inusuales tratando de no eliminar esas observaciones de la regresión (Torres, 2015). El concepto básico es el siguiente:

$$WSSE = \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Con error estándar

$$\varepsilon_i = \sqrt{w_i} (y_i - \hat{y}_i)$$

En donde w_i se obtiene agrupando las observaciones y calculando la raíz del inverso de la media de la variable independiente (Mendenhall, 2003; Montgomery, 2002; Torres, 2015).

En la tabla 8.4.1 se muestra el análisis de la varianza mediante el procedimiento de mínimos cuadrados ponderados agrupando municipios que presentan áreas urbanas similares.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	641535295	128307059	668.32	0.000
sup_urb	1	8413938	8413938	43.83	0.000
div	1	10427101	10427101	54.31	0.000
Altitud	1	616452	616452	3.21	0.076
ocup_col	1	1500658	1500658	7.82	0.006
vph_5-8	1	12393116	12393116	64.55	0.000
Error	120	23038142	191985		
Total	125	664573437			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
438.160	96.53%	96.39%	95.62%

Figura 8.4.1 Análisis de la varianza por mínimos cuadrados ponderados.

El método de regresión sigue siendo de eliminación de variables quedando solo la superficie urbanizada y los divorcios como variables regresoras. En este experimento se destaca la mejoría en el coeficiente de determinación para predecir futuras observaciones y una disminución significativa en el error estándar de $\sigma=438.160$ MWh anuales para el 68% de las observaciones y $2\sigma=1,083.092$ MWh en el 95% de las observaciones.

En la figura 8.4.2 se observan los coeficientes de la regresión. El estadístico T es significativo para las dos variables, aunque la variable superficie urbanizada representa un peso mayor.

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
sup_urb	740	112	6.62	0.000	13.73
div	98.2	13.3	7.37	0.000	2.40
Altitud	-0.359	0.200	-1.79	0.076	2.48
ocup_col	-2.552	0.913	-2.80	0.006	1.36
vph_5-8	2.165	0.269	8.03	0.000	12.71

Figura 8.4.2 Análisis de la varianza por mínimos cuadrados ponderados.

El factor de inflación de la varianza se mantiene estable aunque un poco elevado para sup_urb y bph_5-8, pero con buen grado de explicación y a continuación, se presenta la ecuación de regresión 8.4.1.

Regression Equation:

$$C_MW_hr = 740 \text{ sup_urb} + 98.2 \text{ div} - 0.359 \text{ Altitud} - 2.552 \text{ ocup_col} + 2.165 \text{ vph_5-8}$$

Ecuación 8.4.1 Ecuación de regresión.

Se destaca que esta ecuación comprende a los 125 municipios. En la figura 8.4.3 se observa el gráfico de residuales respecto a los valores observados, la gráfica de probabilidad normal y el porcentaje del error de las observaciones.

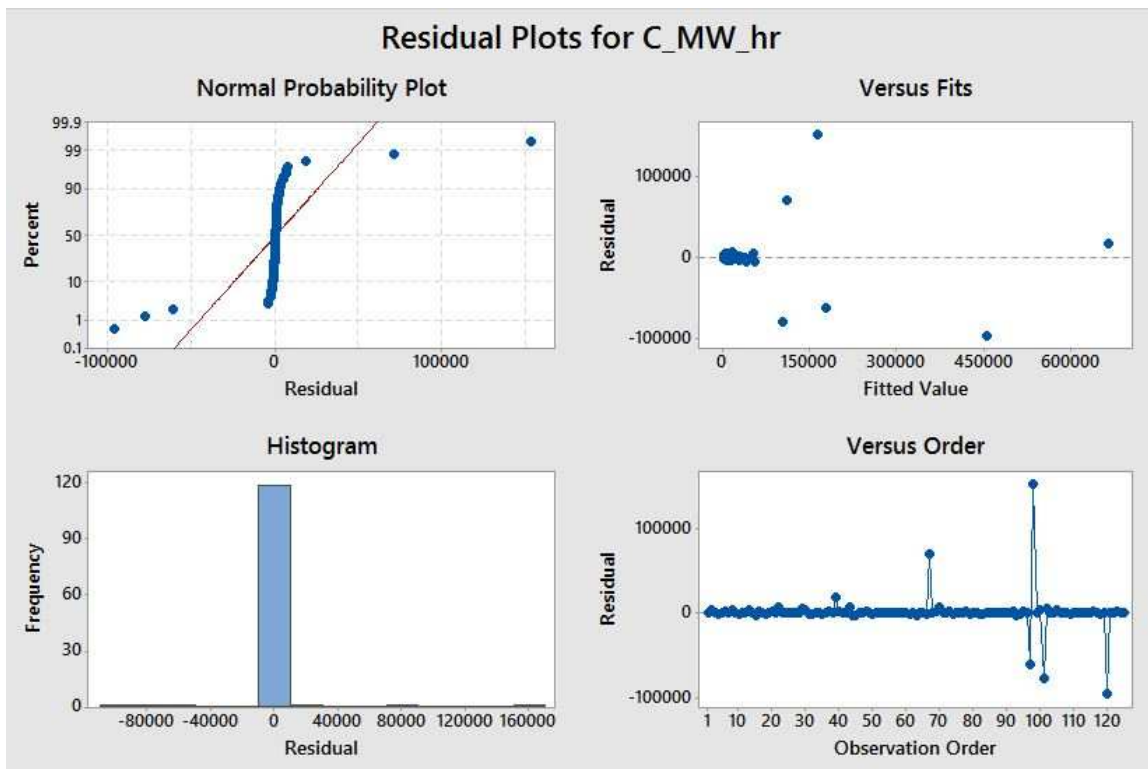


Figura 8.4.3 Gráficos de residuales.

Se puede observar en el gráfico de porcentual, valores más dispersos de la media del error. Sin embargo el error estándar es de 438.160 MWh anuales, que es más bajo que los experimentos anteriores. En síntesis, existe mayor variabilidad respecto de la media de los valores ajustados pero con un error menor, lo que hace acercarse más al consumo de energía eléctrica observado. En la figura 8.4.5 Se observa la gráfica del error o residual respecto al consumo de energía observado, en el cual se puede comparar con el gráfico de la parte superior derecha de la figura 8.4.3. Esto indica una cierta similitud entre las dos gráficas y denotando que los valores con mucho consumo de energía les da menor importancia aunque se puedan apreciar más dispersos, pues estos valores son los municipios de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG).

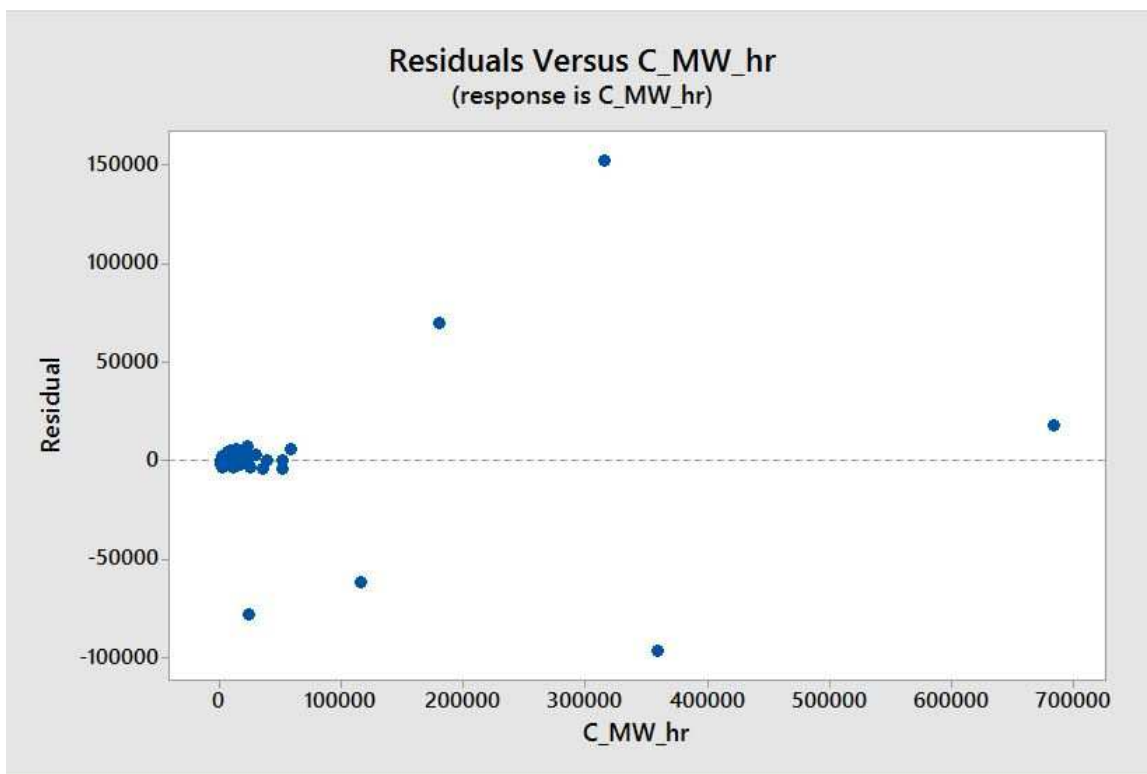


Figura 8.4.5 Gráficos del error estándar vs consumo de energía observado

Considerado esto, se muestra en la figura 8.4.6 la gráfica del consumo de energía eléctrica observado, respecto al calculado por la ecuación 8.4.1. Se puede observar una línea de tendencia casi lineal. Esto hace un buen ajuste considerando que el consumo elevado en la ZMG tiene una influencia menor en la regresión sin dejar de considerar los datos contenidos en estos municipios, debido a los beneficios de la técnica de mínimos cuadrados ponderados.

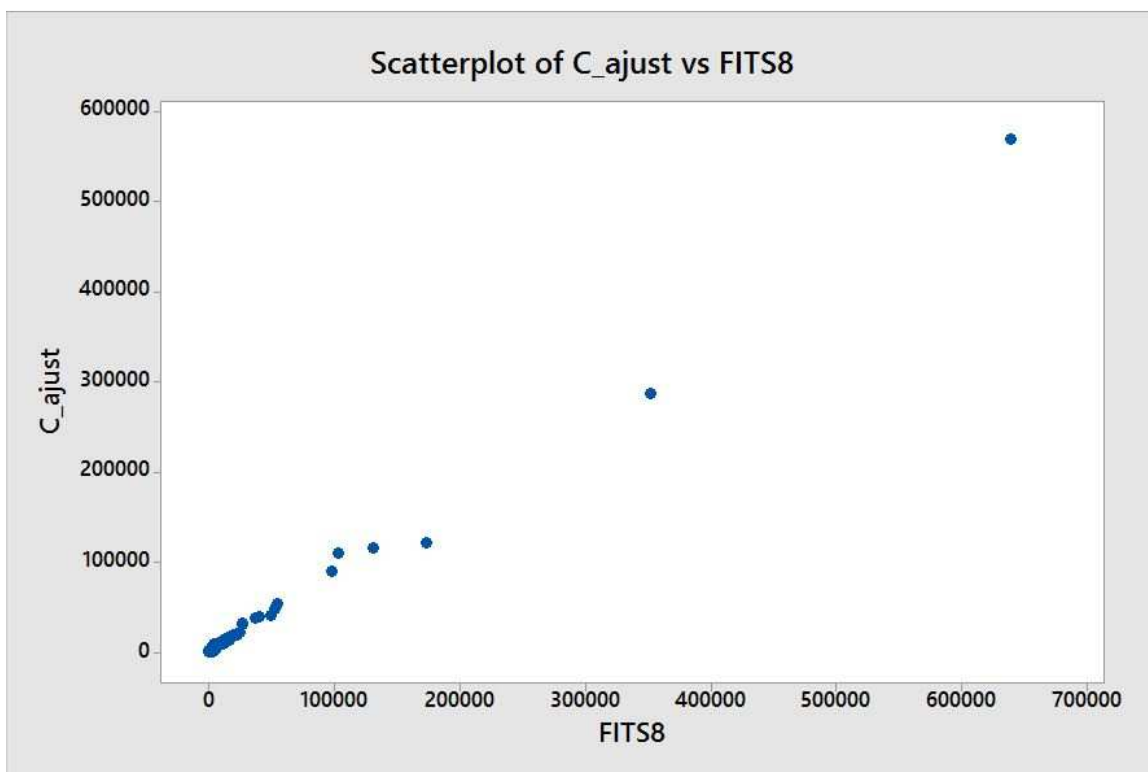


Figura 8.4.6 Gráficos del error estándar vs consumo de energía observado

8.5 Interpretación de los resultados dentro del contexto del hábitat

Antes que comenzar por interpretar los resultados de la regresión y a fin de vislumbrar las interacciones con el consumo de energía eléctrica, conviene recordar que uno de los

objetivos de la presente investigación fue hacer una descripción de las variables sociodemográficas que influyen en el consumo de la energía eléctrica y observar cómo esto se ve reflejado en la sustentabilidad al habitar el espacio. A partir de la revisión del error estándar del modelo probabilístico, se deduce que aunque se tiene un buen ajuste, variables independientes y una alta correlación con la variable dependiente, se podrían incorporar otras variables y reducir aún más la variabilidad entre el consumo reportado y el calculado. El reto sería encontrar variables significativas que aporten más información y evidencia de las dinámicas sociales.

Concibiendo de esta manera se muestra de nuevo la ecuación 8.4:

Regression Equation:

$$C_MW_hr = 740 \text{ sup_urb} + 98.2 \text{ div} - 0.359 \text{ Altitud} - 2.552 \text{ ocup_col} + 2.165 \text{ vph_5-8}$$

Ecuación 8.4.1 Ecuación de regresión con 5 variables regresoras.

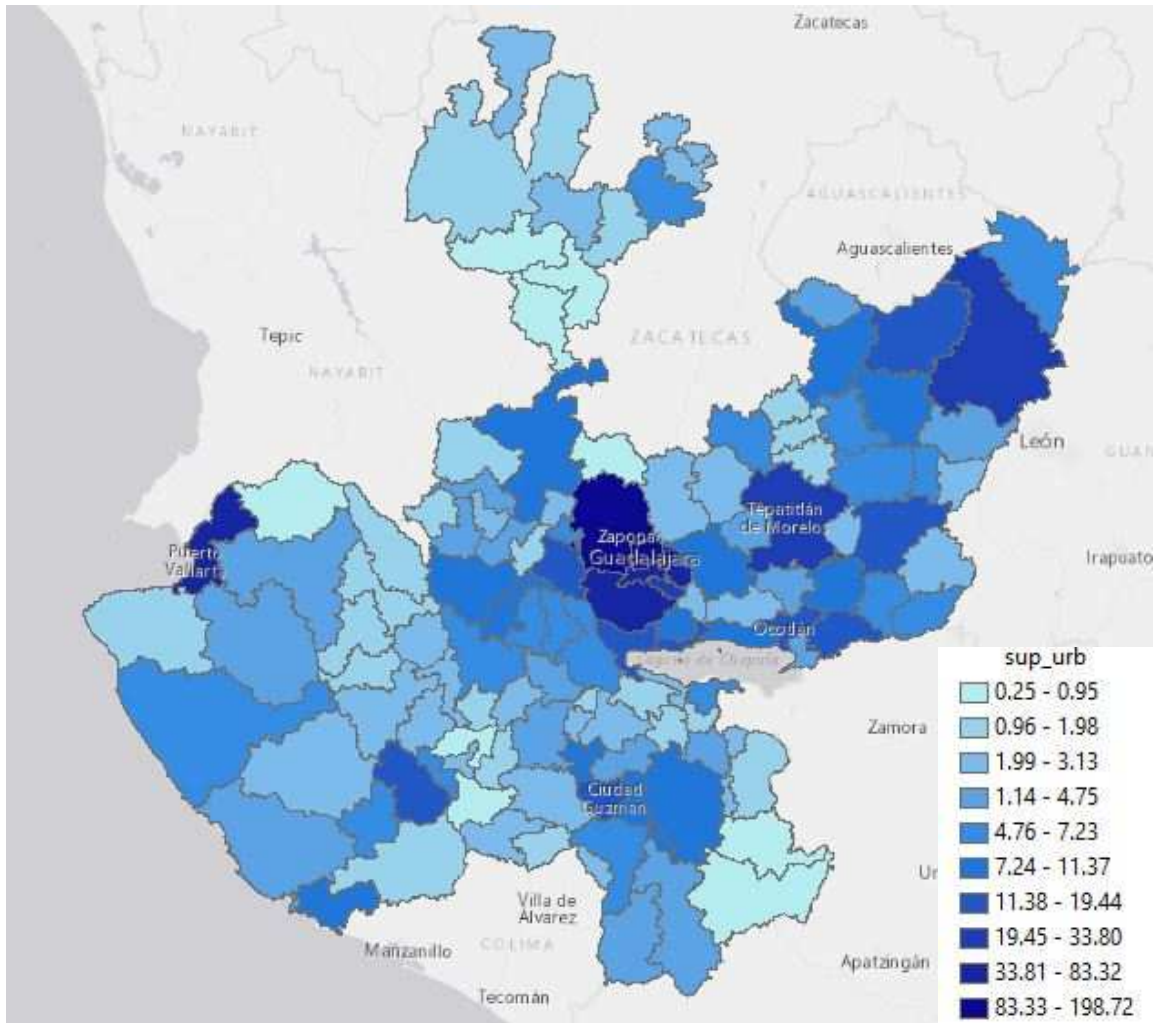
Como puede observarse, el consumo de la energía eléctrica en los municipios del estado de Jalisco se ve reflejado por cinco variables regresoras de treinta y una investigadas extraídas de las bases de datos del INEGI de los censos del 2010. Estas variables son:

1. Superficie urbanizada por municipio en kilómetros cuadrados “sup_urb”.
2. Altura sobre el nivel del mar en metros (msnm) de la entidad municipal “Altitud”.
3. Número de estancias que son ocupadas de manera colectiva “ocup_col”.
4. Número de divorcios a nivel municipal “div”.
5. Viviendas particulares habitadas entre cinco y ocho personas “vph_5-8”

La variable Altura y ocup_col tienen una influencia menor respecto de las otras variables debido a que su estadístico T es bajo y se acerca a la región de rechazo (fig. 8.4.2), sin embargo estas variables se conserva en el modelo de regresión porque a criterio de este investigador son variables que explican ciertas condiciones distintas a las demás variables, y por lo tanto merece la pena incluir. También se observa una relación lineal de cada una de las variables, esto significa que se encontró un patrón de aumento entre los municipios observados ya fuera negativo o positivo a medida que se observó un patrón de consumo. En los siguientes apartados se detalla la explicación para cada variable.

Superficie urbanizada

La superficie urbanizada tiene un efecto de incremento sobre el consumo de la energía eléctrica anual puesto que el signo positivo muestra que existe evidencia que a medida que incrementa el área urbanizada incrementa el consumo de la energía eléctrica. Esto es de esperarse, puesto que los espacios urbanizados suelen estar asociados a mayor desarrollo industrial y procesamiento de materias primas, así como algunos servicios. El coeficiente $\beta=740$ asociada a la variable dependiente "*sup_urb*", indica que por cada incremento en un kilómetro cuadrado de superficie urbanizada dará pauta a que el consumo de energía eléctrica anual incremente en 740 MW-h en el municipio, si las variables denominadas ocupantes colectivas, divorcios, ocupantes 5-8 y altitud permanecen dentro de los rangos constantes. En el mapa temático 8.5.1 muestra los municipios que concentran superficie urbanizada.

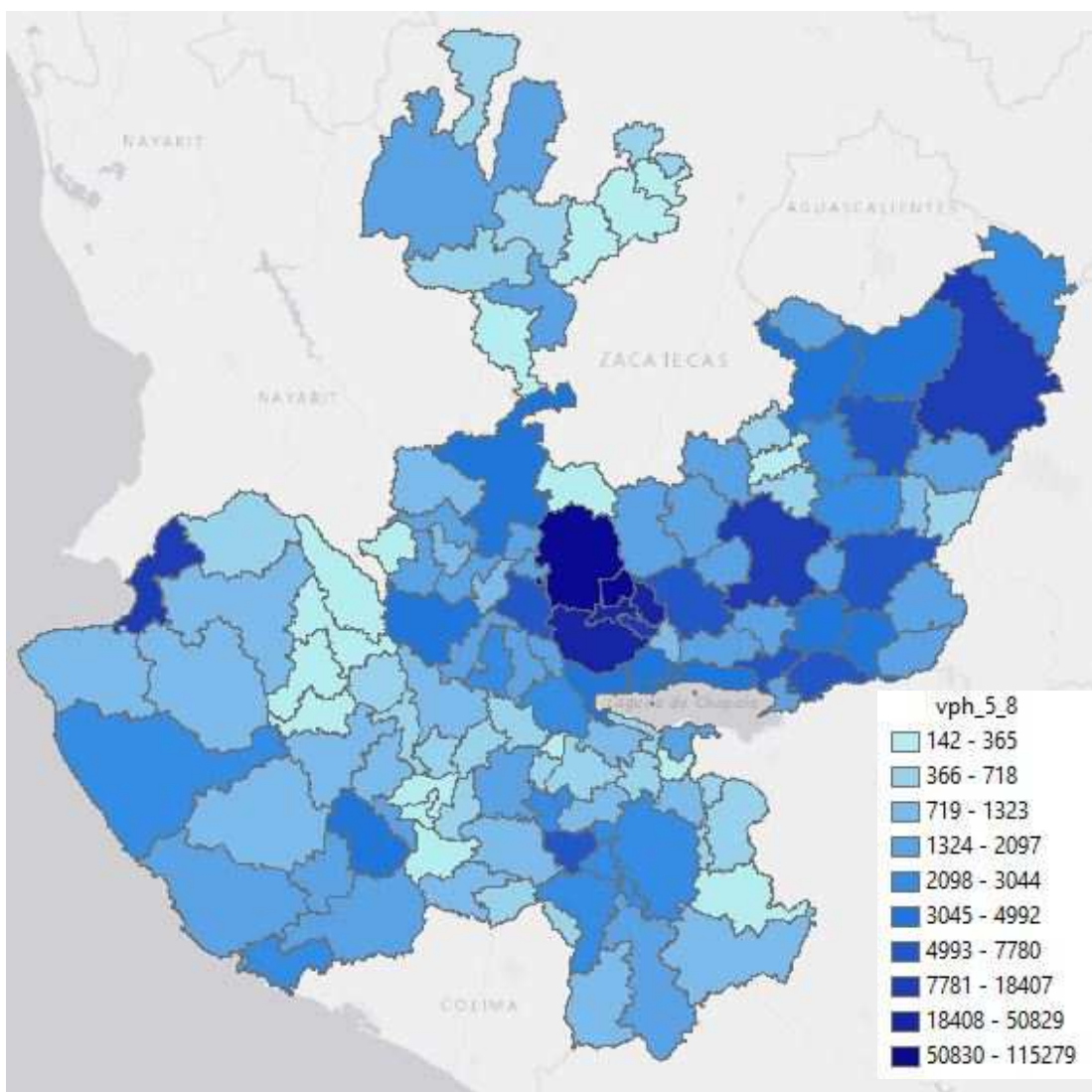


Mapa 8.5.1 Mapa temático de la superficie urbanizada en los municipios de Jalisco.

Viviendas particulares habitadas entre 5 y 8 personas

El tipo de vivienda diseñado o en el que habitan entre 5 y 8 personas tiene una tasa de aumento a razón de 2.165 MWh anuales. Este fenómeno se encontró en los municipios del Estado de Jalisco a medida que se observa un incremento en el consumo de energía

eléctrica en los municipios y las casas habitación de este tipo. Es decir para un municipio elegido de manera aleatoria con 1851 viviendas en el que habitan entre 5 y 8 personas, como lo es el caso del municipio de La Huerta, el consumo de la energía eléctrica es de $1851 \times 2.165 = 4007.41$ MWh anuales en ese municipio de 13,249 MWh de consumo, lo que representa el 30% del gasto anual en energía eléctrica en este tipo de casa habitación. En el mapa temático 8.5.2 se observa la distribución con este tipo de vivienda.



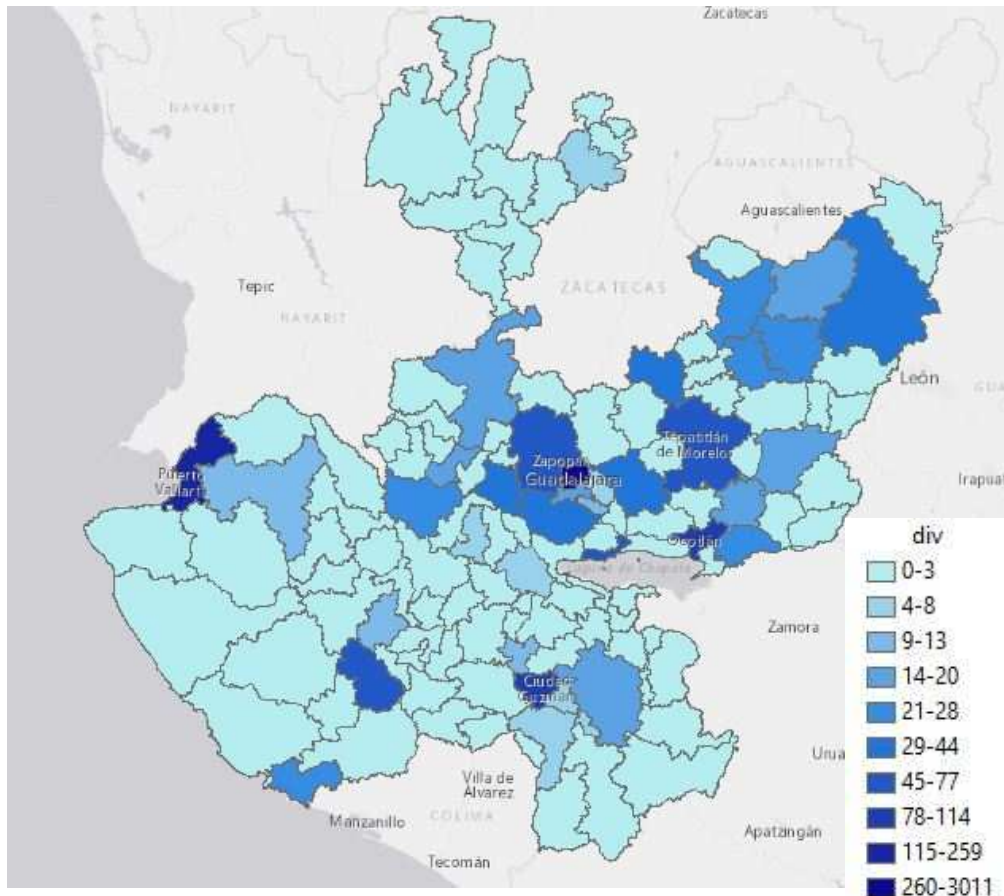
Mapa 8.5.2 Mapa temático de las viviendas particulares entre 5 y 8 en los municipios de Jalisco.

Divorcios

Los divorcios aportan al consumo de la energía eléctrica anualmente dado su signo positivo, esto debido a que se encontró un patrón de manera tal que, existe un mayor número de divorcios en los municipios que se consume más energía eléctrica. El coeficiente $\beta = 98.2$ indica que por cada divorcio en una unidad en aumento, se verá reflejado un consumo de 98.2 MW-h anuales manteniendo las otras tres variables dentro de los rangos constantes.

Respecto a esta variable, existen varias pistas para explicar las causas de este consumo anual en el municipio. Más allá del concepto moral, hablar de divorcio, es referir a la fragmentación social y hogares monoparentales. La ruptura de los lazos afectivos puede dar la pauta a buscar espacios habitables individuales y por tanto consumir más servicios eléctricos. Aunque la ausencia de registros puede provocar resultados inesperados mientras se trata de un fenómeno que puede estar asociado a otras cuestiones como el estrés o la explotación obrera de los espacios urbanos. Estos resultados se pueden observar en el mapa temático 8.5.3 en el cual es evidente que en ciudades más grandes, con más infraestructura se da el divorcio con más frecuencia. Sin embargo, desde el punto de vista de este investigador es un indicador del avance en la fragmentación social. Se encuentra sentido entonces que a medida que lo pobladores se involucran en la dinámica del divorcio,

permita que otros rubros o variables no consideradas en esta investigación se activen y den cabida al consumo de la energía eléctrica.



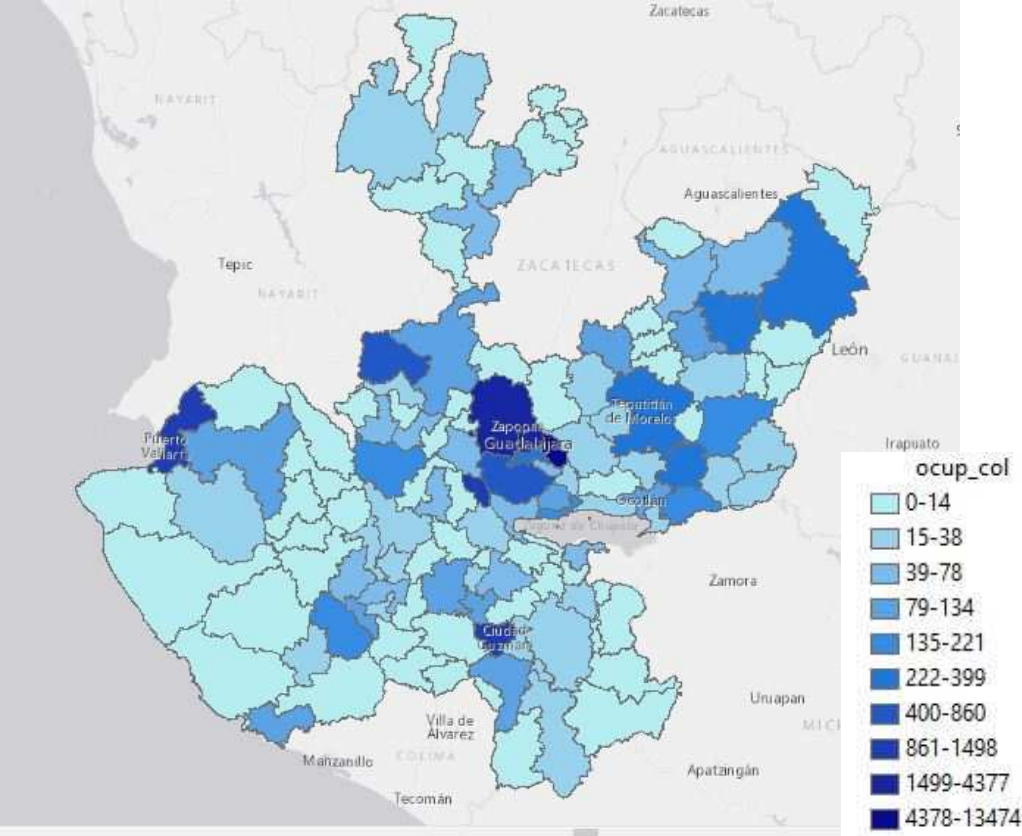
Mapa 8.5.3 Mapa temático de los divorcios en los municipios de Jalisco.

En cualquier caso, queda establecida la pregunta para futuras investigaciones: ¿Por qué los espacios con mayores índices de divorcio implican mayor consumo? Esto puede derivar más explicaciones y ampliar y profundizar en el concepto de fragmentación social desde diferentes posturas.

Ocupantes colectivos

Los habitantes en los municipios que viven en el tipo de habitación del tipo colectivo tienen una repercusión negativa al consumo de la energía eléctrica anual, aunque cabe recordar que esta variable tiene poca influencia en la regresión debido al estadístico t que se interpreta en mayor variabilidad en las observaciones. Este tipo de habitar se trata de aquellos refugios, asilos, albergues o centros de readaptación. Esto significa que se encontró un patrón de consumo de manera tal que, a medida que los municipios mostraron mayor número de habitantes del tipo colectivos, el consumo de energía eléctrica muestra una tasa de disminución. El coeficiente $\beta = -6.252$ indica que por cada casa habitación de

tipo colectiva que se incorpore en los municipios se reduce el consumo en 6.252 MW-h anuales. El mapa 8.5.2 muestra el número de casas tipo colectivas por municipio.

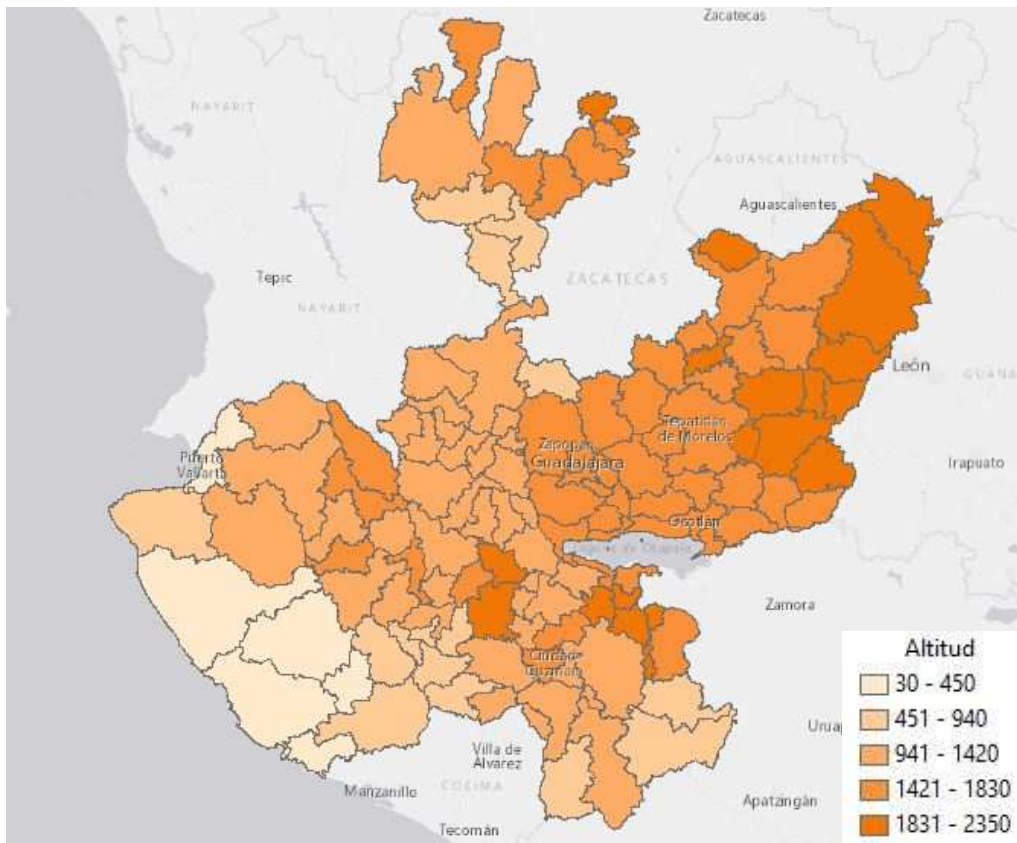


Mapa 8.5.2 Mapa temático de las casas tipo colectivo en los municipios de Jalisco.

La reducción del consumo eléctrico al habitar el espacio de manera colectiva aporta una disminución del consumo en 6.26MW-h anuales. Se justifica entonces el signo negativo en esta variable dado que personas que habitan esta forma, están de alguna manera fuera de las actividades económicas o fuera del sistema y no repercuten en el consumo. Parece lógico entonces que al aumentar esta variable disminuya el consumo de la energía.

Altitud

Las condiciones medioambientales influyen en el consumo de la energía eléctrica. En este caso, la variable Altura indica que por cada cambio en un metro de altura sobre el nivel del mar, se necesita menos gasto en el orden de 1.403 MW-h para el año 2010 de consumo de energía eléctrica en calefacción. Como se muestra en la figura 8.5.4, muy probablemente se deba al uso de dispositivos de enfriamiento propios de un clima tropical, que tienden a utilizar más en las zonas bajas y más cálidas en donde se aprecian zonas en tono más claro.



Mapa 3.4.4 Mapa temático de la Altitud en msnm en los municipios de Jalisco.

9. Conclusiones

La infraestructura eléctrica está condicionada por los rasgos territoriales. Se expuso que entre los límites de la sierra madre occidental y el cinturón volcánico transmexicano, al noroeste del estado, recorre una parte del Río Santiago en donde se encuentran dos de las principales hidroeléctricas suministradoras a la región Jalisco: El cajón y Aguamilpa, y la Yesca ante la demanda emergente de construcción reciente. Hacia el sureste, en los límites de la sierra madre del sur se localiza la termoeléctrica de manzanillo el cual su principal fuente de energía son combustibles fósiles. La demanda ante el crecimiento poblacional como sucede en la zona metropolitana de Guadalajara, ha obligado que proyectos de impacto ambiental se consoliden y el mercado se ajuste ante este tipo de demandas, tal es el caso por ahora de los proyectos de exploración geotermoeléctricos en la parte media del cinturón volcánico transmexicano.

Explicando más a detalle, es evidente que los complejos urbanos conglomerados son una fuente de consumo importante, pues municipios que conforman la ZMG tales como Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, Tlajomulco y Guadalajara presentaron la carga más importante de la región Jalisco (Jalisco y Nayarit) con 2,341 MW y un consumo de 1, 497,704 MWh en un espacio territorial de 2,056 Km², mismo territorio que podría alojarse en el comprendido por Lagos de Moreno con 2,803 Km² que consume 51,228 MWh.

Ante esta evidencia de crecimiento en la demanda, se obtuvo estrecha relación entre el consumo de la energía eléctrica anual medido en MWh en los municipios, la configuración de los espacios en Km² urbanizados, la forma de vivir de los pobladores y aspectos medioambientales. Para demostrarlo se hizo uso de las herramientas computacionales de la estadística inferencial y las bases de datos del censo de población y vivienda del INEGI 2010 y datos de consumo municipal a nivel domestico de la CFE. A través del método de regresión múltiple, el cual relaciona una variable de respuesta respecto de otras, se diseñó un análisis de los datos fuente disponibles para relacionar por medio de una ecuación el consumo de energía eléctrica registrada en los municipios respecto de las variables demográficas. Este método tuvo la ventaja de encontrar parámetros de interpretación cuantitativa y generar escenarios para entender las dinámicas sociales que hacen que se consuma electricidad y por tanto afecte a la sustentabilidad en el territorio.

Se encontró que la por cada kilómetro cuadrado que se incorpora a los complejos urbanos, da la pauta a consumir en el orden de 740 MWh en los municipios y existe en consumo representativo de crecimiento de 2.165 MWh a medida que aumenta la población en los municipio que tienen una forma de vivir de 5-8 personas encontrando en el municipio de la Huerta un 30% del consumo de la energía con este modelo habitacional. Esto lleva a pensar en políticas públicas para el mejoramiento de complejos urbanos que estén dotados para la reducción del consumo de la energía eléctrica por cada municipio.

Se demuestra que al incorporarse más ocupantes colectivos se disminuye el consumo de energía eléctrica en el orden de 2.55 MW anuales por municipio debido a la poca actividad

en el sistema de intercambio comercial de la energía, esto es importante reconocer ya que esto da la pauta para evaluar la premisa de dejar de depender del sistema para la disminución en el consumo de energía. Por otro lado se encontró un patrón de consumo por dinámicas sociales involucrados a los divorcios en 98.2 MWh por municipio en el Estado. Estos resultados dan la pauta a pensar que los modelos habitacionales en donde se fomenta organización social y a formar comunidad aportan a la reducción del consumo de electricidad respecto del modelo de organización en donde se da la fragmentación de los habitantes.

En este mismo sentido, existe una vasta cantidad de experimentos y escenarios que se pueden realizar dependiendo el interés del investigador. El primer experimento explica con muchas variables, aunque algunas de ellas están correlacionadas por su factor de la varianza alto se encuentra que las viviendas con un solo habitante aporta al consumo, mientras que casas habitación formadas por más de un solo habitante fomenta el ahorro, por tanto consumen menos electricidad. El segundo experimento explica que los matrimonios influyen en el consumo en el orden 14.7 MWh anuales. En síntesis, en la toma de decisiones, elegir variables está en función de lo que se permite explicar y las tendencias interrelacionadas entre las variables, de tal manera que el factor de inflación aporte información y no solo sea utilizado como un indicador cuantitativo que se debe reducir.

10. Fuentes de consulta

1. *Arroyo Alejandro, Jesús; Velázquez, Luis Arturo. (1992). Guadalajara en el umbral del siglo XXI. Universidad de Guadalajara. Jalisco 1992. 407 pp.*
2. *Bianco, V., Manca, O. and Nardini, S. (2013). Linear Regression Models to Forecast Electricity Consumption in Italy. Energy Sources, Part B; 8 (2013), pp. 86-93.*
3. *Bifani, Paolo (1994). Medio ambiente y desarrollo. Universidad de Guadalajara, México*
4. *Cardozo, Osvaldo Daniel. García-Palomares, Juan Carlos & Gutiérrez, Javier (2012). Application of geographically weighted regression to the direct forecasting of transit ridership at station-level. Applied Geography; 34 (2012), pp. 548-558.*
5. *Cohen, Miriam Alfie. (2005). Democracia y desafío medioambiental en México: Riesgos, retos y opciones en la nueva era de la globalización. México: Pomares.*
6. *Comisión Federal de Electricidad (1994). El sector eléctrico de México/coord. de Daniel Reséndiz-Núñez—México : FCE, CFE, 1994. 727 pp.*
7. *Dhakar, Shobhakar (2009). Urban energy use and carbon emissions from cities in China and policy implications. Energy Policy 37 (2009), pp. 4208-4219.*
8. *Dryzek, John S. (1997). The Politics of the Earth: Environmental Discourses. USA: Oxford University Press.*
9. *Elizalde, Antonio (2008). Geopolítica y energía. Polis; 21 (2008), 7 pp.*

10. Escobar Delgadillo, Jérica Lorena, Jiménez Rivera, Jesús Salvador, (2009). Crisis económica, crisis energética y libre mercado. *Revista Digital Universitaria [en línea]*. 10 de mayo 2009, Vol. 10, No. 5. Disponible en Internet: <<http://www.revista.unam.mx/vol.10/num5/art29/int29.htm>>
ISSN: 1607-6079.
11. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM 2004). *Informa de Síntesis*. Recuperado de: <http://www.unep.org/maweb/documents/document.439.aspx.pdf>
12. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM 2004). *Informa de Síntesis*. Recuperado de: <http://www.unep.org/maweb/documents/document.439.aspx.pdf>
13. Ewing, Reid & Rong, Fang (2008). *The Impact of Urban Form on U.S. Residential Energy Use*. *Housing Policy Debate*. Volume 19 (1).
14. Filippín, C., Ricard, F., Flores Larsen S. (2013). *Evaluation of heating energy consumption patterns in the residential building sector using stepwise selection and multivariate analysis*. *Energy and Building*; 66 (2013), pp. 571-581.
15. Foley, Gerald (1981). *La cuestión energética*; tr. por Luis Ángel Fernández. Ediciones del Serbal, S.A. Barcelona, España. 310 pp.
16. Friedman, Kayla & Cooke Alison (2011). *City versus national energy use: implications for urban energy policy and strategies*. *Procedia Engineering*, Volume 21(2011), pp 464-472.
doi:10.1016/j.proeng.2011.11.2039

17. Fumo, Nelson & Rafe, Biswas M.A. (2015). *Regression analysis for prediction of residential energy consumption. Renewable and Sustainable Energy Reviews*; 47 (2015), pp. 332-343.
18. Gobierno del Estado de Jalisco (1992). *Enciclopedia temática de Jalisco. Tomo I, Geografía. 271 pp.*
19. Gutiérrez Pulido, Humberto. (2003). *Análisis y diseño de experimentos. 1ra Ed., McGraw-Hill. México, 2003. 571 pp.*
20. Harris, M. (1979). *Cultural Materialism: The Struggle for a Science of Culture. Walnut Creek, CA: Altamira Press.*
21. Harris, M. (1997). *Culture, people, nature: an introduction to general anthropology. Addison Wesley 1997. 576 pp.*
22. Horner Mark W., Zhao Tingting & Chapin Timothy S. (2011). *Toward an Integrated GIScience and Energy Research Agenda. Annals of the Association of American Geographers Volume 101(4), pp. 764–774.*
23. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)/Secretaría de Energía (SENER)(2009). *Indicators for Sustainable Energy, Development in Mexico. INEGI, México: SENER, 2009.*
24. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010, México.*

25. King, G., Keohane, R., & Verba, S. (2000). *El diseño de la investigación social. La inferencia científica en los estudios cualitativos* (J. C. Menezo, Trans.). Madrid: Alianza Editorial.
26. Kleinbaum D. G., Lawrence L. K., Muller K. E. Nizam A. (2013). *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods. USA 2013. 5 ed. Duxbury a Press.*
27. Leipert, C. (1986). *Los costes sociales del crecimiento económico. En Aguilera K. Federico et al. De la economía ambiental a la economía ecológica;(151-170) Barcelona: ICARIA: FUHEM; 1994; 408 pp.*
28. Lind, Dpuglas A.; William, G. Marchal; Wathen, Samuel, A. (2008) *Estadística aplicada a los negocios y la economía. McGraw Hill. México 2008. 864pp.*
29. Montgomery D. C., Peck E. A., Vining G. G. (2002). *Introducción al Análisis de Regresión Lineal. 3a. Edición. CECSA. México, 2002. Grupo Patria Cultural, S. A. de C. V.*
30. Naredo, J.M. (1992). *Fundamentos de la economía ecológica. En Aguilera K. Federico et al. De la economía ambiental a la economía ecológica; Barcelona: ICARIA: FUHEM; (231-252); 1994; 408.*
31. Ndiaye, Demba & Gabriel, Kamiel (2010). *Principal component analysis of the electricity consumption in residential dwellings. Energy and Buildings; 43 (2011), pp. 446-453.*
32. Nie, Hongguang & Kemp René (2014). *Index decomposition analysis of residential energy consumption in China: 2002-2010. Applied Energy; 121 (2014), pp. 10-19.*

33. *Ordóñez Román, Alma Rosa (2009). Medio ambiente e integración de las industrias eléctricas en América del Norte (2000-2006).*
34. *Ostrom, E. (1990). Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action. Cambridge: Cambridge University Press.*
35. *Pradilla Cobos, Emilio (1984). Contribución a la crítica a la “teoría urbana” del “espacio” a la “crisis urbana”. 1ra edición, Universidad Autónoma Metropolitana. México, 1984. 731 pp.*
36. *Ratti, Carlo., Baker, Nick & Steemers, Koen (2004). Energy consumption and urban texture. Energy and Buildings (2005). doi:10.1016/j.enbuild.2004.10.010. Recuperado de: www.sciencedirect.com*
37. *Reiter, Sigrid & Marique , Anne-Françoise (2012). Toward Low Energy Cities. Journal of Industrial Ecology Volume 16 (6), pp.829-838. doi: 10.1111/j.1530-9290.2012.00533.x.*
38. *Secretaría de Energía (SENER) (2012). Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2016. México: SENER, 2012.*
39. *Secretaría de Energía (SENER) (2012). Balance Nacional de Energía 2011. México: SENER, 2012.*
40. *Secretaría de Energía (SENER) (2011). Indicadores de Eficiencia Energética en México: SENER, 2011.*

41. *Tetreault, Darcy. (2004). Una taxonomía de modelos de desarrollo sustentable. Espiral, X, 45-77.*
42. *Tetreault, Darcy. (2008). Escuelas de pensamiento ecológico en las Ciencias Sociales. Estudios Sociales, 16, 228-263.*
43. *The Ecologist. (1993). Whose Common Future? Reclaiming the Commons. Londres: Earthscan.*
44. *Toledo, V. M. (2001). Biocultural diversity and local power in Mexico: challenging globalization. En L. Maffi (Ed.), On Biocultural Diversity: Linking Language Knowledge and Environment. Washington D.C.: Smithsonian Institution Press.*
45. *Torres Morán, José Pablo (2015). Notas sobre mínimos cuadrados ponderados. Maestría en Ingeniería para la Calidad. Clase 27 de Marzo 2015. ITESO. México.*
46. *Velázquez Ramírez, Juan Manuel (2014). Notas sobre la construcción del proyecto de investigación. Clase 10 de Febrero 2014. ITESO. México.*
47. *Wallemacq, Véronique., Marique, Anne-Françoise & Reiter, Sigrid (2011). Development of an urban typology to assess residential environmental performance at the city scale. PLEA 2011 - 27th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-la-Neuve, Belgium, 13-15 July 2011.*
48. *Mendenhall, W & Sincich, T. (2003). Regression Analysis. A Second Course in Statistics (2003). 6th. Ed. Upper Saddle River, N. J,2003. Pearson Education, Inc.*

49. Zhang, Lixiao. Yang, Zhifeng. Liang, Jing & Cai, Yangpeng (2011). *Spatial Variation and Distribution of Urban Energy Consumptions from Cities in China. Energies Volume 4 (2011), pp 26-38. doi:10.3390/en40100*

11. Anexos

A.1 Tabla 7.2.1

Tabla 7.2.1 Descripción y recursos de información de las variables procesadas (INEGI, 2010)

Variable	Descripción	Fuente	Modalidades
C_MW_hr	Consumo de energía eléctrica	CFE 2010	Energía
Área_Km2	Área en km2 que comprende el municipio	INEGI 2010	Geografía
Altitud	Altitud del municipio (msnm)	INEGI 2010	Geografía
p_tot	Población total	INEGI 2010	Población
p_mas	Población masculina	INEGI 2010	Población
p_fem	Población femenina	INEGI 2010	Población
vivpar_hab	Viviendas habitadas particulares	INEGI 2010	Viviendas
viv_hab_col	Viviendas habitadas colectivas	INEGI 2010	Viviendas
Ocup_dep	Ocupantes en departamento o edificio	INEGI 2010	Viviendas
vph_1hab	Viviendas particulares habitadas por un ocup	INEGI 2010	Viviendas
vph_1-4	Viviendas particulares habitadas por 1-4 ocup	INEGI 2010	Viviendas
vph_5-8	Viviendas particulares habitadas por 5-8 ocup	INEGI 2010	Viviendas
vph_9+	Viviendas particulares habitadas por 9+ ocup	INEGI 2010	Viviendas
hogjef_m	Hogares con jefe masculino	INEGI 2010	Hogares censales
hogjef_f	Hogares con jefa femenina	INEGI 2010	Hogares censales
ocup_part	Ocupantes en viviendas particulares habitadas	INEGI 2010	Viviendas
ocup_col	Ocupantes colectivos	INEGI 2010	Viviendas
Loc_5000	Localidades hasta 5000 habitantes	INEGI 2010	Población
tomEE_dom	Tomas de energía eléctrica domiciliadas	INEGI 2010	Viviendas
tomEE_ndom	Tomas de energía eléctrica no domiciliadas	INEGI 2010	Viviendas
alum_bach	Alumnos matriculados en bachillerato	INEGI 2010	Educación
div	Divorcios	INEGI 2010	Situación conyugal

mat	Matrimonios	INEGI 2010	Situación conyugal
nac_f	Nacimientos femeninos	INEGI 2010	Población
nac_m	Nacimientos masculinos	INEGI 2010	Población
vph_refri	Viviendas particulares habitadas con refrigerador	INEGI 2010	Viviendas
vph_tv	Viviendas particulares habitadas con televisión	INEGI 2010	Viviendas
vph_lavad	Viviendas particulares habitadas con lavadora	INEGI 2010	Viviendas
vph_pc	Viviendas particulares habitadas con PC	INEGI 2010	Viviendas
sup_urb	Superficie de áreas urbanas (km2)	INEGI 2010	Geografía
\$_ener_elec	Valor de las ventas de energía eléctrica	CFE 2010	Energía
Long_carr	Longitud de la red carretera (km)	INEGI 2010	Geografía